

Шифр «Р А Д О Н»

СТУДЕНТСЬКА НАУКОВА РОБОТА

на тему:

**Вдосконалення засобів та методів захисту від радону в
приміщеннях**

2019 рік

Зміст

Вступ.....	3
1. Розділ. Характеристика радону та його ДПР (дочірніх продуктів розпаду).....	4
2. Розділ. Природний радіаційний фон і джерела надходження радону в навколишнє середовище.....	5
3. Розділ. Структура середньорічних доз опромінення населення України.....	9
4. Розділ. Система норм та правил зниження рівня іонізуючих випромінювань природних радіонуклідів.....	11
5. Розділ. Заходи щодо зниження радону-222 у повітрі приміщень.....	14
6. Розділ. Підвищення ефективності засобів й методів захисту від радону-222.....	19
7. Висновок.....	26
8. Анотація.....	29
9. Список використаної літератури.....	30

Вступ

В останні роки, особливо після Чорнобильської катастрофи, суспільство стало приділяти більше уваги радіації та її впливу на організм людини. Наслідки Чорнобильської катастрофи активно обговорюються науковою громадськістю.

В той же час відомо, що найбільш вагомий внесок в дозу опромінення людини дає природна радіація. За даними Наукового комітету ООН з дії атомної радіації (НКДАР) за останні роки середньосвітова річна доза опромінення людини за рахунок природної компоненти з урахуванням техногенно-підсиленого фону зросла в 2 рази і зараз досягає 2,5 мЗв на рік [9]. В Україні за останніми дослідженнями науковців вона складає 3,38 мЗв і перевищує в декілька разів дозу опромінення населення за рахунок Чорнобильської компоненти. При цьому слід зазначити, що механізм дії та віддалені наслідки від цих обох компонент опромінення однакові і таким чином більш вагомі від природної радіації.

В загальній дозі опромінення населення природними чинниками провідну роль грає радон та продукти його розпаду, які відповідають приблизно за $\frac{3}{4}$ річної індивідуальної дози опромінення людини за рахунок природної компоненти.

Основними негативними наслідками опромінення радоном та продуктами його розпаду є захворювання на рак легенів, а також несприятливі генетичні ефекти та патологічні зміни в системі кровотворення.

Радон є обов'язково присутнім в повітрі житлових приміщень, особливо на перших поверхах будівель. Дослідження Наукового центру радіаційної медицини АМН України прогнозують в Україні 8,5-9,0 тисяч летальних випадків від раку легень за рахунок радону в повітрі приміщень.

Усе вище наведене дозволяє стверджувати, що питання обмеження опромінення радоном є одним з найважливіших у практиці радіаційного захисту населення. Водночас слід зазначити, що ця проблема має не тільки радіаційно-гігієнічне але і соціально-суспільне значення.

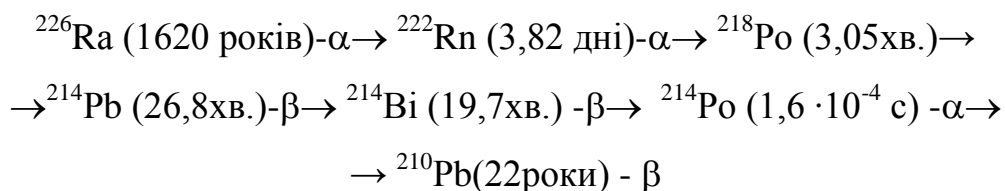
1. Характеристика радону та його ДПР (дочірніх продуктів розпаду).

Радон є єдиним газоподібним продуктом розпаду представників трьох радіоактивних родин, що беруть початок від материнських радіонуклідів урану-238 (^{238}U), урану-235 (^{235}U) і торію-232 (^{232}Th). Радон – інертний газ без кольору і запаху, майже в 10 разів важчий за повітря, добре розчинний у воді. Внесок радону в загальну дозу опромінення людини від природних джерел у різних країнах світу становить 30-90%.

Найбільший внесок в утворення радону зумовлюють радіоактивні родини урану-238 і торію-232, в процесі розпаду яких утворюються радіоактивний радон-222 (^{222}Rn) і радон-220 (^{220}Rn) (його часто називають торон за назвою вихідного материнського нукліду).

У природі зустрічаються три ізотопи радону: ^{219}Rn , ^{220}Rn і ^{222}Rn , серед яких найвагомішою складовою природного радіаційного фону є ^{222}Rn з періодом напіврозпаду 3,82 дні. Вважається, що ^{222}Rn за вмістом у сумарній дозі опромінення людини приблизно у 20 разів важливіший, ніж ^{220}Rn .

Схема перетворення і розпаду ^{222}Rn [16]:



Характерною особливістю ізоотопів радону є здатність утворювати радіоактивний осад, який складається з дочірніх продуктів радіоактивного розпаду (ДПР) радону – короткоживучих і довгоживучих радіоізоотопів полонію-218, свинцю-214, вісмуту-214, полонію-214 та свинцю-210 [4]. Утворені в результаті розпаду радону у повітрі його ДПР одразу прикріплюються до мікроскопічних аерозольних частинок (парів води та інших рідин). Оскільки поверхня легенів людини становить кілька десятків квадратних метрів, тому легені є фільтром, який осаджує ці радіоактивні аерозолі. Таким чином, більша частина опромінення людини зумовлена ДПР радону.

Співвідношення концентрацій вільного Rn і продуктів його розпаду RaA, RaB, RaC в повітрі шахт складає: 1:0,5; 0,2:0,1 при вентиляції 3-5 об'єм•год⁻¹.

У житлових приміщеннях, відповідно, величини для RaA, RaB, RaC складають 0,7-0,9, 0,6-0,8 і 0,4-0,6. RaA і RaB мають більш інтенсивне β-випромінювання, а RaB, RaC і RaC¹ інтенсивніше α-випромінювання в порівнянні з іншими продуктами розпаду. Значна частина продуктів розпаду радону затримується в легенях. При співвідношенні Rn і його продуктів розпаду 1:0,61; 0,29:0,21 і вільній фракції RaA, рівній 4%, доза опромінення бронхіального дерева продуктами розпаду, що осідають в ньому, складає 0,0036 Гр за 1 місяць роботи. У бронхах затримуються 50% вільних і 8% фіксованих на частках пилу атомів продуктів розпаду, в паренхімі 0 і 50% відповідно. В цілому поглинена доза за 1 місяць складає для RaA 0,002-0,0012; RaB 0,002-0,001; RaC 0,002-0,0016 Гр. Основним медико-біологічним наслідком опромінення людини радоном і його ДПР є рак легень [7].

2. Природний радіаційний фон і джерела надходження радону в навколишнє середовище.

Природний радіаційний фон зумовлений:

- *космічним випромінюванням*, яке формується потоком частинок високих енергій галактичного і сонячного походження. На рівні Землі інтенсивність його неоднакова і залежить від географічної широти і висоти над рівнем моря. У високих широтах і на полюсах Землі вона є значно вищою, ніж на екваторі, а на висоті 1500 м над рівнем моря є ~в 2 рази вищою, ніж на рівні моря.

Річна доза опромінення населення Землі за рахунок космічного випромінювання становить близько 0,4 мЗв.

Важливо зазначити, що дотепер не існує чіткої межі між нормальним і підвищеним рівнями природного радіаційного фону. У той же час за рекомендаціями Міжнародної Комісії з радіаційного захисту, доза опромінення від природних джерел радіації не повинна перевищувати 5 мЗв на рік [1].

