

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МЕДИЧНИХ НАУК УКРАЇНИ  
ДУ «ІНСТИТУТ ГРОМАДСЬКОГО ЗДОРОВ'Я ім. О.М.МАРЗЄЄВА  
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ МЕДИЧНИХ НАУК УКРАЇНИ»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»



Начальник лікувально-організаційного  
управління НАМН України,  
д.мед.н., професор

Ігор Шкробанець

*Igor Shkrobanets* 2024 р.

**ВИЗНАЧЕННЯ ТА ОЦІНКИ КОНЦЕНТРАЦІЙ АКТИВНОСТІ  
РАДОНУ НА РОБОЧИХ МІСЦЯХ**  
(Методичні рекомендації)

УДК: 351.78:613.648.4:546.79(.296):316.77

### **РЕКОМЕНДОВАНО ДО ЗАТВЕРДЖЕННЯ:**

Вченою радою ДУ "Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМН України" від 20-21.12.2023 р. (протокол № 10).

Комісією з гігієнічного нормування та регламентування радіоактивних речовин та радіаційних факторів (Протокол від 20.02.2024 № 1) та передано до розгляду та затвердження в МОЗУ (Лист ДП "Комітет з питань гігієнічного регламентування" від 12.06.2024 № 164).

### **УСТАНОВА-РОЗРОБНИК:**

Державна установа «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва Національної академії медичних наук України».

### **УПОРЯДНИКИ:**

**Павленко Т.О.** – доктор біологічних наук, професор, завідувача лабораторією радіаційного захисту ДУ "ІГЗ НАМНУ"

**Фризюк М.А.** – кандидат біологічних наук, провідний науковий співробітник лабораторії радіаційного захисту ДУ "ІГЗ НАМНУ"

**Оперчук А.П.** – кандидат медичних наук, завідуючий відділом епідеміології неінфекційних захворювань та факторів навколишнього середовища ДУ "Центр громадського здоров'я МОЗ України"

### **РЕЦЕНЗЕНТИ:**

**Костенецький М.І.** – Лікар з радіаційної гігієни ДУ "Запорізький ОЦКПХ МОЗ України", член НКРЗУ при Верховній Раді України (2010-2019 рр.), к. мед. н.

**Берковський В.Б.** – Директор АТ НДІ Радіаційного захисту АТН України, Член Міжнародної комісії з радіологічного захисту, к. б. н.

**Мишковська А.А.** – Заступник директора Департаменту з безпеки радіаційних технологій та поводження з РАВ – начальник відділу безпеки ДІВ – державний інспектор Державної інспекції ядерного регулювання України, к. мед. н.

**Бурлак Г.Ф.** – Науковий співробітник лабораторії радіаційної гігієни та моніторингу Інституту радіаційної гігієни і епідеміології ДУ "Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології НАМНУ".

Методичні рекомендації розроблено відповідно до вимог чинного Законодавства України, Постанови КМУ від 25.10.2017 р. № 1106 "Про виконання Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони", Розпорядження КМУ від 27.11.2019 р. № 1417-р "Про затвердження плану заходів щодо зниження рівня опромінення населення радоном та продуктами його розпаду, мінімізації довгострокових ризиків від поширення радону в житлових та нежитлових будівлях, на робочих місцях на 2020-2024 роки", з урахуванням вимог Директиви Ради 2013/59/Euratom від 5 грудня 2013 р. та Основних стандартів безпеки МАГАТЕ (IAEA GSR Part 3, IAEA SSG-32).

В Методичних рекомендаціях викладено алгоритм дій щодо оцінки радононебезпечності робочих місць. Надана характеристика ймовірних сценаріїв опромінення радоном на робочих місцях, рекомендації стосовно первинного обстеження робочих місць, приведено алгоритми розрахунків ефективних доз опромінення в контексті сумарної дози для сценаріїв, коли опромінення радоном зумовлено технологічними процесами виробництв, що пов'язані з видобутком та переробкою мінеральної сировини та корисних копалин, а також переробки залишків (відходів) з підвищеним вмістом природних радіонуклідів.

## ЗМІСТ

	с.
Перелік умовних скорочень та термінів.....	4
Вступ.....	5
1 Правові засади розробки методичних рекомендацій.....	11
2 Опромінення радоном-222 на робочих місцях.....	13
3 Забезпечення радіаційного захисту від радону в повітрі працівників підприємств, які видобувають, перероблюють або використовують мінеральну сировину або матеріали з підвищеним вмістом ПРН	19
Перелік посилань.....	30
Додаток 1 Оцінки ЕД опромінення від радону за дозовими коефіцієнтами Публікації 137 МКРЗ.....	34
Додаток 2 Приклад типової програми радіаційного контролю на підприємстві або об'єкті.....	36
Додаток 3 Приклад карти індивідуального обліку дози опромінення працівника.....	39

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

ДПР	– дочірні продукти розпаду
ДІЯР	– Державна інспекція ядерного регулювання
ЕД	– ефективна доза
ЕРОА	– еквівалентна рівноважна об'ємна активність
КМУ	– Кабінет Міністрів України
МКРЗ	– Міжнародна комісія з радіологічного захисту
МАГАТЕ	– Міжнародне агентство з атомної енергії
НРБУ	– Норми радіаційної безпеки України
ОСПУ	– Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України
ППД	– потужність поглиненої (у повітрі) дози
ПРН	– природні радіонукліди
AMAD	– activity median aerodynamic diameter (медіанний за активністю аеродинамічний діаметр)
BSS	– Basic safety standards (Основні стандарти безпеки)
Бк	– бекерель, одиниця вимірювання радіоактивності речовини в системі SI
Зв	– зіверт, одиниця вимірювання еквівалентної дози іонізуючого випромінювання в системі SI
WLM	– Working Level Month (робочий рівень за місяць)

## ВСТУП

Міжнародні стандарти з радіаційного захисту чітко визначають критерії для процедур вилучення та звільнення від регулюючого контролю підприємств та технологій, які пов'язані з використанням природних радіонуклідів (ПРН), а також рекомендують до впровадження референтні рівні та дозові критерії для контролю впливу радону на робочих місцях цих підприємств [1]–[2].

З загальної точки зору, радіаційний захист працівників, обумовлений впливом природних джерел випромінювання, включає:

- гармонізацію стандартів та підходів до регулювання ПРН з урахуванням вітчизняного досвіду;

- потребу у диференційованому підході до кожної галузі промисловості щодо визначення необхідності запровадження програм радіаційного захисту (наприклад, за українським законодавством [3], опромінення шахтарів уранових шахт віднесено до практичної діяльності як частини паливно-енергетичного циклу, тобто планової ситуації опромінення, відповідно до Директиви Ради 2013/59/Euratom [2]);

- затвердження рівня, до якого опромінення повинно бути оптимізоване за допомогою референтного рівня (6 мЗв у рік);

- використання диференційованого підходу до обмеження опромінення на робочих місцях для окремих сценаріїв у відомчих нормативних документах;

- реалістичну оцінку індивідуальних доз та підходи для регулятивного прийняття рішень, що ґрунтуються на доказах;

- визначення концентрацій активності радону на робочих місцях;

- тощо.

Всі ці вимоги встановлюються нормативними документами першого і другого рівня, а саме: Законами України та Нормами радіаційної безпеки.

Існують два типи робочих місць з невід'ємним опроміненням ПРН (з радоном включно), які віднесено до *ситуації існуючої опромінення*, за вимогами Основних норм безпеки (Basic safety standards – BSS) Міжнародного агентства з атомної енергії (МАГАТЕ) (п. 5.1 (с) (і)) [1] та Директиви Ради 2013/59/Euratom [2]. За визначенням: " ситуація існуючого опромінення – це ситуація, яка вже існує, коли приймається рішення щодо необхідності контролю і застосування заходів втручання, та яка на час прийняття такого рішення не має ознак надзвичайної ситуації і не потребує негайних заходів захисту та безпеки" [1]. Перший тип робочих місць пов'язаний з видобутком та переробкою корисних копалин, другий – звичайні приміщення, де концентрації активності радону в повітрі обумовлюються його надходженням з ґрунтів.

