УДК 504

Солодовнікова Л. М., канд. техн. наук, завідувач лабораторії;
ДНУ «НТК «Інститут монокристалів» НАН України, м. Харків, Україна.
Тарасов В. О., д-р фіз-мат. наук;
Інститут сцинтиляційних матеріалів НАН України, м. Харків, Україна
Маркіна Н. К., ст. наук. співр, завідувач лабораторії
Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», м. Харків, Україна.

РАДОНОНЕБЕЗПЕКА ПІДЗЕМНИХ ЗАХИСНИХ СПОРУД ТА ПІДЗЕМНИХ ШКІЛ

Введення

Дослідження негативного впливу воєнних дій на навколишнє природне середовище та оцінка небезпечних ризиків для життя та здоров'я людини на теперішній час є вкрай важливим. Вся територія України страждає від постійних обстрілів та їх наслідків. Використання в ході бойових дій різного типу озброєння приводить до механічного і хімічного забруднення компонентів довкілля важкими металами, нафтопродуктами та іншими токсичними речовинами, зокрема, радіаційними сполуками. Ці процеси мають негативний вплив на стан навколишнього природного середовища в цілому, і є особливо небезпечними для життя та здоров'я людини. Постійні обстріли території України привели до необхідності будівництва підземних захисних споруд та шкіл. У зв'язку з цим, для безпечного перебування людей в цих об'єктах важливим питанням є дослідження їх радононебезпеки.

Актуальність. Військові дії на території України постійно тривають з 24 лютого 2022 року й по теперішній час. У зв'язку з тим, що значна частина території України розташована на кристалічному щиті з великим вмістом урану-238 та торію-232, та враховуючи те, що ґрунт має пористу структуру, спостерігаються інтенсивні еманації радіоактивних газів радону-222 та торону-220 з поверхні землі та їх накопичення в підземних житлових та промислових спорудах. Визнано в світі, що найбільший внесок в формування індивідуальної ефективної еквівалентної дози опромінення населення від земних джерел радіації вносить радон-222 разом зі своїми дочірніми продуктами розпаду (близько 74%) [1]. Критичною групою населення щодо опромінення радоном є діти. Формування доз опромінення дітей обумовлено меншими розмірами тіла та органів, зокрема легень, особливостями обміну речовин (організм, що росте), більшою

радіочутливістю органів і систем організму дитини. Максимальну дозу опромінення діти одержують у віці близько 6 років. Ризик розвитку раку легень внаслідок опромінення радоном у дітей віком від 10 до 14 років – у 1,5 – 3 рази вищий, ніж у дорослих. Тому, актуальним завданням в умовах воєнних дій є визначення рівня радононебезпеки в підземних захисних спорудах та підземних школах та розробка оперативних заходів по зниженню радіаційного навантаження від радону-222 на дітей [2].

Основна частина.

Показником радононебезпеки є об'ємна активність радону-222 у повітрі. Цей показник безпосередньо вказує на ступень небезпеки потрапляння радону до організму і його внутрішнього опромінення. Відповідно до Норм радіаційної безпеки України, нормативною величиною є середньорічна еквівалентна рівноважна об’ємна активність (ЕРОА) радону в повітрі приміщень, яка не повинна перевищувати 50 Бк/м³ для новобудов і реконструйованих будівель, а також дитячих, санаторно-курортних та лікувально-оздоровчих закладів, та 100 Бк/м³ для будівель, що експлуатуються [3].

Найсильнішого впливу радону людина зазнає в закритому, не провітрюваному приміщенні. Концентрація радону в закритих приміщеннях у середньому у 8 разів вища, ніж у повітрі назовні. Джерелами радону в підвалах та приміщеннях є ґрунт під фундаментом будівлі та біля нього, будівельні матеріали та огороджувальні конструкції (стіни, фундамент, перегородки), система внутрішнього водопостачання будівлі (особливо артезіанські свердловини та колодязі) [2]. Потрапляння радону в будівлю показано на рис.1.