- випромінюванням природних радіонуклідів, природно розподілених у землі, воді, повітрі та інших елементах біосфери. Саме це випромінювання є основним дозоутворювальним чинником природного радіаційного фону. Природна радіація земного походження зумовлює зовнішнє і внутрішнє опромінення.

Зовнішнє земне опромінення формується природними радіонуклідами, що знаходяться у літосфері, гідросфері та приземних шарах атмосфери.

Їм можна умовно поділити на дві групи:

- 1) довгоживучі радіоактивні елементи, які знаходяться посередині періодичної таблиці і мають масові числа від 40 до 190 (^{40}K , ^{40}Ca , ^{87}Rb , ^{130}Te тощо);
- 2) радіоактивні ізотопи, які входять до складу уран-радієвої (материнські радіонукліди ^{238}U і ^{226}Ra) та торієвої (материнський радіонуклід ^{232}Th) радіоактивних родин. Головним джерелом їхнього надходження у зовнішнє середовище є підстилаючі (материнські) гірські породи, породи верхніх геологічних горизонтів (в основному це осадові породи) та ґрунти.

Внутрішнє опромінення людини формується за рахунок надходження в організм людини тих же природних радіонуклідів з продуктами харчування, повітрям і водою.

Середня величина дози опромінення за рахунок внутрішнього опромінення природними джерелами становить близько 1,55 мЗв на рік.

Основними носіями радіонуклідів в атмосфері є аерозолі – дисперсні системи, що складаються з дрібних частинок (розміром від < 1 мм до >10 мм) твердої або рідкої речовини у газовій фазі. У склад радіоактивних аерозолів входять частинки, що повністю або частково складаються з радіонуклідів. Крім радіоактивних аерозолів в атмосфері містяться радіоактивні гази, які упродовж порівняно тривалого часу не приєднуються до аерозольних частинок. Це, наприклад, радіоактивні благородні гази.

Внутрішнє опромінення також зумовлене попаданням в організм людини разом з повітрям, водою та їжею радіоактивного газу радону.

У повітря приміщень радон потрапляє, в основному, із геологічного простору під будівлею, і швидкість його потрапляння залежить від концентрації урану у ґрунті та породах, коефіцієнту еманування радону, ступеня пористості порід, наявності розломів тощо.

Вміст радону в земній корі складає $4 \cdot 10^{-13}$ мг·кг⁻¹ і, завдяки пористості ґрунту, радон може мігрувати в атмосферу. Практично, радон є основним радіоактивним джерелом, що формує природну радіоактивність нижніх шарів атмосфери.

Вміст радону в атмосфері залежить від швидкості виходу цього газу з ґрунту і метеорологічних умов. Величина ексхаляції (вихід радону на поверхню) істотно залежить від типу і стану ґрунту.

З геологічної точки зору майже 40% всієї площі континентальної території Землі є потенційно радононебезпечною. Райони, де концентрація радону у ґрунтах перевищує 45,0 кБк/м³, займають приблизно 15%, а райони із ще вищою концентрацією – близько 0,5%. Це пов'язано як з неглибоким заляганням радонгенеруючих гранітних порід, так і активними зонами тектонічних розломів. Якщо середня фоновіа концентрація радону дорівнює 1,0 кБк/м³, то вміст його у зонах активних розломів збільшується до 15,0–25,0 кБк/м³.

Первинними джерелами радону є гірські породи, що містять уран. "Нормальними" в радіаційному відношенні прийнято вважати породи, в яких вміст урану і торію не перевищує 2,5 г/т (2,5 кларки). До зон підвищеного ризику належать регіони, де на поверхню землі виходять граніт, гнейс, фосфорит, вміст урану і торію в яких складає близько 100 кларків. Підвищене виділення радону з ґрунту спостерігається і у сейсмічно небезпечних зонах.

Аномальними у радіаційному відношенні є ряд районів в Україні – Хмельник, Жовті Води, Миронівка, а також Дніпропетровська, Кіровоградська і Миколаївська області, де знаходяться родовища урану. З точки зору геології 40% території України є радононебезпечними (табл. 1) [2].

Середні величини ексхаляції радону для деяких регіонів України

Район	Тип ґрунту або породи	Значення ексхаляції, Бк·м ⁻² ·с ⁻¹
м. Дніпропетровськ	чорнозем	9,0
м. Запоріжжя	чорнозем	5,0-8,5
Узбережжя Азовського моря	піщаний	1,0
Кіровоградська область	скальні породи відвалів	34-94
м. Жовті Води	чорнозем	13

Важливо також відзначити, що вміст радону в атмосфері, в одному і тому ж районі, коливатиметься залежно від погодних умов, часу доби і сезону, висотою над поверхнею землі. Із збільшенням висоти над поверхнею Землі концентрація ²²²Rn і ²²⁰Th зменшується (табл.2).

Таблиця 2.

Зміна концентрації радону і тарону залежно від висоти

Висота над поверхнею землі (H), м	Концентрація ²²⁰ Rn, %	Висота над поверхнею землі (H), м	Концентрація ²²⁰ Th, %
0,01	100	0	100
1,00	95	5	70
10,0	87	10	50
100	69	25	20
1000	38	50	5

При середньому (у світі) значенні концентрації ²²²Rn в атмосферному повітрі 5 Бк/м³ і середньому значення F=0,8 (F – коефіцієнт рівноваги ²²²Rn і його короткоживучих ДПР для висоти 1м над поверхнею Землі F=0,8) середні значення для континентальних районів еквівалентної рівноважної об'ємної активності (ЕРОА) рівне 4 Бк/м³. В залежності від географічного регіону типовий інтервал варіації ЕРОА по регіонам складає 1-10 Бк/м³. Загальний вміст радону в атмосфері оцінюється в 10¹⁸ Бк, у т.ч. 10¹⁶ Бк зумовлене емануванням радону із ґрунту.

Швидкість надходження радону з ґрунтів в атмосферу схильна до сезонних коливань і знаходиться у вираженій залежності від метеорологічних умов. Середня концентрація радону на відкритому повітрі залежить від

багатьох чинників, таких як температура, швидкість вітру, тиск та ін. Середньодобове значення концентрації радону в атмосферному повітрі взимку в 3 - 4 рази нижче, ніж влітку.

Залежно від геохімічних умов залягання радію міграція радону відбувається або в газоподібному стані, або разом з водою. Розчинність радону у воді представляє зворотню функцію температури. Чим вище температура доквілля, тим менше концентрація радону у воді, і навпаки. Тому при температурі замерзання води концентрація радону в ній підвищується приблизно в два рази в порівнянні з розчинністю при температурі 18-20°C. Найбільше значення концентрації радону в ґрунтовому повітрі спостерігається в період танення снігу і в зимовий період, коли вихід еманцій з ґрунту в атмосферне повітря особливо затруднений [4].

3. Структура середньорічних доз опромінення населення України.

За оцінками Наукового комітету з дії атомної радіації при Організації об'єднаних націй (НКДАР ООН) [9, 18], середньорічна популяційна доза опромінення населення світу від усіх видів радіоактивних джерел становить 2,8 мЗв (табл.3).