Для першого сценарію оцінки величини опромінення від ПРН для більшості підприємств будуть пов'язані із зовнішнім опроміненням місць складування сировини та в місцях розташування залишків/відходів виробництв з підвищеним вмістом ПРН.

Результати досліджень доз опромінення працівників таких виробництв є базою для обґрунтування необхідності регуляторного контролю [4]–[7] чи звільнення від нього.

В таблиці 1 [8] приведено результати оцінок доз працівників окремих галузей промисловості, які були проведені в різних країнах світу за останні 10 років. Річні ефективні дози, які приведені в таблиці, включають оцінки доз зовнішнього гамма-опромінення та внутрішнього опромінення від інгаляційного надходження радіоактивного аерозолу та пилу. Дози опромінення, обумовлені радоном, як правило, розглядаються окремо.

Як видно з таблиці 1, понад 70 % працівників отримують дози менші за 1 мЗв у рік. Проте, при виконанні певних робіт на деяких виробництвах (наприклад, виробництва торієвих сумішей, нафтогазового комплексу, декомісії підприємств з переробки рідкоземельних елементів та торієвого концентрату) працівники отримують дози у 40-82 мЗв у рік.

Таблиця 1 – Дози, отримані працівниками окремих підприємств від ПРН [8]

Діяльність	Річна ефективна доза, мЗв у рік			
	мінімальна	середня	максимальна	розподіл
Переробка торієвого концентрату <sup>1</sup>	3,0	–	7,8	–
Отримання торієвих сумішей <sup>2</sup>	–	–	82,0	67 % < 1
Видобуток руд рідкоземельних металів <sup>3</sup>	–	0,24-1,0	–	–
Збагачення руд рідкоземельних металів <sup>3</sup>	–	0,28-0,61	–	–
Сепарація та очищення рідкоземельних металів	–	–	0,3	–
Виведення з експлуатації підприємств переробки рідкоземельних елементів <sup>4</sup>	0,2	7,2	8,9	–
Видобуток неуранових руд	–	–	< 1	–
Нафтогазовидобуток, шельфовий	–	–	0,5	–
Нафтогазовидобуток, материковий	–	–	0,05	–
Нафтовидобуток, очищення труб <sup>3,5</sup>	–	0,6	3,0	80 % < 1
Отримання пігменту двоокису титану	–	–	0,27	–
Зберігання фосфатних руд	–	–	0,28	–
Обладнання для отримання фосфатів <sup>6</sup>	0,009	–	2,7	–
Видобуток та переробка циркону	–	–	0,4	–
Обробка та використання циркону та двоокису цирконію	0	–	2,3	87 % < 1
Виготовлення та використання вогнетривкої кераміки	~0,01	–	1,5	98 % < 1
Виготовлення кераміки з циркону/двоокису цирконію	Незначна			
Переробка олов'яних, алюмінієвих, титанових і ніобієвих руд <sup>7</sup>	–	–	3,2	69 % < 1
Плавлення міді	–	–	< 1	–

Примітка 1. Включає дози від інгаляційного надходження торону.

Примітка 2. Дози > 1 мЗв у рік, переважно за рахунок вдихання пилу, були встановлені на двох з шести обстежених робочих місць.

Примітка 3. Дози лише від зовнішнього опромінення.

Примітка 4. Дози, отримані за 9-місячний період виведення з експлуатації.

Примітка 5. Дози, отримані за 5-місячний період відновлення.

Примітка 6. Включає дози від інгаляційного надходження радону.

Примітка 7. Максимальна зареєстрована доза до 2008 року становила 6 мЗв.

Примітка 8. Мінерали – вугілля, боксити, базальт і цемент.

Ці дози значно перевищують ліміт дози для персоналу категорії А у плановій ситуації. Міжнародні стандарти безпеки рекомендують диференційований підхід до обмеження доз опромінення працівників таких підприємств та референтний рівень 6 мЗв у рік [1], [9]. Ця величина є основним критерієм для процедур оптимізації щодо обмеження опромінення працівників підприємств при розробці програми радіаційного захисту.

Необхідно зауважити, що Україна має багаторічний досвід обмеження опромінення ПРН. У Нормам радіаційної безпеки України (НРБУ-97) [10] та Основних санітарних правилах забезпечення радіаційної безпеки України (ОСПУ-05) [11] запроваджені окремі розділи, які стосуються техногенно-підсиленних джерел природного походження, та впроваджено норматив щодо обмеження опромінення працівників на рівні 5 мЗв у рік. Крім того, за визначенням BSS, референтний рівень це – "рівень опромінення, який є граничним критерієм процедури оптимізації захисту" [1]. Це не нормативна величина – ліміт дози або рівні дій НРБУ-97 і ОСПУ-05. Кожна країна виходячи з соціально-економічних міркувань і розрахунків може самостійно запроваджувати нормативи і обмеження, які нижчі за референтні рівні, і тому встановлені НРБУ-97 і ОСПУ-05 нормативи не суперечать Директиві Ради Євратом [2]. Проте, ці документи не відокремлюють звичайні приміщення в окрему категорію – "робочі місця" – з відповідними вимогами щодо обмеження опромінення працівників радоном. По суті, це – нововведення у вітчизняну практику радіаційного захисту.

Розрахунки доз опромінення від радону в контексті сумарної дози мають свої особливості і є компромісом, якого було досягнуто після кількарічної дискусії між експертами Міжнародної комісії з радіологічного захисту (МКРЗ), МАГАТЕ та Міжнародної організації праці (International Labour Organization).

Ця дискусія пов'язана з новими дозовими коефіцієнтами Публікації 137 МКРЗ [12] та Публікації 130 [13], яка запровадила для розрахунків доз опромінення нову модель респіраторного тракту людини. У



Публікації 137 [12] розподілено робочі місця щодо опромінення радоном на дві категорії з різними дозовими коефіцієнтами (таблиця Б.2). До першої категорії МКРЗ відносить роботи, які передбачають значне фізичне навантаження, до другої – робочі місця в приміщеннях, а також робочі місця у шахтах з середнім та незначним навантаженням.

Таблиця 2 – Дозові коефіцієнти відповідно до категорії робочих місць [12]

	Коефіцієнт рівноваги, $F$	Коефіцієнт перерахунку дози
Робочі місця у приміщеннях, шахти – робочі місця з середніми фізичними навантаженнями	0,4	10 мЗв на WLM 1,57 мЗв/(мДж·год/м <sup>3</sup> )
Шахти – робота, пов'язана з великими фізичними навантаженнями	0,2	20 мЗв на WLM 5,59 мЗв/(мДж·год/м <sup>3</sup> )

Відповідно до вимог BSS [1] та Директиви Ради Євратом [2], річна доза опромінення від радону на робочих місцях складає 10 мЗв/рік при концентрації активності радону у 1000 Бк/м<sup>3</sup> для стандартного часу перебування 2000 годин, для житлових будинків ті ж самі 10 мЗв/рік відповідають концентрації активності 300 Бк/м<sup>3</sup> для часу перебування 7000 годин. Якщо перерахувати ці величини за дозовими коефіцієнтами Публікації 137 МКРЗ [12], то концентрація активності 1000 Бк/м<sup>3</sup> на робочих місцях з великим фізичним навантаженням оцінюється вже у 26 мЗв/рік, що значно перевищує дозовий ліміт для персоналу.

Сьогодні для розрахунків доз МАГАТЕ рекомендує використовувати коефіцієнт 10 мЗв/WLM\* для робочих місць, якщо інший конверсійний коефіцієнт не виправданий умовами праці та специфічними характеристиками аерозолі (наприклад, уранові шахти). Для оцінки доз від радону в існуючій ситуації МАГАТЕ рекомендує розрахунки за умови, що

\* WLM – Working Level Month (робочий рівень за місяць).

контрольний рівень  $1000 \text{ Бк/м}^3 = 10 \text{ мЗв/рік}$ . Більш детальні розрахунки приведено у Додатку 1.