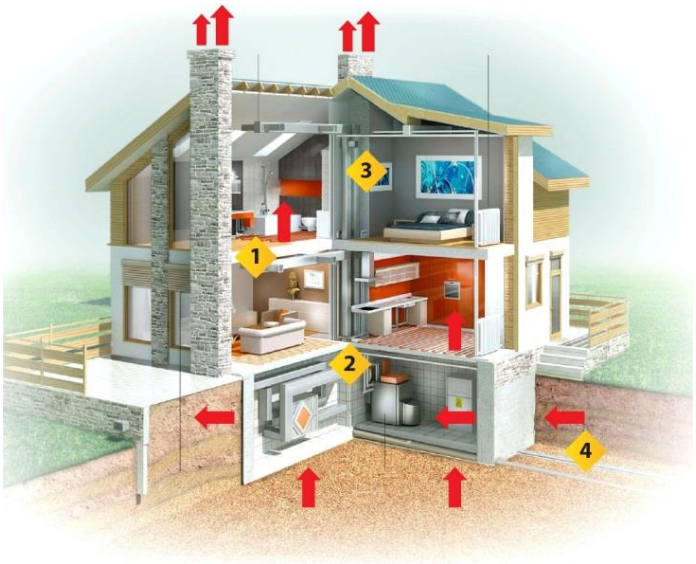

Рисунок 1 – Потрапляння радону в будівлю
1. Шпари в підлозі,2. Шпари в кладці,

3. Система вентиляції, 4. Підведення комунікацій

Величини значень об'ємної активності радону в приміщеннях різного типу (будівлі, підвали та інше) залежить від інженерно-планувального рішення і характеристик стану приміщення, режиму його вентилювання, кількості часу перебування у ньому людей та від погодних і кліматичних умов. Взимку об'ємна активність радону значно вища, ніж влітку, тому що вікна і двері щільно закриті, це зменшує вентилювання приміщень. Об'ємна активність радону може бути абсолютно різною навіть у сусідніх будівлях й змінюватися щодня і щогодини.

У зв'язку з постійними обстрілами території України, у прифронтових областях постійно діють підземні захисні споруди та для безпечного навчання дітей збудовано 33 підземні школи, а до кінця року планується звести 156 підземних шкіл-укриттів, у 2026 — ще 47. У Харкові з першого вересня 2025 року школярі відвідують офлайн-заняття у сімох підземних школах, метрошколі на шістьох станціях метрополітену та в сертифікованих укриттях при навчальних закладах. З 1 січня 2026 року планують відкрити ще три підземні школи, нині триває будівництво.

У серпні 2023 року до Закону України «Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання» (Верховна Рада України, 1998) були внесені зміни відповідно до вимог нової системи радіаційного захисту та реформ децентралізації, які були здійснені в попередні роки. Стаття 10 цього закону віднесла до компетенції місцевих органів виконавчої влади та органів місцевого самоврядування функції забезпечення радіаційного захисту населення, інформування про радіаційні ризики, запровадження відповідних програм. Такі компетенції вимагають від державних органів влади забезпечення територіальних громад відповідними інструментами, що дозволяють реалізувати ці вимоги на практиці, а саме: низкою нормативно-правових документів (методичних рекомендацій, вказівок, інструкцій тощо), які містять алгоритми дій щодо вимірювання радону в повітрі, перелік та пояснення можливих захисних заходів тощо. Так, з метою визначення радіаційних ризиків для населення від радону необхідно правильно спланувати дослідження, забезпечити його репрезентативність (вибірка, доцільна кількість вимірювань тощо) для подальшого оцінювання рівнів опромінення, мати методики встановлення-зняття радонометрів, провести інтегральні вимірювання, визначити відповідні ефективні дози, розрахувати величину ризиків, дати рекомендації щодо протирадонових заходів [4].

У зв'язку з вищевказаним, перебування дорослих і особливо дітей в підземних захисних спорудах та в підземних школах вносить ризики їх опромінення від

радіоактивного газу радону-222. Тому, для запобігання шкоди здоров'ю дорослих та дітей потрібно дослідити рівень радононебезпеки в підземних захисних спорудах та підземних школах, та розробити заходи щодо усунення цих ризиків [5].