Таблиця 3

Середні річні дози опромінення населення світу від усіх джерел опромінення, (мЗв)

Джерела	Середня доза	Типовий діапазон
Природні джерела		
Космічне випромінювання:		
Іонізуюча компонента	0,280	
Нейтронна компонента	0,100	
Космогенні радіонукліди (C ¹⁴ та ін.)	0,012	
Сума:	0,390	0,300-1,000
Гамма-випромінювання	0,480	0,300-0,600
Інгаляція ²¹⁰ Pb, ²¹⁰ Po, ²³² Th та ін.	0,006	
²²² Rn та ДПР	1,150	
²²⁰ Rn та ДПР	0,100	

Сума:	1,260	0,200-10
Надходження з їжею та водою: ^{40}K , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{228}Ra , ^{226}Ra та ін.	0,170 0,120	
Сума:	0,290	0,200-0,800
Підвищене виробниче опромінення	0,002	
Разом:	2,400	1-10
Штучні джерела		
Медичне опромінення	0,400	-
Глобальні опади	0,005	
Професійне опромінення	0,0005	
Забруднення територій	0,002	
Поточні викиди і скиди АЕС	<0,0002	
Разом:	0,400	0-1,200
Усього за рахунок усіх джерел:	2,800	1-10

Структуру та величину середньорічних доз опромінення населення України від усіх джерел радіації подано на діаграмі (рис. 1), а середньорічні ефективні дози від радону при 80% часі перебуванні в приміщенні для різних регіонів України в таблиці 4.

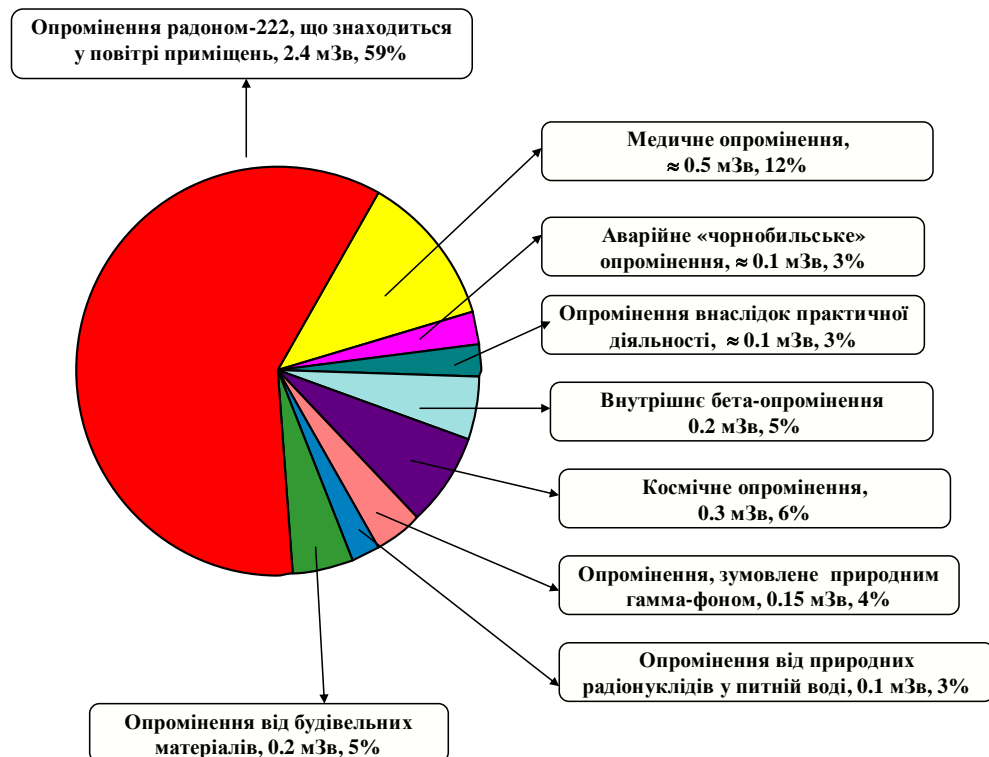


Рис.1. Структура і величина середньорічних доз опромінення населення України

Середньорічні ефективні дози від радону при 80% часі перебуванні в приміщенні для різних регіонів України

Область	Доза, мЗв	Населення, млн.чол.	Область	Доза, мЗв	Населення, млн.чол.
Вінницька	4,8	1,84	Миколаївська	2,2	1,32
Волинська	2,2	1,07	Одеська	4,8	2,55
Дніпропетровська	3,1	3,77	Полтавська	2,2	1,71
Донецька	4,8	5,06	Рівненська	3,1	1,19
Житомирська	2,2	1,46	Сумська	2,2	1,37
Закарпатська	2,2	1,29	Тернопільська	3,1	1,17
Запорізька	5,2	2,04	Харківська	2,2	3,02
Івано-Франківська	2,2	1,46	Херсонська	5,2	1,25
Київська	2,2	4,48	Хмельницька	2,2	1,49
Кіровоградська	4,8	1,2	Черкаська	5,2	1,48
Кримська АР	2,2	2,55	Чернівецька	2,2	0,94
Луганська	2,2	2,71	Чернігівська	3,9	1,32
Львівська	2,2	2,74			

Середньорічна ефективна доза від радону для України з врахуванням чисельності населення в областях дорівнює 2,4 мЗв [3].

4. Система норм та правил зниження рівня іонізуючих випромінювань природних радіонуклідів.

Система норм та правил зниження рівня іонізуючих випромінювань природних радіонуклідів в будівництві, передбачена Державними будівельними нормами України [15], встановлює вимоги до виробничого і експлуатаційного фактора – «підвищений рівень іонізуючого випромінювання природних радіонуклідів», який підлягає регламентуванню і зменшенню, та призначає правила, методи і засоби його контролю.

Система поширюється на всі види будівництва, крім об'єктів атомної промисловості та тих, де діють спеціальні нормативні документи, що регламентують вимоги до радіаційного захисту. Загальний нагляд за виконанням вимог ДБН здійснюють органи Держсаннагляду.

Радіаційний контроль здійснюється на підприємствах, які видобувають (виробляють) сировину та будівельні матеріали, в організаціях-споживачах цієї сировини чи матеріалів, а також на об'єктах будівництва.

Регламентовані радіаційні параметри у будівництві.

Регламентованими радіаційними параметрами в будівництві є [5]:

- *Ефективна сумарна питома активність (A_{ef})* природних радіонуклідів (ПРН) радію-226 (^{226}Ra), торію-232 (^{232}Th), калію-40 (^{40}K) в сировині та будівельних матеріалах:

$$A_{ef} = A_{\text{Ra}} + 1.31 A_{\text{Th}} + 0.085 A_{\text{K}}, \quad \text{Бк / кг}$$

де A_{Ra} , A_{Th} , A_{K} , – питома активність ^{226}Ra , ^{232}Th і ^{40}K відповідно;

1.31 і 0.085 – вагові коефіцієнти по відношенню до ^{226}Ra - для ^{232}Th і ^{40}K відповідно.

A_{ef} обмежує застосування сировини та будівельних матеріалів з підвищеним складом ПРН і використовується при вхідному радіаційному контролі (ВРК).

- *Потужність поглиненої дози (ППД)* в повітрі приміщень, яка вимірюється в мкГр/год. ППД використовується при радіаційному контролі в процесі виробництва (РКПВ) і при остаточному радіаційному контролі об'єкту (ОРКО).
- *Середньорічна еквівалентна рівноважна об'ємна активність (ЕРОА) радону-222 (C_{Rn})*, яка вимірюється в Бк/м³ (C_{Rn}), використовується при остаточному радіаційному контролі об'єкту (ОРКО).