Таким чином, структурно методичні рекомендації містять дві частини: перша – стосується опромінення радоном, коли джерелом надходження є ґрунти (офісні приміщення), друга – коли його надходження в повітря приміщення є невід’ємною частиною технічного процесу видобутку чи переробки сировини з ПРН.

Перша категорія робочих місць – звичайні офісні приміщення, і опромінення працівників радоном на робочих місцях обмежується у відповідності до референтного рівня  $300 \text{ Бк/м}^3$  в одиницях концентрацій активності, а не за дозовим критерієм, як у випадках, коли воно є невід’ємним наслідком певного технологічного процесу.

Другий розділ стосується визначення радонової компоненти як компоненти сумарної дози працівників підприємств з видобутку та переробки корисних копалин в контексті оптимізації заходів радіаційного захисту, а основним критерієм є сумарна доза опромінення від усіх ПРН.

Окремий розділ присвячений експресному методу оцінки зовнішнього опромінення, коли працівники виконують роботи біля хвостосховищ, відвалів, шламонакопичувачів, тобто для робочих місць, які розташовуються поблизу з відвалами залишків технологічних процесів підприємств з видобутку та переробки ПРН і місць складування великих обсягів сировини [14]. Цей метод дозволяє оцінити очікувану річну дозу опромінення працівників.

Основною метою даних методичних рекомендацій є надання фахівцям з питань радіаційного захисту чіткого алгоритму дій щодо оцінки опромінення працівників на робочих місцях від радону в повітрі приміщень – основного дозоформуючого фактора на території України.

# 1 ПРАВОВІ ЗАСАДИ РОЗРОБКИ МЕТОДИЧНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ

1.1 Ці методичні рекомендації розроблені відповідно до законів України, а саме:

- "Про систему громадського здоров'я" [15]
- "Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання" [3]
- "Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку" [16]
- "Про охорону навколишнього природного середовища" [17]
- "Про захист прав споживачів" [18]

Розпоряджень Кабінету Міністрів України (далі – КМУ), а саме:

- Постанови КМУ від 25.10.2017 р. № 1106 "Про виконання Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони" щодо вимог Директиви Ради 2013/59/Euratom від 5 грудня 2013 р. (Завдання 738) [19].

- Розпорядження КМУ від 27.11.2019 р. № 1417-р "Про затвердження плану заходів щодо зниження рівня опромінення населення радоном та продуктами його розпаду, мінімізації довгострокових ризиків від поширення радону в житлових та нежитлових будівлях, на робочих місцях на 2020-2024 роки" [20].

Для підготовки цих методичних рекомендацій були використані рекомендації та регламенти наступних міжнародних документів, а саме:

Публікації МКРЗ:

ICRP Publication 103 (2007). Recommendations of the International Commission on Radiological Protection [21]

ICRP Publication 126 (2014). Radiological protection against radon exposure [22]

ICRP Publication 137 (2017). Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3, which provides, inter alia, dose coefficients for exposure to indoor radon [12]

Публікації МАГАТЕ:

Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. IAEA General Safety Requirements No. GSR Part 3 (2014) [1]

Protection of the Public against Exposure Indoors due to Radon and Other Natural Sources of Radiation: IAEA Specific Safety Guide No. SSG-32 (2015) [23]

Публікації Європейської Комісії:

Council Directive 2013/59/Euratom: Стаття 2(2)d, Стаття 4(35, 82, 83, 84, 97), Стаття 5, Стаття 7, Стаття 9, Стаття 25(2), Стаття 31, Стаття 35(2), Стаття 43, Стаття 54, Стаття 100, Стаття 103, Додаток XVII та Додаток XVIII [2]

Radiation Protection N° 193. Radon in workplaces Implementing the requirements in Council Directive 2013/59/Euratom/ Directorate-General for Energy Directorate D – Nuclear Energy, Safety and ITER Unit D3 — Radiation Protection and Nuclear Safety 2020 [9]

Міжнародний стандарт ISO 11665-4:2021. Measurement of radioactivity in the environment – Air: radon-222 – Part 4: Integrated measurement method for determining average activity concentration using passive sampling and delayed analysis [24]

1.2 Основні принципи радіаційного захисту, що закладені в основу даних методичних рекомендацій, відповідають вимогам Директиви Ради 2013/59/Євратом (Council Directive 2013/59/EURATOM) від 5 грудня 2013 року, що встановлює основні норми безпеки для захисту від небезпеки, що виникає від іонізуючого випромінювання, та вимогам Санітарного регламенту "Основні стандарти безпеки поводження з матеріалами, які вміщують радіонукліди природного походження" щодо захисту від радону на робочих місцях.

1.3 Ці методичні рекомендації розроблено для здійснення процедур оптимізації радіаційного захисту населення в рамках реалізації державного плану заходів України щодо зменшення рівнів опромінення працівників від радону на робочих місцях.

1.4 Ці методичні рекомендації встановлюють порядок та вимоги до проведення дослідження рівнів опромінення на робочих місцях за відповідним алгоритмом дій для здійснення оцінки концентрацій активності радону, визначення ефективних доз та рівнів опромінення працівників, обумовлених радоном та ПРН, для запровадження процедур оптимізації радіаційного захисту.

1.5 Ці методичні рекомендації не розглядають будь-які технічні аспекти вимірювальних приладів, забезпечення якості вимірювань для визначення рівнів радону в мінеральній сировині та залишках (відходах) окремих технологій та при поводженні з ними. В цій частині рекомендації посилаються на вимоги стандарту ISO 11665-4:2021.

1.6 Ці методичні рекомендації призначено для фахівців ДУ "Центр громадського здоров'я МОЗ України", його територіальних підрозділів "Центрів контролю та профілактики хвороб" МОЗ України, НДІ та інших організацій/установ незалежно від форми власності, які беруть участь у реалізації державного плану заходів відповідно до Розпорядження КМУ від 27.11.2019 р. № 1417-р.

## **2 ОПРОМІНЕННЯ РАДОНОМ-222 НА РОБОЧИХ МІСЦЯХ**

### **2.1 Вимоги до забезпечення радіаційного захисту працівників від радону на робочих місцях**

2.1.1 За відсутністю на момент розробки цього документа затверджених вітчизняних сучасних нормативно-правових документів першого і другого рівнів рекомендації щодо обмеження опромінення радоном на робочих місцях були розроблені відповідно до Директиви Ради Євратом (Article 35(2)) [2], Radiation protection N° 193 (п.5.6) [9] та вимог частини 7 BSS МАГАТЕ [14].

Згідно з цими документами, ефективні дози від радону мають залишатися нижчими за референтний рівень 6 мЗв у рік, а рівні опромінення працівників потрібно тримати під контролем.

2.1.2 Якщо оцінка опромінення підтверджує, що ефективна доза для працівників більше або дорівнює 6 мЗв у рік, роботодавець повинен здійснити протирадонові заходи, метою яких є зниження концентрацій активності радону до величин, що обумовлюють ефективну дозу (ЕД), нижчу за референтний рівень. Після проведення протирадонових заходів здійснюють повторні вимірювання, які мають підтвердити їх ефективність.

2.1.3 Якщо знизити рівні опромінення не вдалося, місцеві державні адміністрації мають повідомити ДІАР про перевищення референтних рівнів. В цьому випадку ДІАР розглядає питання про рівень регуляторного контролю для такого підприємства і може запровадити ліцензійні умови для даного виду діяльності.

ДІАР може також вимагати періодичного повторного вимірювання концентрації активності радону на робочому місці або повторної оцінки доз, якщо це необхідно, для підтвердження оцінки рівнів опромінення, зокрема у випадках, коли умови на робочому місці змінилися [8].

## **2.2 Класифікація робочих місць**

2.2.1 Основним джерелом надходження радону в повітря приміщень на території України є підстеляючі ґрунти. В залежності від типу та цілісності фундаменту будинку, його інженерно-планувального рішення, типу ґрунтів, їх тріщинуватості ексхаляція (швидкість потоку) радону у повітря може значно відрізнятись в різних робочих зонах. Тому доцільно визначити зони з найвищими концентраціями активності радону та надати відповідну інформацію працівникам.