Технічне забезпечення моніторингу радону-222 в повітрі може бути забезпечено засобами вимірювання, що реалізують різні методи реєстрації α-частинок, що випромінюються радоном-222 при радіаційному розпаді природного урану-238 (рис. 2)

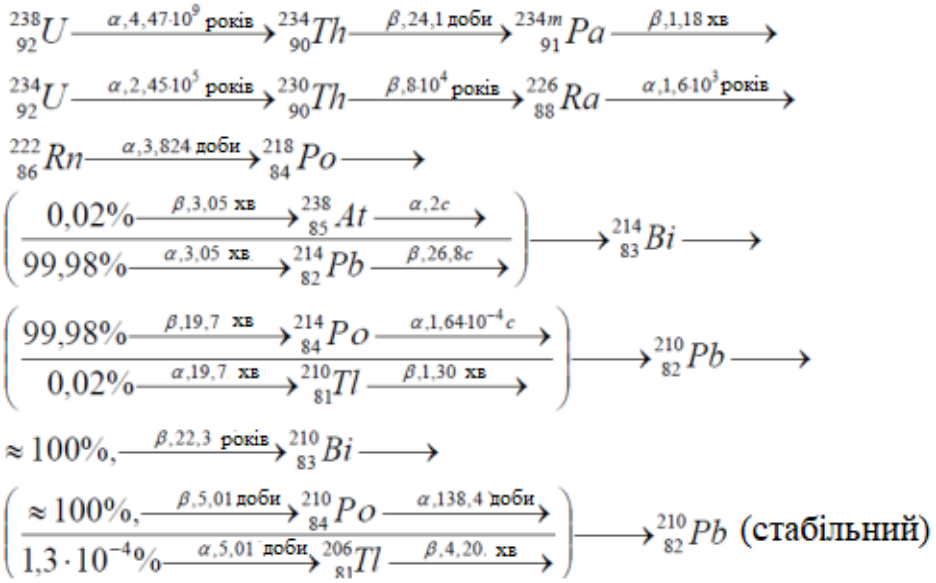

Рисунок 2 – Схема розпаду природного урану-238

Найпоширенішими методами вимірювання об'ємної активності радону-222 в повітрі є: метод трекових детекторів, сцинтиляційний метод, метод імпульсної іонізаційної камери, метод напівпровідникових детекторів, метод електретної камери, метод адсорбції радону на активованому вугіллі (метод вугільних адсорбентів).

Враховуючи те, що вимірювання об'ємної активності радону-222 необхідно проводити в закритих приміщеннях, особливо підвальних, для визначення середньорічного рівня об'ємної активності радону в повітрі підземних захисних споруд та підземних шкіл оптимальним є використання інтегрального метода (метода трекових детекторів), який характеризується тим, що тривалість вимірювання повинна бути не меншою за 30 діб.

В якості матеріалів для трекових детекторів можуть бути використані ряд полімерних матеріалів різного складу, здатних реєструвати заряджені частинки. Для реєстрації легких ядер і альфа-частинок найбільш широко застосовуються нітроцелюлозні і полікарбонатні плівки. Прилади з трековим (плівковим) детектором (рис. 3) встановлюють у тих приміщеннях, де діти та дорослі проводять час найдовше. Після закінчення терміну експонування (не менше

30 діб), радонові накопичувачі відправляють у вимірювальну лабораторію, де плівкові детектори піддаються хімічній обробці (травленню). Після цього за допомогою вимірювального приладу (рис. 4) проводиться підрахунок треків (слідів пошкодження) на детекторі, що залишили альфа-частинки. За кількістю треків розраховується об’ємна активність радону-222 [2, 6].

Рисунок 3 – Радоновий накопичувач

Рисунок 4 – Вимірювальний прилад

Для миттєвих визначень об’ємної активності радону-222 в приміщеннях підземних захисних споруд та підземних шкіл оптимальним є використання приладів, в яких реалізовано сцинтиляційний метод.

Сцинтиляційний метод вимірювання радону-222 в повітрі заснований на тому, що підраховується кількість сцинтиляцій, що виробляються паралельним пучком альфа-променів

на екрані з поглинаючою речовиною (сцинтилятором), розміщених на різних відстанях x від джерела випромінювання.