З урахуванням класифікації будівельних об'єктів, допустимі рівні регламентованих радіаційних параметрів не повинні перевищувати величин, зазначених в таблиці 5 (згідно з ДБН В.1.4-1.01-97). Такі ж самі рівні в різних країнах світу представлені в таблиці 6.

Таблиця 5.

Допустимі рівні регламентованих радіаційних параметрів

Регламентований радіаційний параметр	Допустимі рівні для груп будівельних об'єктів			
	1	2	3	4
Потужність поглиненої дози в приміщенні, мкГр/год (мкР/год)	< 0.26* (30)	< 0.44* (50)	не нормується	не нормується

Середньорічна еквівалентна рівноважна об'ємна активність радону-222 (C_{Rn}), Бк/м ³	< 50	< 50 **	не нормується	не нормується
Ефективна питома активність ПРН (A_{ef}) в будівельних матеріалах, Бк/кг	< 370 1 клас	не нормується	< 740 2 клас	< 1350 3 клас
<p>*Потужність поглиненої дози величиною 0.26 і 0.44 мкГр/год дорівнює потужності експозиційної дози відповідно 30 і 50 мкР/год. Зараз поняття "експозиційна доза" і "потужність експозиційної дози" в практиці радіаційного захисту не використовуються. У випадку застосування приладів зі шкалою в мкР/год необхідно користуватися такими співвідношеннями:</p> <p style="text-align: center;">1 мкР/год = 0.0088 мкГр/год ; 1 мкГр/год = 113.64 мкР/год</p> <p>** Згідно з НРБУ-97 в приміщеннях будівель і споруд, які експлуатуються з постійним перебуванням людей, середньорічна еквівалентна рівноважна об'ємна активність (ЕРОА) радону-222 не повинна перевищувати 100 Бк/м³.</p>				

За величиною ефективної сумарної питомої активності A_{ef} встановлено класи будівельних матеріалів, за якими визначають можливі області їхнього використання.

Якщо $A_{ef} < 370$ Бк/кг (1 клас) – будівельний матеріал може використовуватися для усіх видів будівництва без обмежень;

$A_{ef} < 740$ Бк/кг (2 клас) – будівельний матеріал може використовуватися для дорожнього та промислового будівництва (час перебування людей повинен бути меншим, ніж 1700 год/рік) ;

$A_{ef} < 1350$ Бк/кг (3 клас) – будівельний матеріал може використовуватися для таких об'єктів:

- промислового призначення, практично не пов'язаних з перебуванням людей;
- дорожнього призначення поза населеними пунктами;
- дорожнього призначення в межах населених пунктів за умови покриття шаром ґрунту або іншого матеріалу товщиною не менше, ніж 0,5 м.

Для використання будівельних матеріалів з $A_{ef} > 1350$ Бк/кг у всіх випадках необхідно одержати дозвіл Державного санітарного нагляду.

Згідно з НРБУ-97, величина $A_{\text{эф}}$ не повинна перевищувати 3700 Бк/кг для матеріалів, що мають естетичну цінність, і які використовуються:

- для внутрішнього і зовнішнього оздоблення об'єктів громадського призначення, крім дитячих закладів;
- для зовнішнього оздоблення цокольних частин житлових будинків.

Для внутрішнього оздоблення житлових приміщень та оздоблення дитячих закладів такі матеріали можуть бути використані на підставі окремих регламентів, затверджених Держсаннаглядом.

Допустимі рівні іонізуючого випромінювання на робочих місцях будівельників та робітників промисловості будівельних матеріалів (в неаварійному режимі роботи) не нормуються. Якщо за технологією передбачається використання джерел іонізуючого випромінювання, на працівників робочої зони розповсюджується дія НРБУ-97.

Таблиця 6

Рівні дій для радону в різних країнах світу

Країна	Рівень дій для існуючих будівель, Бк·м ⁻³		Рівень дій для житла, що будується, Бк·м ⁻³	
	ОА	ЕРОА	ОА	ЕРОА
США	150	60*		
Велика Британія	200	80*	200	80*
Чехія	250	200		100
Німеччина		100*		
Австрія	400	160*	200	80*
Бельгія	150	60*		
Росія		200		100
Україна		100		50

Примітка: * – для порівняння значень об'ємну активність (ОА) радону приведено в значеннях ЕРОА, коефіцієнт рівноваги – 0,4 [23].

5. Заходи щодо зниження радону-222 у повітрі приміщень.

Внутрішнє опромінення від радіоактивного газу радону зумовлене цілим рядом факторів. В атмосферу приміщень радон надходить наступними шляхами:

○ *проникненням з ґрунтів крізь фундамент і перекриття підвальних приміщень будинку.* Тому перед початком будівництва будь-яких об'єктів потрібно виміряти активність радону в ґрунті і повітрі, а також врахувати швидкість надходження радону з ґрунту в житлові приміщення. Важливим фактором впливу на концентрацію радону є конструкція будинку – чим більший "контакт" будинку із ґрунтом, тим вищий рівень радону;

○ *за рахунок ексхаляції (виділення) з матеріалів конструкції будинку.* Будинки, збудовані з порівняно слаборадіоактивних (за гамма-випромінюванням) матеріалів, можуть бути вкрай небезпечними за рахунок високого виділення радону з будівельних матеріалів. З іншого боку, багато цементів характеризуються підвищеним вмістом природного радіоактивного ізоотопу калію-40, що у процесі розпаду генерує тільки гамма-випромінювання і не продукує радіоактивні гази. У цьому випадку, на фоні відносно підвищеного рівня гамма-випромінювання не буде спостерігатися підвищення рівня концентрації радону. Отже, контроль інтенсивності гамма-випромінювання будівельних матеріалів за допомогою гамма-радіометрів не гарантує якісного контролю за радоном для споруджуваних з цих матеріалів будівель. Небезпеку будівельних матеріалів за радоном необхідно контролювати безпосередньо за радоном;

○ *з водопровідною водою і природним газом.* Радон добре розчиняється у воді і міститься у всіх природних водах. Причому в глибинних ґрунтових водах його вміст, як правило, більший, ніж у поверхневих водостоках і водоймах. Наприклад, у підземних водах концентрація радону може змінюватися від 4–5 Бк/л до 3–4 МБк/л, тобто в мільйон разів. У водах озер і рік концентрація радону не перевищує 0,5 Бк/л, а у водах морів і океанів – не перевищує 0,05 Бк/л. Радон потрапляє з вод в атмосферу за рахунок процесів ексхаляції-дегазації з повітряних бульбашок, що містяться у воді [2,8].

Основну частину дози опромінення від радону людина отримує, знаходячись у закритому приміщенні, яке не провітрюється. В зонах з помірним

кліматом концентрація радону в закритих приміщеннях в середньому у 8 разів вища, ніж у зовнішньому середовищі.

Внутрішнє опромінювання людей, що мешкають в будівлях, визначається радоном (^{222}Rn) і продуктами його розпаду. Радон (^{222}Rn), що є продуктом розпаду радію (^{226}Ra), дифундує із будівельних конструкцій в повітря житлових і виробничих приміщень і разом з продуктами його розпаду при вдиханні потрапляє в легені людини, опромінюючи легеневу тканину. Окрім цього радон дифундує з ґрунту, що знаходиться під будівлями [13].