2.2.2 Потенційно робочі місця можуть розташовуватися на контрольованій території підприємства, території під наглядом і територіями, які не класифікуються як радононебезпечні.

Така класифікація має ґрунтуватися на концентраціях активності радону та/або можливих дозах опромінення від радону та його дочірніх продуктів розпаду (ДПР), отриманих під час роботи в таких зонах. Для контрольованих зон розробляються програми радіаційного захисту для працівників і застосовуються певні обмеження, наприклад, обмеження робочого часу або необхідність використання засобів захисту органів дихання.

2.2.3 Для практичних цілей можна також використовувати інші назви таких територій. Наприклад, у деяких європейських країнах використовують позначку "радонова зона" у значенні контрольованої території підприємства через вплив радону. Було б доцільним маркувати такі зони, особливо зони, які доступні лише для працівників окремих спеціальностей [8].

### **2.3 Первинне обстеження робочих місць та визначення контрольованих зон**

2.3.1 Первинне обстеження проводиться з метою встановлення фактичної ситуації щодо опромінення радоном та необхідності проведення протирадонових заходів, а у разі неможливості зменшити концентрації активності нижче за референтні рівні – застосування системи протирадіаційного захисту працівників.

2.3.2 Допускається проведення первинного обстеження виробничих приміщень індикаторними, пошуковими приладами, які вимірюють миттєві значення концентрацій активності.

2.3.3 Якщо використовуються прилади для миттєвих (короткострокових) вимірювань (у більшості таких приладів відбір повітря триває від кількох до 30 хвилин), вимірювання на кожному потенційному робочому місці проводяться не менше трьох діб поспіль у кількості від 3 до 7 замірів з метою мінімізації похибки вимірювань. Бажано первинні дослідження проводити в опалювальний сезон, коли концентрації активності радону максимальні.

2.3.4 Якщо значення концентрацій активності, виміряні активними приладами, перевищують референтні значення ( $300 \text{ Бк/м}^3$  для офісних приміщень та  $1000 \text{ Бк/м}^3$  для виробничих приміщень), повторні вимірювання проводяться інтегральними методами з часом експонування не менше 30 діб.

2.3.5 Більш достовірними методами оцінки концентрацій активності радону є вимірювання інтегральними методами (пасивними трековими або електретними дозиметрами). Час експонування дозиметрів має становити не менше 30 діб.

2.3.6 Отримані значення концентрацій активності наносяться на схему приміщення з позначанням їх величини на кожному робочому місці.

За даними вимірювань позначаються зони радонової небезпеки і розробляється програма радіаційного захисту працівників, якщо показники перевищують референтні рівні.

2.3.7 Керівництво підприємства чи організації зобов'язане повідомити компетентний орган про радонову небезпеку для працівників і вжити всіх заходів, щоб зменшити концентрації активності радону, нижче за референтні рівні.

## **2.4 Визначення концентрацій радону на робочих місцях у контрольованих зонах**

2.4.1 Якщо концентрації радону не вдається знизити до референтних рівнів стандартними протирадоновими заходами (наприклад, заміною або встановленням систем вентиляції), запроваджується періодичний контроль рівнів радону на робочих місцях або у контрольованій зоні.

2.4.2 Періодичний контроль рівнів опромінення працівників запроваджується відповідною програмою радіаційного захисту. Мінімальна кількість вимірювань має становити 2 вимірювання у зимовий (опалювальний) та літній сезони з метою усереднення даних про рівні опромінення на даному робочому місці чи зоні.



2.4.3 Вимірювання радону мають проводитися приладами, які дозволяють інтегрувати значення концентрацій активності за певний проміжок часу, співставний з терміном перебування працівника на даному робочому місці або зоні. Ця вимога пов'язана з варіабельністю впродовж доби рівнів радону в залежності від багатьох факторів (сезону, коли проводиться вимірювання, температури повітря, вологості, кількості опадів, атмосферного тиску тощо). В окремих випадках концентрації активності в одному і тому ж приміщенні можуть відрізатися на два порядки (в 100 разів) і більше [25].

2.4.4 Відповідні вимірювання радону проводяться інтегральними дозиметрами з усередненням результатів експонування за термін не менше 30 діб.

2.4.5 Дозиметри розміщуються у зоні дихання працівника, на відстані 1 метр від джерел імовірного надходження радону.

2.4.6 Альтернативним методом контролю концентрацій активності радону є застосування стаціонарних радонових датчиків, які встановлюються на постійній основі на робочому місці або контрольованій радоновій зоні. Такі датчики самостійно проводять вимірювання з заданою періодичністю, мають вбудовану пам'ять на певну кількість вимірювань та візуальні або звукові сигналізатори небезпеки, які автоматично спрацьовують і вмикають додаткові системи вентиляції, якщо перевищується контрольний рівень.

## **2.5 Визначення доз опромінення від радону для працівників підприємств, які підпадають під регуляторний контроль**

2.5.1 Якщо діяльність підприємства, працівники якого зазнають опромінення ПРН (з радоном включно) не підпадає під категорії виключення, вилучення та звільнення від регулюючого контролю, а дози опромінення перевищують 6 мЗв у рік і не можуть бути зменшені загально вживаними захисними заходами, для таких підприємств застосовується ліцензування з обов'язковим контролем доз опромінення працівників [14].

У цьому випадку для працівників, відповідно до статті 41 Директиви Ради 2013/59/Euratom [2], запроваджується індивідуальний дозиметричний контроль.

2.5.2 Вимірювання можуть проводитися як власною лабораторією підприємства, якщо вона має акредитацію на вимірювання радону в повітрі, так і сторонніми акредитованими лабораторіями та організаціями за стандартами ISO/IEC 17025 та ISO 11665-4:2021, а вимірювання мають відповідати вимогам GSG-7 МАГАТЕ [14] щодо контролю професійного опромінення.

2.5.3 Для оцінки сумарних доз опромінення працівників підприємств, робочі місця яких підпали під регулюючий контроль, міжнародні нормативні документи [8], [14], [26] рекомендують використовувати наступне співвідношення щодо визначення ЕД, а саме: концентрація активності радону (об'ємна активність, у термінах НРБУ-97 [10])  $1000 \text{ Бк/м}^3$  дорівнює  $10 \text{ мЗв}$  у рік (п.5.6 SGS-7 [14]).

2.5.4 Якщо дози опромінення визначаються за результатами вимірювань ДПР радону, при розрахунках дози рекомендовано користуватися дозовими коефіцієнтами Публікації 137 МКРЗ [12] за методиками розрахунку ЕД розділу 3.

## **2.6 Записи та звітність про результати вимірювань**

2.6.1 Відповідно до статті 43 Директиви Ради 2013/59/Euratom [2], у разі запровадження індивідуальної дозиметрії, записи, що містять результати моніторингу концентрацій активності радону включно з дозами опроміненням від радону працівників, повинні зберігатися для кожного працівника підприємства.

2.6.2 Журнал доз опромінення кожного конкретного працівника повинен містити окремі оцінки опромінення від радону, а також сумарну дозу від радону та інших дозоформуючих факторів. В подальшому це дозволить поєднати оцінки доз від радону та інших джерел опромінення,

якщо підприємству необхідно забезпечити дотримання ліміту дози професійного опромінення.

2.6.3 Записи також повинні включати інтегровані за часом результати вимірювань (наприклад, за окремий рік або місяць – формат звітності буде визначати регулятор у ліцензійних умовах) концентрацій активності радону або його ДПР і коефіцієнт рівноваги, отриманий при вимірюваннях.

Зберігання цієї інформації дозволить переоцінити ефективну дозу працівників у разі зміни критеріїв або дозових коефіцієнтів. Додаткова інформація щодо оцінки доз опромінення від радону наведена у додатку 1.