Еманаційний альфа-сцинтиляційний лічильник являє собою фотоелектронний помножувач (ФЕП), до якого оптично приєднана спеціальна камера для зміни еманацій. Камера являє собою циліндр з одним або двома вакуумними кранами, закритий з одного боку стеком. Діаметр циліндра повинен дорівнювати діаметру ФЕП. Для зменшення втрат світла застосовують камери, що мають форму усіченого конуса. Чутливість таких камер на 10-15% вища за чутливість циліндричних. Внутрішню поверхню камери покривають сцинтилятором, активованим сріблом. Спектр висвітлення активованого сцинтилятора відповідає спектральній чутливості фотопомножувача з сурміно-цезієвим катодом, використання якого дозволяє починати вимірювання відразу ж після світлоізоляції камери. Натуральний фон камери відповідає значенню від 1 до 3 імп/хв (у кращому випадку від 0,2 до 0,3 імп/хв) і залежить від забруднення альфа-випромінюючими радіоактивними елементами стінок камери і скла. Зниженню фону камери сприяє заміна скла кварцом або органічним склом, покриття її стінок товстим шаром ZnS (Ag). Швидкість підрахунку альфа-частинок камерою залежить від нижнього порогу дискримінації схеми. Зміна рівня дискримінації на 1в змінює швидкість підрахунку на 1,1% .

Для вимірювання активності радону та його ізотопів застосовують рідкі сцинтилятори. Кількість і концентрацію радону в пробах визначають за зареєстрованою швидкістю підрахунку, що створюється альфа - випромінюванням радону або продуктами його розпаду. В останньому випадку підвищуються чутливість методу і точність вимірювань [6].

Сцинтиляційний метод реалізований в таких засобах вимірювання: РГА-09 (АОЗТ «Тетра», м. Жовті води), PYLON PMT-TEL («PYLON», Канада), RAM-31`система «RADOS» (США).

Слід зазначити, що коректні оцінки об'ємної активності радону-222 у повітрі приміщень підземних захисних споруд та підземних шкіл можливі завдяки калібруванню засобів його вимірювання.

Калібрування засобів вимірювання радону-222, які використовуються в приміщеннях підземних захисних споруд та підземних шкіл, здійснюється на Державному первинному еталону об'ємної активності радону-222 (ДЕТУ 12-01-11), в склад якого входить еталонне джерело радону-222, створене на основі стандартного зразка низькофонової уранової руди УР-768С. На базі ДЕТУ 12-01-11 розроблена і впроваджена Державна перевірна схема (ДСТУ 3536-97), яка забезпечує перевірку засобів вимірювань радону, необхідних для визначення рівня радононебезпеки

приміщень підземних захисних споруд та підземних шкіл [7,8].

Таким чином, у зв'язку з існуючими змінами в законодавстві України та загрозами опромінювання від радону-222 особливо дітей, які проводять багато часу в приміщеннях підземних захисних споруд та підземних шкіл, необхідно впровадити обов'язковий моніторинг радону-222 цих об'єктів та розробити і запровадити відповідні протирадонові заходи, згідно з результатами моніторингових досліджень.

Література

1. Л. М. Солодовнікова, В. О. Тарасов, В. М. Зубер, Ю. М. Сорока, Н. Д. Сізова Методичні аспекти оцінки і зниження рівня радононебезпеки сховищ радіоактивних відходів, (2020), Вісник Національного Технічного Університету «ХПІ», Серія інноваційні дослідження у наукових роботах студентів, № 6 (1360),110-117
2. https://www.uatom.org/oprominennya-radonom
3. Норми радіаційної безпеки України. Доповнення: Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення (НРБУ-97/Д-2000). Затверджено Постановою Головного державного санітарного лікаря України від 12.07.2000. № 116. К., 2000. 25 с.
4. Павленко Т.О., Фризюк, М.А. Державний план заходів щодо радону методичне забезпечення його реалізації, (2024), Медична фізика, сучасний стан,проблеми, шляхи розвитку. Новітні технології, 11, 110-117
5. Верховна Рада України. (1998). Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання (закон України від 17.09.2023, № 15/98-ВР, підстава 3344-IX). Відомості Верховної Ради України, 1998, № 22, ст. 115. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/15/98-%D0%B2%D1%80#Tex
6. ДСТУ IEC 61577-1:2008 Прилади радіаційного захисту. Прилади вимірювання радону та продуктів його розпаду. Частина 1. Загальні принципи (IEC 61577-1:2006, IDT). [Чинний від 2008-09-03]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2018, 13 с.
7. ДЕТУ 12-01-11 Державний первинний еталон одиниці об'ємної активності радону-222.
8. ДСТУ 3536-97. Метрология. Государственная поверочная схема для средств измерений объёмной активности радона-222. [Чинний від 1997-04-18]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 1997. 8 с.