На вміст радону в повітрі приміщень впливає ряд чинників, зокрема місце розміщення будівлі, пора року, метеоумови та ін. Крім того мають значення конструктивні особливості будівель – вид будматеріалу, наявність вентиляції, швидкість повітрообміну, поверховість, якість оздоблювання приміщень. Встановлено, що на перших поверхах будівель в приміщеннях без наявності вентиляції вміст радону у декілька разів більший, ніж на верхніх поверхах.

Нормами радіаційної безпеки України встановлені нормативи вмісту радону і торону (еквівалентної рівноважної об'ємної активності ЕРОА ^{222}Rn) в зоні дихання в приміщеннях. У випадку, коли будівля або споруда вводиться в експлуатацію після закінчення будівництва або реконструкції, норматив вмісту середньорічної ЕРОА ^{222}Rn в повітрі приміщень складає $50 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$, а для торону – $3 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$. Для існуючих будівель і споруд рівень вмісту середньорічної ЕРОА ^{222}Rn в повітрі не повинна перевищувати $100 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$, а торону – $6 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$.

Для оцінки стану радіоактивності будівельних матеріалів і доз опромінювання населення санітарно-епідеміологічна служба повинна постійно проводити контроль на всіх стадіях запобіжного санітарного нагляду, а також при виготовленні будівельних матеріалів на підприємствах будівельної індустрії.

Так, згідно з ДБН В.2.2-9-99 «Громадські будинки та споруди. Основні положення» при розробці проектів будівництва і реконструкції об'єктів проектні організації зобов'язані використовувати будівельні матеріали, які за своїми радіаційними параметрами дозволяються в будівництві споруд, що

проектуються. При потребі необхідно передбачати проектування автономних систем вентиляції підвальних приміщень, а також ретельну герметизацію перекриття між першим поверхом та підвалом.

Радіаційному контролю підлягають приміщення, які розраховані на постійне перебування там людей (житлові кімнати, кухні, соціально-побутові приміщення, робочі кімнати у виробничих будівлях та ін.). Радіаційний контроль включає виміри потужності поглиненої в повітрі дози гамма-випромінювання та виміри вмісту ^{222}Rn і торону в повітрі приміщень. Вимірювання проводяться приладами, що пройшли державну повірку і метрологічну атестацію в установленому порядку.

Контроль еквівалентної рівноважної об'ємної активності радону (ЕРОА) в повітрі приміщень може проводитися двома методами:

- вимірювання інтегральних значень вмісту ^{222}Rn та торону методом пасивної трекової радонометрії;
- вимірювання миттєвих значень об'ємної активності ^{222}Rn та торону радіометром радону з подальшим розрахунком на ЕРОА.

У житлових приміщеннях вимірювання проводяться при закритих вікнах, вхідних дверях і включеному опалюванні на перших поверхах в кожному під'їзді будинку. При вимірюваннях з використанням трекових радонометрів приміщення повинні бути заздалегідь витримані у вказаному вище режимі не менше 7 діб. У виробничих приміщеннях вимірювання проводяться в усіх приміщеннях, де є постійні робочі місця.

Радонометр розміщується в центрі приміщення. Час експонування інтегральних радонометрів повинен бути не менше 7-10 діб. Для більш точної оцінки вмісту ^{222}Rn в повітрі в існуючих приміщеннях час експозиції повинен дорівнювати одному місяцю [2,15].

При вимірах миттєвих значень об'ємної активності ^{222}Rn та торону розрахунки ЕРОА проводять з використанням коефіцієнта рівноваги між радоном та продуктами його розпаду, який дорівнює 0,4.

При виявленні перевищень нормативів вмісту ^{222}Rn в повітрі приміщень необхідно проводити низку заходів щодо його зниження (табл. 7). Оскільки об'ємна активність радону в повітрі житлових приміщень залежить від багатьох причин, його зниження можна досягти за допомогою різних заходів. Деякі з цих заходів можна вжити тільки стосовно новобудов. Наприклад, при проектуванні будинків і споруд необхідно використовувати матеріали, в яких відсутня аномально висока питома активність ^{226}Ra (дерево, цегла, залізобетон).

Для вже збудованих споруд є такі ефективні заходи протирадіаційного захисту від радону, що дозволяють понизити його концентрацію у 10-15 разів:

- герметизація щілин у підлозі та стінах;
- вентиляція повітря в підвалах та приміщеннях;
- оздоблювання стін пластичними матеріалами, такими як поліамід, поліхлорвінілхлорид, поліетилен, сучасними шпалерами із штучним покриттям, шаром фарби на епоксидній основі або трьома шарами масляної фарби;
- постійне провітрювання не тільки житлових та виробничих приміщень, а також ванно-душових комплексів і кухонь, в яких використовується газове опалення.

При здачі об'єктів в експлуатацію, у разі виявлень об'ємної активності радону понад $50 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$, але менше $100 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ рекомендується проведення природної вентиляції в приміщеннях (провітрювання), посилення вентиляції повітря під підлогою.

Противрадонові заходи обов'язково проводяться у разі перевищення об'ємної активності радону більше ніж $100 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ в дитячих, санаторно-курортних, лікувально-оздоровчих і громадських установах. У житлових приміщеннях противрадонові заходи здійснюються тільки за узгодженням власника житла.

У разі відсутності очікуваного ефекту ухвалюється рішення про скорочення тривалості знаходження людей в цих приміщеннях або перепрофілювання їх використання [21].

Критерії для прийняття рішень

Табл. 7.

Категорія прийняття рішень	ППД, мкГр·год ⁻¹	ЕРОА радону, Бк·м ⁻³ (середньорічна)	Рішення
I	<0,44	<50	Заходи не обов'язкові.
II	<0,44	50-100	Рекомендується проведення мінімального комплексу протирадонових заходів; підсилення природної вентиляції приміщень; вентиляція підпільного простору та ін.
III	>0,44	>100	Проведення протирадіаційних заходів обов'язкове*.
	>0,44	<100	Мінімальний комплекс заходів: протирадонові заходи герметизація перекриття першого поверху в споруді; вентиляція підпільного простору; підсилена природна вентиляція квартир; пофарбування емульсійними або масляними фарбами стін; склеювання стін шпалерами на полімерній основі; відведення радону з-під споруди за допомогою дренажного пристрою.
IV	>0,44	>100	Якщо заходи не дають зниження ЕРОА радону, вирішується питання про зміну призначення приміщення або обмеження перебування в ньому людей.

* Методи зниження ППД в приміщеннях потребують додаткового вивчення за рахунок проведення спеціальних досліджень [3].

6. Підвищення ефективності засобів й методів захисту від радону-222.

Для більшості регіонів України основним джерелом надходження радону-222 в повітря житлових приміщень є підстилаючий ґрунт, що обумовлено його геохімічними особливостями. Більше треті території України розміщується на

Українському кристалічному щиті, якій має підвищений вміст трансуранових елементів, продуктом розпаду яких є радон-222.

Виділення (просочування) радону з ґрунту залежить від багатьох причин, пов'язаних з місцем будівництва і будівельною діяльністю: геологічна побудова ділянки, наявність гірських розробок, крутизна рельєфу і т.д.

Дослідження, які провадились на території України в останні роки, дозволили оцінити радон як основний дозоутворюючий фактор. Дослідження показали, що у двох сусідніх будинках рівні радону можуть відрізнятись в кілька разів при однакових геологічних умовах. Так, в с. Самчинці Неміровського району Вінницької області рівні радона-222 у двох сусідніх будовах відрізнялись в сотні разів. Основна причина такого явища – розбіжності в архітектурно-планувальних і інженерно-технологічних рішеннях конкретних будов [4].