### **3 ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РАДІАЦІЙНОГО ЗАХИСТУ ВІД РАДОНУ В ПОВІТРІ ПРАЦІВНИКІВ ПІДПРИЄМСТВ, ЯКІ ВИДОБУВАЮТЬ, ПЕРЕРОБЛЮЮТЬ АБО ВИКОРИСТОВУЮТЬ МІНЕРАЛЬНУ СИРОВИНУ АБО МАТЕРІАЛИ З ПІДВИЩЕНИМ ВМІСТОМ ПРН**

#### **3.1 Стисла характеристика підприємства на яких ЕД від радону є складовою сумарної дози опромінення від ПРН**

##### *Підприємства з підземного видобутку корисних копалин*

Основною дозоформуючою складовою радіаційного фактора на більшості підземних підприємств з видобутку корисних копалин є ізотопи радону та його короткоіснуючі ДПР. На величину їх концентрації в повітрі підземних виробок впливають інтенсивність вентиляції, схема її розташування відповідно до робочих зон, технології, які використовуються на підприємстві.

Потенційно високі значення ЕД опромінення від радону на робочих місцях у підземних умовах можуть визначатися розташуванням робочих місць у тупикових або у слабо вентильованих гірничих виробках та приміщеннях, яким притаманні високі рівні запиленості повітря, існують наявні порушення в системах вентиляції тощо.

На відкритому повітрі фонові значення радону зазвичай складають 5-10 Бк/м<sup>3</sup>, радон який вивільняється з ґрунтів швидко перемішується з чистим повітрям та розсіюється. У відкритих кар'єрах видобутку мінеральної сировини основним радіаційно-небезпечним фактором є високі рівні запиленості повітря з високим вмістом довгоіснуючих ПРН у пилу. Високі концентрації активності ДПР радону в повітрі кар'єрів потенційно можуть накопичуватися лише на горизонтах глибше за 50 м, де дуже слабкий повітрообмін.

*Підприємства з переробки мінеральної сировини та відходів (залишків) з високим вмістом ПРН*

У промисловості застосовуються окремі види мінеральної сировини та матеріали, в яких вміст природних радіонуклідів рядів <sup>238</sup>U, <sup>235</sup>U та <sup>232</sup>Th може перевищувати рівні звільнення від регулюючого контролю.

До них потенційно можуть відноситися:

- боксити сирі й обпалені, вогнетривкі глини, інші види сировини для вогнетривкої промисловості тощо;
- поліруючі порошки й пасти, спеціальні сполуки для вогнетривкої обмазки ливарних форм та технологічні компоненти глазурі і барвників, технологічна сировина для виробництва металів (цирконовий, рутиловий, ільменітовий, лопаритовий та вольфрамовий концентрати, баделеїт тощо);
- легуючі добавки з рідкісними та рідкісноземельними компонентами (скандій, ітрій, лантан, церій, лютецій), які використовуються у металургії і абразивному виробництві, тощо;
- деякі інші види мінеральної сировини з підвищеним вмістом ПРН, у тому числі матеріали на основі природного калію, фосфати та фосфорні добрива;
- виготовлення та/або використання промислових матеріалів і виробів зі сполуками, що містять торій;
- використання в будівельній індустрії золи, шлаків, інших відходів видобувної та переробної промисловості, в яких внаслідок технологічних процесів концентрація ПРН значно зростає.

## 3.2 Вимоги до обмеження опромінення працівників підприємств

3.2.1 На кожному робочому місці підприємств, де використовується мінеральна сировина або технологічні відходи з підвищеним вмістом ПРН і перевищуються рівні звільнення від регулюючого контролю, дози опромінення працівників не повинні перевищувати референтний рівень 6 мЗв у рік, а радон та його ДПР є складовою сумарної дози опромінення працівника.

3.2.2 За усталеною в Україні практикою (вимоги ОСПУ-05 [11]), на кожному робочому місці таких підприємств має обов'язково здійснюватися оцінка умов праці, включаючи визначення концентрацій активності радону на робочих місцях.

3.2.3 Для оцінки умов праці необхідно оцінити всі радіаційні параметри на робочих місцях, оцінити дозу опромінення, одержану працівниками, та порівняти її з референтним рівнем.

3.2.4 Для кожного робочого місця або зони результати дослідження радіаційно-гігієнічних характеристик робочого місця заносяться в таблицю (таблиця 3).

Таблиця 3 – Приклад таблиці, куди вносяться характеристики робочого місця

Доза опромінення, одержана працівником _____ ППП		
Вид опромінення	Ефективна доза, мЗв/рік	Максимальна зафіксована річна ефективна доза
Зовнішнє		
Внутрішнє		
Сумарно		

3.2.5 Якщо доза опромінення працівників перевищує референтний рівень, адміністрація підприємства повинна вжити всіх необхідних заходів щодо зниження рівнів професійного опромінення.

3.2.6 При неможливості зниження сумарної величини доз опромінення нижче за референтний рівень допускається переведення такого виду робіт в категорію "практична діяльність з індустріальними джерелами іонізуючих випромінювань", а працівників - до категорії "персонал".

### **3.3 Оцінка ЕД опромінення від радону в контексті сумарної дози опромінення працівників**

Сумарна доза опромінення працівників формується з наступних складових:

- опромінення від зовнішнього гамма-випромінювання;
- опромінення від інгаляційного надходження до організму людини радону-222 та його ДПР;
- опромінення від ДПР радону-220 (торону);
- опромінення від інгаляційного надходження аерозолів довгоіснуючих ПРН рядів урану та торію.

*Оцінка ЕД працівників, яка обумовлена зовнішнім гамма-випромінюванням*

ЕД зовнішнього опромінення працівників підприємств та організацій визначаються середніми значеннями потужності поглиненої у повітрі дози (ППД) гамма-випромінювання на робочому місці та терміну, протягом якого працівники перебувають на цьому місці.

ЕД зовнішнього опромінення працівників оцінюється за результатами вимірювань ППД ( $D$ ) гамма-випромінювання на робочому місці та інформації щодо часу перебування даного працівника на дослідженому робочому місці протягом року ( $T_p$ ).

Річна ЕД працівників від зовнішнього гамма-випромінювання розраховується за формулою:

$$E_{ext} = 10^{-3} \cdot B_j \cdot D \cdot T_p, \text{ мЗв}, \quad (1)$$

де  $B_j$  – дозовий коефіцієнт перерахунку ППД в ЕД, Зв/Гр,  
 $B_j = 0,74$  Зв/Гр;

$D$  – ППД гамма-випромінювання, мкГр/год;

$T_p$  – тривалість роботи (опромінення) працівників протягом року,  
годин.

*Оцінка ЕД працівників від короткоіснуючих ДПР радону та від газоподібного радону-222*

Аерозолі короткоіснуючих ДПР радону та торону, а також газоподібний радон-222 можуть давати помітний внесок в опромінення працівників на робочих місцях, для яких характерні невеликі розміри приміщень, мала кратність повітрообміну, а також в місцях зберігання або переробки великих обсягів сировини чи матеріалів із підвищеним вмістом ПРН.

У цьому випадку, середньорічна ЕД працівників, обумовлена опроміненням ДПР радону-222 ( $E_{EEC}^{Rn}$ ), визначається за формулою:

$$E_{EEC}^{Rn} = K_{\alpha}^{Rn} \cdot C_{EEC}^{Rn} \cdot T_p, \text{ мЗв}, \quad (2)$$

де  $K_{\alpha}^{Rn}$  – дозовий коефіцієнт, мЗв/(Бк·м<sup>-3</sup>·год);

$C_{EEC}^{Rn}$  – середньорічна еквівалентна рівноважна об'ємна активність (ЕРОА) радону-222 у повітрі на робочому місці, Бк/м<sup>3</sup>.

Середньорічна ЕД працівників, що обумовлена радоном ( $E_{Rn}$ ), визначається за наступною формулою:

$$E_{Rn} = K_g \cdot C_{Rn} \cdot T_p, \text{ мЗв}, \quad (3)$$

де  $C_{Rn}$  – середньорічна об'ємна активність (концентрація активності) радону-222 на робочому місці, Бк/м<sup>3</sup>;

$K_g$  – дозовий коефіцієнт, мЗв/(Бк·м<sup>-3</sup>·год).

Середньорічна ЕД працівників, що обумовлена ДПР торону ( $E_{Tn}$ ), визначається за наступною формулою:

$$E_{EEC}^{Tn} = K_{\alpha}^{Tn} \cdot C_{EEC}^{Tn} \cdot T_p, \text{ мЗв}, \quad (4)$$

де  $K_{\alpha}^{Tn}$  – дозовий коефіцієнт, мЗв/(Бк·м<sup>-3</sup>·год);

$C_{EEC}^{Tn}$  – середньорічна ЕРОА радону-220 (торону) у повітрі на робочому місці, Бк/м<sup>3</sup>.

*Оцінка ЕД працівників, що обумовлені інгаляційним надходженням довгоіснуючих ПРН*

Доза внутрішнього опромінення за рахунок інгаляційного надходження довгоіснуючих радіонуклідів природного походження з виробничим пилом визначається їх радіонуклідним складом та питомою активністю, загальною запиленістю повітря виробничої зони і часом роботи в конкретних умовах. У свою чергу, радіонуклідний склад та питома активність радіоактивного аерозолі, а також загальна запиленість повітря залежать від параметрів технологічних процесів, температурного режиму робіт, використання тих чи інших хімічних реагентів, дисперсності та обсягів матеріалу, який використовується в роботі тощо.

Для умов праці у виробничих цехах підприємств стосовно розрахунку ЕД опромінення працівників рекомендовано застосування величини АМАД (activity median aerodynamic diameter – медіанного за активністю аеродинамічного діаметра) промислового пилу, що дорівнює 5 мкм.

ЕД опромінення працівників внаслідок вдихання радіонукліда  $r$  визначається за формулою:

$$E_{inh}^r = 10^{-3} \cdot C_r^{inh} \cdot V \cdot K_r^{inh} \cdot T_p, \text{ мЗв}, \quad (5)$$

де  $K_r^{inh}$  – дозовий коефіцієнт для радіонукліда  $r$ , Зв/Бк;



$C_r^{inh}$  – середньорічна концентрація радіонукліда  $r$  в повітрі на робочому місці, Бк/м<sup>3</sup>;

$V$  – референтний об'єм вдиху для працівників,  $V = 1,2$  м<sup>3</sup>/год.

У таблиці 4 наведено значення дозових коефіцієнтів для інгаляційного надходження радіаційно-значущих радіонуклідів рядів урану, торію та актиноурану.

Таблиця 4 – Дозові коефіцієнти інгаляційного надходження радіонуклідів рядів урану та торію, а також суміші

Радіонуклід	Період напіврозпаду	Типи поглинання	Дозові коефіцієнти при значенні АМАД, що дорівнює 5 мкм, Зв/Бк
<b>Ряд урану</b>			
<sup>238</sup> U	4,47·10 <sup>9</sup> років	M	1,6·10 <sup>-6</sup>
<sup>234</sup> U	2,44·10 <sup>5</sup> років	M	2,1·10 <sup>-6</sup>
<sup>230</sup> Th	7,7·10 <sup>4</sup> років	S	7,2·10 <sup>-6</sup>
<sup>226</sup> Ra	1,6·10 <sup>3</sup> років	M	2,2·10 <sup>-6</sup>
<sup>210</sup> Pb	22,3 року	F	1,1·10 <sup>-6</sup>
<sup>210</sup> Po	138 діб	M	2,2·10 <sup>-6</sup>
<b>Ряд актиноурану</b>			
<sup>235</sup> U	7,04·10 <sup>8</sup> років	M	1,8·10 <sup>-6</sup>
<sup>231</sup> Pa	3,27·10 <sup>4</sup> років	M	8,9·10 <sup>-5</sup>
<sup>227</sup> Ac	21,8 року	F	6,3·10 <sup>-4</sup>
<b>Суміш</b>			<b>5,2·10<sup>-5</sup></b>
<b>Ряд торію</b>			
<sup>232</sup> Th	1,4·10 <sup>10</sup> років	S	1,2·10 <sup>-5</sup>
<sup>228</sup> Ra	5,75 року	M	1,7·10 <sup>-6</sup>
<sup>228</sup> Th	1,91 року	S	3,2·10 <sup>-5</sup>
<b>Суміш</b>			<b>4,6·10<sup>-5</sup></b>

Середньорічна ЕД працівників від радіоактивного аерозолі, що містить ПРН, розраховується за формулою:

$$E_{inh} = \sum E_{inh}^r, \text{ мЗв.} \quad (6)$$

При наявності рівноваги між радіонуклідами в рядах урану та торію використовуються дозові коефіцієнти для суміші, наведені в таблиці 4. Тоді середньорічна ЕД працівників визначається за формулою:

$$E_{inh} = 10^{-3} \cdot C_U^{inh} \cdot V \cdot K_{\sum U}^{inh} \cdot T_p + 10^{-3} \cdot C_{Th}^{inh} \cdot V \cdot K_{\sum Th}^{inh} \cdot T_p, \text{ мЗв.} \quad (7)$$

*Оцінка сумарних ЕД опромінення працівників*

Сумарна ЕД опромінення працівників визначається за формулою:

$$E_{\Sigma} = E_{ext} + E_{EEC}^{Rn} + E_{Rn} + E_{EEC}^{Tn} + E_{inh}, \text{ мЗв.} \quad (8)$$

Термін роботи на різних технологічних ділянках  $T_{pn}$  може коливатися від 20 до 2000 годин за окремий рік. Якщо працівник протягом року працює на декількох ділянках ( $N$  робочих місцях або операціях), де істотно відрізняються значення радіаційних характеристик, це обов'язково має враховуватися при оцінці величини річної ЕД.

Для цього має виконуватися умова:

$$\sum_{n=1}^N T_{pn} = T_p, \quad (9)$$

де  $T_p$  – загальна тривалість роботи працівника протягом року, годин.

*Метод оцінки очікуваних доз працівників, робочі місця яких знаходяться біля хвостосховищ, відвалів, шламонакопичувачів*

Існують ситуації, коли працівники виконують роботи біля хвостосховищ, відвалів, шламонакопичувачів. Ці роботи можуть носити тимчасовий характер. Якщо працівники не відносяться до категорії "персонал", для якої є обов'язковою індивідуальна дозиметрія, ЕД опромінення можна оцінити за експрес-методикою, рекомендованою у GSG-7 МАГАТЕ [14].

У таблиці 5 наведено орієнтовні залежності між дозою та концентрацією активності для низки технологічних матеріалів та пов'язаних з ними сценаріїв опромінення, а саме:

а) для великої кількості/обсягу матеріалу (наприклад, рудне тіло або великі запаси корисних копалин або руди);

б) для невеликої кількості матеріалу (наприклад, мінеральні концентрати, накип та шлам);

в) для матеріалів, які можуть випаровуватися у високотемпературному процесі (тобто пил осадника та газу, що відходять).

Таблиця 5 – Залежність між ЕД та концентрацією активності при професійному опроміненні, обумовленому гамма-випромінюванням і впливом пилу [14]

Категорія матеріалу	Приклад	Річна доза на одиницю концентрації активності радіонукліду з найбільшою концентрацією активності, мЗв/рік на Бк/г	
		Мін.	Макс.
Велика кількість	Рудне тіло Великі обсяги сировини чи матеріалу	0,02	0,40
Невелика кількість	Мінеральний концентрат накип, шлам	0,008	0,04
Летючий матеріал, у якому вагомі лише $^{210}\text{Pb}$ та $^{210}\text{Po}$	Відхідні газу Пил з осадників	0,0006	0,003

Нижче наведено приклади розрахунків та оцінки ризиків для прийняття рішення щодо розробки та застосування програм радіаційного захисту працівників з GSG-7 МАГАТЕ (Appendix I) [14].

**Приклад 1.** Завдання, що виконується працівником, передбачає на регулярній основі безпосередню близькість до запасу матеріалу масою 500 тисяч тонн, в якому найвища середня концентрація активності окремого

радіонукліду в ланцюжку розпаду  $^{238}\text{U}$  або ланцюжку розпаду  $^{232}\text{Th}$  становить 5 Бк/г.