У 1991 році Міністерством охорони здоров'я України затверджено норматив на вміст радону-222 в повітрі будов і споруджень Норматив має два рівня: $100 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ для існуючих будов і $50 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ для будов і споруджень, що здаються до експлуатації. Таким чином, дослідження і розробки ведуться по двох основних напрямках. В першому випадку мова йде про необхідність реконструкції будов з метою проведення певних протирадонових заходів. В другому протирадонові заходи повинні закладатись на рівні проекту, що за світовими даними більш економічно, ніж реконструкція, й складає до 3 % від кошторисної вартості будівництва.

Надходження радону в повітря будов відбувається за рахунок природної повітря- і газопроникності будівельних матеріалів наявності тріщин, що створюються при спорудженні і експлуатації будов, опалювальної системи, ландшафтної прив'язки будов (рис. 2).

Основні напрямки розробки протирадонових заходів:

- максимальне скорочення виділення радону з ґрунту;
- локалізація місць надходження радону в будову;

- зниження різними шляхами об'ємної активності радону в повітрі приміщень;
- зменшення рухливості (розповсюдження) радону, що надійшов до будови.

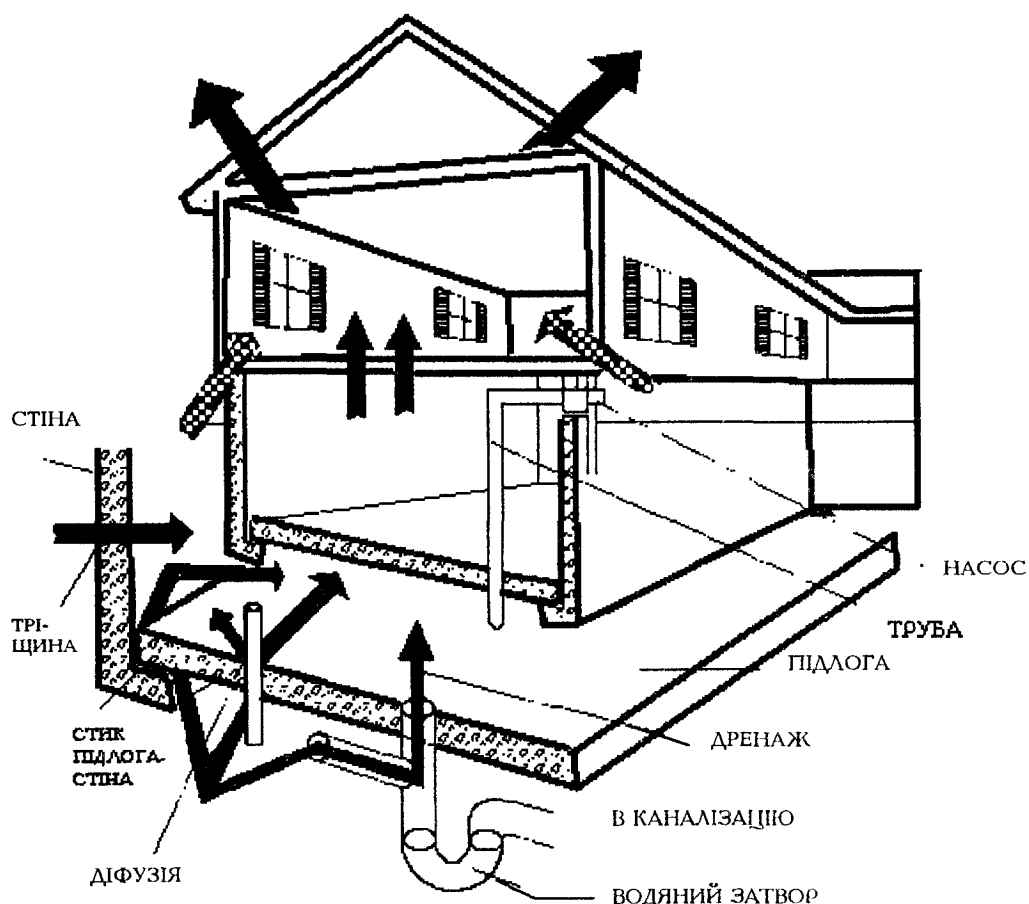


Рис. 2. Основні шляхи надходження радону в будову.

Протирадонові заходи для будов, що проектуються.

Проблема надходження радону у повітря будов пов'язана в першу чергу зі збільшенням площі стикання з ґрунтом, наявністю підвалів, глибиною їх залягання. Приблизно однакова кількість радону надходить через зовнішні стіни і підлоги (ексхаляція з підлоги на 20% вище, однак площа стін на 20-25 % більше площі підлог). Найбільша кількість радону надходить через шви збірних елементів, в місцях з'єднань різних конструкцій та нещільностей.

Поряд з заходами по зниженню радонопроникності конструкцій, реальним захистом може бути надмірна кількість повітря (тиск) в приміщенні, яка залежить від характеристики прийнятої системи механічної вентиляції.

Розповсюдження радону, що надійшов до будови, залежить як від ізоляційних властивостей конструкцій, так і від загального планування будови, побудови комунікацій, орієнтації будови по відношенню до переважного напрямку вітрів.

З урахуванням основних вимог і умов щодо проектування, технічного обладнання і експлуатації будов, заходи захисту можна поділити на режимно-технологічні, пов'язані з впровадженням систем видалення радону, та конструктивно-планувальні, що відносяться, головним чином, до ізоляції приміщень тривалого перебування людей (таблиця 8).

Гарними ізолюючими матеріалами є бітумні мастики, полівінілацетатні дисперсії, кремнійорганічні й силікатні емалі, епоксидні смоли для нанесення покриттів або в складі захисних штукатурних сумішей (таблиця 9).

Підлоги по ґрунту виконуються поверх ущільненої цегляним щебенем підвалини і заливаються гарячим бітумом або глинобітумною емульсією. Покриття підлоги підвалів роблять монолітним, без швів (цемент на основі епоксидної смоли, асфальто-бетон). Ретельно виконується запакування в місцях примикання підлоги до колон, стін, трапів [2,23].

Заходи захисту житлових будов від надходження радону-222

Табл. 8.

Напрямки протирадонового захисту	Скорочення надходження	Локалізація місць надходження	Зниження концентрації	Зменшення рухомості	Збереження планувальної структури будови
Режимно-технологічні					
Зниження ексхаляції з ґрунту	+				+
Природне провітрювання			+		+
Локальні системи витяжної			+		+

вентиляції					
Конструктивно-планувальні					
Ліквідація підвалів, створення технічного поверху	+				
Оптимальне розміщення приміщень			+		
Підвищення ізоляційних властивостей перекриття	+	+	+	+	+
Визначення шляхів видалення із загальних комунікацій		+		+	

Проникність будівельних матеріалів

Табл. 9.