Залежно від типу матеріалу очікується, що річна ЕД, яка буде отримана працівником, становитиме від 0,1 мЗв/рік ( $5 \text{ Бк/г} \times 0,02 \text{ мЗв/рік на Бк/г}$ ) до 2 мЗв/рік ( $5 \text{ Бк/г} \times 0,4 \text{ мЗв/рік на Бк/г}$ ). Це свідчить про те, що, з точки зору диференційованого підходу, сценарій опромінення матиме лише мінімальне значення щодо забезпечення захисту та безпеки.

**Приклад 2.** Завдання, що виконується працівником, зазвичай передбачає роботу у безпосередній близькості від технологічних залишків масою 100 кг, в яких найвища середня концентрація активності окремого радіонукліду в ланцюжку розпаду  $^{238}\text{U}$  або ланцюжку розпаду  $^{232}\text{Th}$  становить 250 Бк/г. Залежно від типу матеріалу очікується, що річна ЕД, яка буде отримана працівником, становитиме від 2 мЗв/рік ( $250 \text{ Бк/г} \times 0,008 \text{ мЗв/рік на Бк/г}$ ) до 10 мЗв/рік ( $250 \text{ Бк/г} \times 0,04 \text{ мЗв/рік на Бк/г}$ ). Це передбачає, що, з точки зору диференційованого підходу, сценарій опромінення матиме досить важливе значення для забезпечення захисту та безпеки.

#### *Інформування про ризики та навчання працівників*

У випадках, коли ЕД опромінення від ПРН можуть бути істотними, роботодавець повинен інформувати працівників про радіаційні ризики та запроваджувати програми підготовки працівників для роботи в шкідливих умовах.

Такі програми навчання працівників повинні включати конкретні теми щодо їх професійної діяльності, пов'язаної з радіоактивними матеріалами природного походження. GSG-7 МАГАТЕ рекомендує, щоб навчальні курси містили, залежно від обставин, наступні теми [14]:

а) властивості та небезпеки, пов'язані з радіонуклідами ланцюгів розпаду  $^{238}\text{U}$  та  $^{232}\text{Th}$  (включаючи  $^{222}\text{Rn}$  і  $^{220}\text{Rn}$ );

б) застосування принципів часу, відстані та екранування для мінімізації опромінення, зумовленого гамма-випромінюванням поблизу великих

скупчень радіоактивних матеріалів природного походження, особливо там, де концентрації активності високі;

в) вимірювання активності аерозолів у вигляді пилу та активності  $^{222}\text{Rn}$  та його ДПР;

г) необхідність контролю та придушення пилу у повітрі та методи, що застосовуються у цих випадках;

д) функціонування та призначення системи вентиляції та її важливість для забезпечення захисту та безпеки.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards // General Safety Requirements Part 3 (No. GSR Part 3). Vienna : IAEA, 2014. 436 p.
2. Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013 Laying Down Basic Safety Standards for Protection against the Dangers Arising from Exposure to Ionizing Radiation, and Repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom // Official Journal of the European Union. 2014. Vol. 57, L13. 73 p.
3. Закон України "Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання" // Відомості Верховної Ради України (ВВР). 1998. N 22. ст. 115 [Документ 15/98-ВР, Редакція від 16.10.2022, підстава 124-IX]. Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/15/98-%D0%B2%D1%80#Text> (Дата звернення : 21.08.2023).
4. Jacomino V. M. F. Brazilian NORM Industries: Lessons and // Naturally Occurring Radioactive Material (NORM VII) : Proc. of the 7<sup>th</sup> Int. Symp. on Naturally Occurring Radioactive Material (Beijing, China, 22-26 April 2013). Vienna : IAEA, 2015. P. 367-378.
5. Hilton J., Birky B., Moussaid M. Comprehensive Extraction: A Key Requirement for Social Licensing of NORM Industries? // Naturally Occurring Radioactive Material (NORM VII) : Proc. of the 7<sup>th</sup> Int. Symp. on Naturally Occurring Radioactive Material (Beijing, China, 22-26 April 2013). Vienna : IAEA, 2015. P. 129-141.
6. Fan Z. Towards a Sustainable Solution to NORM Residue Management Safety // Naturally Occurring Radioactive Material (NORM VII) : Proc. of the 7<sup>th</sup> Int. Symp. on Naturally Occurring Radioactive Material (Beijing, China, 22-26 April 2013). Vienna : IAEA, 2015. P. 569-574.
7. Landsberger S., Landsberger S.G., George G., et al. NORM Waste from Oil Exploration // Naturally Occurring Radioactive Material (NORM VII) : Proc.

of the 7<sup>th</sup> Int. Symp. on Naturally Occurring Radioactive Material (Beijing, China, 22-26 April 2013). Vienna : IAEA, 2015. P. 179-191.

8. Naturally Occurring Radioactive Material (NORM VI) : Proceedings of the Sixth International Symposium on Naturally Occurring Radioactive Material (Marrakesh, Morocco, 22-26 March 2010). Vienna : IAEA, 2011. 560 p.

9. European Commission. Radiation Protection 193. Radon in workplaces - Implementing the requirements in Council Directive 2013/59/Euratom. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020. ISBN 978-92-76-10531-2, ISSN 2315-2826. Doi: 10.2833/552398.

10. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97): Державні гігієнічні нормативи. ДГН 6.6.1.-6.5.001-98. К., 1998. 135 с.

11. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України: Державні санітарні правила. 6.177-2005-09-02. К., 2005. 62 с.

12. ICRP Publication 137. Part 3. Occupational Intakes of Radionuclides // Annals of the ICRP. 2017. Vol. 46 (3-4). 486 p.

13. ICRP Publication 130. Occupational Intakes of Radionuclides: Part 1 // Annals of the ICRP. 2015. Vol. 44 (2). 188 p. Doi: 10.1177/0146645315577539.

14. Occupational Radiation Protection: General Safety Guide // IAEA Safety Standards Series No. GSG-7. Vienna : IAEA, 2018. 335 p.

15. Закон України "Про систему громадського здоров'я" [Документ 2573-IX, чинний, поточна редакція - Редакція від 01.10.2023, підстава - 3302-IX]. Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2573-20#Text> (Дата звернення : 10.10.2023).

16. Закон України "Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку" // Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1995, № 12, ст.81 [Документ 39/95-ВР, чинний, поточна редакція - Редакція від 01.10.2023, підстава - 2573-IX]. Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/39/95-%D0%B2%D1%80#Text> (Дата звернення : 21.08.2023).

17. Закон України "Про охорону навколишнього природного середовища" // Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1991, № 41, ст.546

[Документ 1264-ХІІ, чинний, поточна редакція - Редакція від 08.10.2023, підстава - 2614-ІХ]. Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text> (Дата звернення : 21.08.2023).

18. Закон України "Про захист прав споживачів" [Документ 3153-ІХ, не набрав чинності, поточна редакція - Прийняття від 10.06.2023]. Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3153-20#Text> (Дата звернення : 21.08.2023).

19. Про виконання Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони : Постанова КМУ від 25 жовтня 2017 р. № 1106 [Документ 1106-2017-п, чинний, поточна редакція - Редакція від 18.09.2020, підстава - 808-2020-п]. Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1106-2017-%D0%BF#Text> (Дата звернення : 21.08.2023).

20. Про затвердження плану заходів щодо зниження рівня опромінення населення радоном та продуктами його розпаду, мінімізації довгострокових ризиків від поширення радону в житлових та нежитлових будівлях, на робочих місцях на 2020-2024 роки : Розпорядження КМУ від 27 листопада 2019 р. № 1417-р [Документ 1417-2019-р, чинний, поточна редакція - Прийняття від 27.11.2019]. Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1417-2019-%D1%80#Text>.

21. ICRP Publication 103. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection // Annals of the ICRP. 2007. Vol. 37 (2-4). 332 p.

22. ICRP Publication 126. Radiological Protection against Radon Exposure // Annals of the ICRP. 2014. Vol. 43 (3). 73 p.

23. Protection of the Public against Exposure Indoors due to Radon and Other Natural Sources of Radiation: IAEA Specific Safety Guide No. SSG-32. Vienna : IAEA, 2015. 90 p.



24. International Standard Organisation. Measurement of radioactivity in the environment – Air: radon-222 – Part 4: Integrated measurement method for determining average activity concentration using passive sampling and delayed analysis. ISO 11665-4:2012.

25. Pavlenko T. A., Los I. P., Aksenov N. V. Exposure Doses due to Indoor Rn-222 in Ukraine and Basic Directions for Their Decrease// Radiation Measurements. 1997. Vol. 28 (1-6). P. 733-738.

26. IAEA-TECDOC-1951. Protection Against Exposure Due to Radon Indoors and Gamma Radiation from Construction Materials - Methods of Prevention and Mitigation // IAEA TECDOC SERIES. Vienna : IAEA, 2021. 53 p.

## ДОДАТОК 1

Оцінки ЕД опромінення від радону за дозовими коефіцієнтами

Публікації 137 МКРЗ

У січні 2018 року МКРЗ видала Публікацію МКРЗ 137 "Професійне надходження радіонуклідів: частина 3" [12], у якій, зокрема, рекомендовано дозові коефіцієнти для опромінення радоном у приміщеннях, які наведено нижче.

Для *будівель та підземних шахт* у більшості випадків рекомендований дозовий коефіцієнт становить

3 мЗв/(мДж·год/м<sup>3</sup>) (приблизно 10 мЗв/WLM).

Відповідний дозовий коефіцієнт, виражений через опромінення газом радоном, залежить від коефіцієнта рівноваги,  $F$ , між газом радоном та його ДПР. Використовуючи стандартне припущення, що  $F = 0,4$  для більшості ситуацій у приміщенні, цей дозовий коефіцієнт дорівнює

$6,7 \cdot 10^{-6}$  мЗв/(Бк·год/м<sup>3</sup>).

МКРЗ зазначає, що хоча Публікація 137 конкретно не стосується опромінення населення, передбачається, що той самий дозовий коефіцієнт застосовується до опромінення в *житлі*.

Для конкретних ситуацій опромінення *на робочих місцях*, що передбачають значне фізичне навантаження, та для опромінення в *туристичних печерах* МКРЗ рекомендує дозовий коефіцієнт

6 мЗв/(мДж·год/м<sup>3</sup>) (приблизно 20 мЗв/WLM).

*ЕРОА*: Еквівалентна рівноважна об'ємна активність (в термінах НРБУ-97) [10], або еквівалентна рівноважна концентрація активності, за новою термінологією [12].

Робочий рівень за місяць: 1 WLM = 160 WLH = 3,5 мДж·год/м<sup>3</sup>.

Таким чином, щоб розрахувати дозу опромінення від радону, МКРЗ рекомендує наступні коефіцієнти та фактори перетворення.

Для розрахунку ЕД концентрацію активності радону (або ДПР радону) слід помножити на час опромінення та на відповідний дозовий коефіцієнт радону, а саме: використовуючи стандартний час зайнятості 2000 годин у рік для працівника та дозовий коефіцієнт  $6,7 \cdot 10^{-6}$  мЗв/(Бк·год/м<sup>3</sup>), опромінення радоном для референтного рівня 300 Бк/м<sup>3</sup> відповідає річній ЕД 4 мЗв.

Критерій для прийняття рішень про втручання 6 мЗв у рік відповідає концентрації активності радону 450 Бк/м<sup>3</sup>.

В окремих ситуаціях роботи в приміщеннях, що передбачає значне фізичне навантаження, а також для опромінення в туристичних печерах концентрація активності 300 Бк/м<sup>3</sup> відповідає річній ЕД 8 мЗв на робочому місці, а ефективна доза 6 мЗв відповідає концентрації радону 225 Бк/м<sup>3</sup> (для стандартного часу зайнятості працівників 2000 годин у рік).

МКРЗ також наголошує, що у випадках, коли характеристики аерозолів значно відрізняються від типових умов і доступні достатньо надійні дані про аерозолі, а оцінені дози вимагають більш детального розгляду, можна розрахувати дозові коефіцієнти для конкретної ділянки, використовуючи дані, надані в Публікації 137 МКРЗ [12].

## ДОДАТОК 2

### Приклад типової програми радіаційного контролю на підприємстві або об'єкті

Типова програма радіаційного контролю, як правило, містить складові, наведені нижче.

1. Визначення робочих місць та/або робочих зон, де має здійснюватися радіаційний контроль (масштаби контролю).
2. Визначення обсягів та періодичності контролю.
3. Безпосередньо радіаційний контроль сировини, матеріалів, продукції, відходів з ПРН, забруднення обладнання.
4. Безпосередньо контроль радіаційних параметрів скидів-викидів підприємства або технологічного процесу;
5. Періодичний контроль забруднення ґрунтів в санітарно-захисній зоні;
6. Оцінка доз опромінення працівників та оформлення відповідної документації (дозові паспорти);
7. Підготовка інформації та звітності для стейкхолдерів (органи місцевого самоврядування, громада, ЗМІ, тощо).

Таблиця Д.2.1 – Типові об'єкти радіаційного контролю та вимірювані параметри

Сировина, матеріали, продукція, відходи, обладнання

№	Об'єкт	Вимірювані параметри	Періодичність	Кількість
1	Сировина	$\Sigma\alpha$ -активність; вміст ПРН		
2	Проміжний (сухий) продукт	$\Sigma\alpha$ -активність; потужність дози $\gamma$ -випромінювання (10 см від об'єкта)		
3	Товарний концентрат (після всіх стадій збагачення) чи готова продукція	$\Sigma\alpha$ -активність; вміст ПРН, потужність дози $\gamma$ -випромінювання (10 см від об'єкта)		
	ПРН	Потужність дози $\gamma$ -випромінювання (10 см від об'єкта), вміст ПРН		
4	Обладнання (за необхідністю)	$\alpha$ - і $\beta$ - забруднення поверхонь обладнання Забруднення (мазки), потужність дози $\gamma$ -випромінювання (10 см від об'єкта)		

#### Повітря

№	Об'єкт	Вимірювані параметри	Періодичність	Кількість
1	Повітря робочої зони Основні робочі місця Склад продукції	Запиленість загальна, вміст ПРН в пилу, концентрація активності радону або ЕРОА радону, $\Sigma\alpha$ -активність пилу		
2	Викиди місцевих вентиляційних пристроїв	Запиленість загальна, вміст ПРН в пилу, концентрація активності радону або ЕРОА радону, $\Sigma\alpha$ -активність пилу		

#### Дозиметричний контроль на робочих місцях

Об'єкт	Вимірювані параметри	Періодичність	Кількість
Кожне основне робоче місце або робоча зона	Запиленість загальна Потужність дози $\gamma$ -випромінювання Вміст ПРН в пилу $\alpha$ - та $\beta$ - забруднення (мазки) спецодягу, ЗІЗ <sup>†</sup> Концентрація активності радону або його ДПР		

<sup>†</sup> ЗІЗ – засоби індивідуального захисту

## ДОДАТОК 3

Приклад карти індивідуального обліку дози опромінення працівника

### КАРТА ІНДИВІДУАЛЬНОГО ОБЛІКУ ДОЗИ ОПРОМІНЕННЯ працівника

\_\_\_\_\_ (назва організації(підприємства), підрозділу)

\_\_\_\_\_ (дата заповнення)

КАРТА ІНДИВІДУАЛЬНОГО ОБЛІКУ ДОЗ № \_\_\_\_\_

1. \_\_\_\_\_ 2. \_\_\_\_\_ 3. \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по-батькові) (рік народження) (стать)

4. \_\_\_\_\_  
(посада, домашня адреса, телефон)

Стаж роботи в радіаційно-небезпечних умовах

\_\_\_\_\_ Сумарна доза опромінення на момент заповнення карти

Рік	Характер роботи	Квартальні дози, мЗв				Річна доза, мЗв	Примітка	Підпис	
		I	II	III	IV			Дозиметрист	Начальник служби радіаційної безпеки