№ п/п	Найменування матеріалу	Коефіцієнт дифузії	Технологічна товщина шару, мм	Оцінка
1	Масляна фарба	$10^2 - 10^3$	0,5	проникне
2	Асфальт	< 1	0,5 – 1,0	не проникне
3	Штучні смоли.	< 1	0,3	не проникне
4	Бітум	< 1	3	не проникне
5	Силіконова обмазка	< 1	3	не проникне
6	Епоксидна смола	< 1	1 - 5	не проникне
7	Пемзовий туф	$0,9 \cdot 10^6$	100 - 300	проникне
8	Гіпс	$1,3 \cdot 10^6$	100 - 300	проникне
9	Газобетон	$1,3 \cdot 10^6$	100 - 300	проникне
10	Важкий бетон	$6,8 \cdot 10^4$	100 - 300	проникне
11	Шлакоблок	$3,8 \cdot 10^5$	100 - 300	проникне
12	Вапняк-піщаник	$3,4 \cdot 10^5$	100 - 300	проникне
13	Природний камінь	$4,6 \cdot 10^4$	100 - 300	проникне

Для зниження концентрації радону в підвальних приміщеннях створюють локальні системи витяжної механічної вентиляції з забором в нижній зоні і організованим припливом зовнішнього повітря в верхній зоні приміщення або забезпечують природне крізне провітрювання через прорізи. Входи до підвалу обладнують дверима з ущільненими прокладками.

Заходи захисту від радону, які реалізуються при новому проектуванні і будівництві, включають вибір та підготовку ділянки, особливе формування архітектурно-планувальної структури і влаштування інженерних систем

вентиляції і теплопостачання будов. В місцях значного виділення радону при інженерному освоєнні ділянки проводяться наступні заходи;

- уточнюється вміст радону в ґрунті на ділянці;
- при будівництві над гірськими виробками бурять свердловини вздовж контуру забудови для вільного виходу радону і зменшення його концентрації безпосередньо під будовою;
- у ході інженерного освоєння ділянки запобігають великих зрізок ґрунту, риття котлованів, ям і траншей з наступним їх закиданням.

Якщо виділення радону на ділянці будівництва перевищує $80 \text{ мБк}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ (вірогідна ефективна зрівноважена об'ємна активність (ЕРОА) радону в повітрі підвальних приміщень перевищує $100 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$, то підвали під житловими приміщеннями не споруджуються або не використовуються як приміщення для тривалого перебування людей (майстерні надомної праці, приміщення для спортивних занять і т. п.). Якщо ЕРОА радону нижче вказаного рівня – рекомендується проведення стандартного комплексу протирадонових заходів з метою зниження концентрації радону до нормативної.

Для вилучення радону з будов використовують систему природної вентиляції крізь комунікації і східцеві клітки з витяжними шахтами або люками на даху.

При значному виділенні радону і необхідності забезпечення його нормативної об'ємної активності в підвалах або приміщеннях першого поверху з тривалим перебуванням людей, крім систем локальної витяжної вентиляції, використовують вентиляційні системи з підпором повітря. Головне призначення таких систем полягає в створенні надмірного тиску, якій би чинив опір дифузії крізь огороження й нещільності та забезпечував витиск радону в евакуаційний канал.

Така система може поєднуватись з повітряним опаленням, а організований приплив може регулюватися й фільтруватися. Забір повітря і шляхи його подання повинні бути захищені від проникнення радону і мати низький опір руху потоку. Вилучення повітря в приміщеннях з надмірним

тиском може виконуватися крізь двері, нещільності вікон, спеціальні отвори або канали. Витрати повітря можна оцінювати, виходячи з фактичної і нормативної об'ємної активності радону, збереження надмірного тиску повітря на оптимальному рівні і допустимої швидкості проходження крізь відчинені двері, в межах 0,5...0,7 метра за секунду.

Для вилучення радону використовують повітропроводи, канали, шахти і лише в особливих випадках зачинені східцеві клітки й комунікаційні коридори. Шляхи, по яким вилучається радон, повинні мати низький опір руху потоку.

Методи захисту від радону для існуючих будов.

Існує чотири основних методи захисту від радону.

- 1) герметизація підпільних перекриттів (ізоляція);
- 2) створення підвищеного тиску в приміщеннях (приток повітря);
- 3) підпільна вентиляція;
- 4) зменшення тиску в підпіллі.

Ізоляція. Ізоляція може містити в собі або повну герметизацію підлоги поліетиленовою плівкою чи іншими матеріалами, або ізоляцію окремих щілин й місць підводу комунікацій. Важливим моментом є ізоляція комунікацій. Ефективність даного заходу оцінюється як 2:1, тобто при сприятливому випадку концентрація радону зменшується у два рази.

При відносній дешевизні поліетиленової плівки, проведення даного заходу потребує значних економічних витрат, так як метод реалізується по складній технології; знімання підлоги, укладання плівки, заливання бетоном з улаштуванням зумпфу, укладання плівки, заливання бетону і настелення підлоги.

Створення підвищеного тиску. Мета методу – створення в будові тиску до рівня, що перевищує стоковий і поточний ефекти. Досягається шляхом розміщення вентиляторів потужністю біля 60 Вт для закачування в будову повітря з даху. В будові створюється позитивний тиск і градієнт тиску в підлозі

направляється в протилежну сторону, тобто назовні. Підвищений тиск має позитивний ефект і з точки зору вентиляції, так як, концентрація радону зменшується зі збільшенням вентиляційного потоку повітря. Ефективність даного заходу – трикратне зменшення концентрації радону.

Підпільна вентиляція. Метод складається із наступного – підлогу підносять над землею, в стінах утворюють наскрізні отвори, через які вільно циркулює зовнішнє повітря.

Підпільна вентиляція полягає в збільшенні вентиляційного потоку під підлогою. Підлога може бути будь-якої конструкції (цементна, дерев'яна і т. д.). Вентиляція може бути природною, наприклад, крізь спеціально залишені отвори в стінах, або примусовою, коли використовуються вентиляційні системи. При достатньо високому рівні вентиляційного обміну можливо зменшення концентрації радону до прийнятних в будь-якому будинку.

Зменшення підпільного тиску. Зменшення підпільного тиску або радонове уловлювання – дуже ефективний метод зменшення концентрації радону, за допомогою якого вміст радону в повітрі приміщення можна реально зменшити від 8 до 20 разів.

Висновок

Керуючись вихідними положеннями, можна сформулювати наступні основні вимоги до системи радонозахисту будов, які проектують для радононебезпечних територій:

- максимальне скорочення надходжень радону під споруду;
- покращання радонозахисних можливостей будов, включаючи підвищення ізоляційних властивостей архітектурно-планувального рішення та огорожувальних конструкцій;
- збільшення обміну повітрям із забезпеченням припливу свіжого повітря в приміщення та викиду забрудненого.

Зниження виділення радону під спорудою може бути здійснено за рахунок інженерного захисту ділянки і укріплення геологічної структури основи. Інженерний захист ділянки для майбутньої будови полягає в:

- бурінні свердловин для виходу радону з місць його концентрації в карстових порожнинах або гірських виробках, якщо такі є на ділянці;
- зниженні рівня ґрунтових вод при наявності в них радону або інших радіоактивних речовин в кількостях, що перевищують встановлені норми;
- забороні, при виробництві робіт, зрізок землі і риття траншей з наступним їх засипанням пухким ґрунтом;
- відмовленні від різних заходів "облагороджування" схилів і порушення цілісності ґрунтів.

Геологічна побудова ділянки, яка є ґрунтом з порожнинами, тріщинами або пухкими радонопроникними шарами, вимагає спеціальної попередньої будівельної підготовки. При цьому, як вже відзначалося, може практикуватися цементизація або силікатизація ґрунтів основ.

Будівництво в радононебезпечних зонах вимагає застосування індивідуальних будов підвищеної поверховості з мінімальною площею забудови. Якщо виділення радону після усіх прийнятих заходів інженерної підготовки ділянки залишається високим, слід відмовитись від застосування проектів з підвалами й технічними підпіллями під житловими приміщеннями.

Підвищення радонозахисних можливостей будов при проектуванні припускає більш жорсткий контроль та використання матеріалів, що застосовуються як вихідні, зі зниженою природною радіоактивністю, що виключає радіоактивні відходи виробництва, Зниження газопроникності, збільшення тріщиностійкості та капілярної щільності блоків та панелей повинно бути підвищено за рахунок внесення різних добавок і застосування відповідних технологій при виготовленні і транспортуванні конструкцій.

Особливо важливу роль відіграють конструктивні рішення, які запобігають надходженню радону з ґрунту. До них відносяться улаштування газових дренажів під будовою, газонепроникного шару під фундаментом,

екранування стін підвалів, перекриттів та підлог. При цьому, доцільно використовувати місцеві матеріали найбільшого розповсюдження, а також будівельні елементи, які були відбраковані за своїм головним призначенням.

Збільшення обміну повітрям поряд з впровадженням ефективних систем вентиляції охоплює суто планувальний аспект – улаштування ефективного наскрізного або кутового природного провітрювання, що пов'язане з розміщенням приміщень в прийнятій забудові, організацію шляхів евакуації радону і т. д.

Таким чином, на радонебезпечних територіях відчувається необхідність в організованій реконструкції індивідуального житлового фонду з включенням в обов'язковому порядку засобів радонозахисту, компактному здійсненні нової забудови в місцях, що контролюються, за спеціально розробленими технологіями будівництва і проектами, які в найбільшій мірі відповідають ступеню забруднення радоном. Все це найбільш успішно може бути здійснено при якісній організації служби радонозахисту і ефективного використання радонебезпечних територій, що контролюють будівельне виробництво на всіх його рівнях.

Анотація

Актуальність. Питання зменшення опромінення радоном є одним з найважливіших у практиці радіаційного захисту населення України. В Україні середня величина дози опромінення за рахунок внутрішнього опромінення природними джерелами становить близько 1,55 мЗв на рік, з них біля 60% – це опромінення радоном-222. Аномальними у радіаційному відношенні є ряд районів в Україні – Вінницька, Дніпропетровська, Кіровоградська і Миколаївська області, де знаходяться родовища урану. З точки зору геології – 40% території України є радононебезпечними.

Завдання. Визначити основні напрямки розробки протирадонових заходів. Найбільш ефективними є такі протирадонові заходи: *максимальне скорочення виділення радону з ґрунту; локалізація місць надходження радону в будівлю; зниження, різними шляхами, об'ємної активності радону в повітрі приміщень; зменшення рухливості (розповсюдження) радону, що надійшов до будівлі.*

Встановлено, що проникність для радону будівельних матеріалів може відрізнятись у сотні разів. Хорошим ізоляційними властивостями володіють: фарби, бітум, асфальт, силіконові обмазки.

На радононебезпечних територіях необхідно проводити організовану реконструкцію індивідуального житлового фонду з включенням, в обов'язковому порядку, засобів радонозахисту. Все це найбільш успішно може бути здійснено при якісній організації служби радонозахисту, що контролюють будівельне виробництво на всіх його рівнях.

Загальна характеристика наукової роботи:

структура – вступ, 6 розділів, висновок, анотація, використана література; обсяг – 29 сторінок; кількість рисунків – 2; кількість таблиць – 9; кількість використаних наукових джерел – 25.

Ключові слова: дочірні продукти радіоактивного розпаду радону (ДПР), ексхаляція радону, еквівалентна рівноважна об'ємна активність радону-222 (ЕРОА), регламентовані радіаційні параметри, протирадонові заходи.

Список використаної літератури

1. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2016 році.
2. Коваленко Г. Д. Радиоэкология Украины. — 2-е изд., перераб. и доп. — Х. : ИД "Инжэк", 2008. — 264 с.
3. Коваленко Г. Д. Основы радиационной экологии. — Мариуполь : Рената, 2009. — 298 с.
4. Севальнев А.И., Костенецкий М.И., Торгун В.П., Куцак А.В. Радон: радіаційна безпека і методи захисту.— Навчальний посібник – Запоріжжя, 2009 - 88 с.
5. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97),- Київ: Відділ поліграфії Українського центру держсанепіднагляду МОЗ України, 1998.
6. Закон України «Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання» від 14.01.98. №15/98-ВР.
7. Основні санітарні правила забезпечення радіаційного захисту України (ОСПУ), Київ, 2005.
8. Защита от радона-222 в жилых зданиях и на рабочих местах. Публикация МКРЗ № 65, М., Энергоатомиздат, 1995.
9. Ионизирующее излучение: источники и биологические эффекты. Доклад НКДАР Генеральной Ассамблеи ООН. Т.1–2, Нью-Йорк, 1982.
10. Классификация минеральных вод Украины (под ред. академика НАН Украины Шестопалова В.М.) К. 2003.
11. Кольтовер В.К. Радиологическая проблема радона// Радиационная биология. Радиоэкология. 1994. Т. 34. № 2. с. 257–264.
12. Костенецкий М.И., Грибиненко Г.Т., Кравцова Л.С., Антонова Г.Л., Хрипко З.А. Радиоэкологические исследования подземных источников питьевого водоснабжения Запорожской области и дозы облучения населения. Сб. Экология и здоровье человека. Харьков, 2003, с. 859-861.

13. Лось И.П., Павленко Т.А. Ограничение облучения человека техногенно-усиленными источниками природного происхождения. // Довкілля та здоров'я - 2003.- № 1, с. 49-54.
14. Лось І.П., Павленко Т.О., Осадча О.М. Огляд протирадонових програм різних країн. Зб. Гігієна населених міст. К., 2000. Вип. 36, ч.І, с. 173-180.
15. Павленко Т.О. Наукове обґрунтування системи радіаційного захисту населення України від радону. Дис. к.т.н.: 1996 – К., – 125 с.
16. Павленко Т.О., Лось І.П. Існуючі дози опромінення населення України. // Ядерна та радіаційна безпека, 2009. Т.12, №1/- с. 18-22.
17. Радиация. Дозы, эффекты, риск. Пер. с англ.– М.: Мир, 1990.– 79 с.
18. Горицкий А.В. и др. Радиоактивность строительных материалов. Киев. Будивельник. 1990.
19. Республіканські будівельні норми. Положення про радіаційний контроль на об'єктах будівництва та підприємствах будіндустрії і будматеріалів України. РБН-356/91. Держбуд України. К., 1991.
20. Сансони Б., Отт К. Радон в домах и продолжительность жизни людей.- Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физкультуры.- 1993, №2, с. 14-17.
21. Сорока Ю., Молчанов О. Житлове будівництво й проблеми зниження опромінення населення від природних джерел іонізуючого випромінювання// Укр. Еколог. Вісник.- 1991.- Вып.4.- с. 37-43.
22. Brill A.V. et al. Facts concerning environmental radon: levels, mitigation, strategies, dosimetry, effects and guidelines.- J. Nucl. Med/- 1994, V.35. N2, P.368-385.
23. Conf. Radon - 2000.- Achiev and Alms. London., March 26-27, 1992.- Rad. Prot. Dosim., 1992. V.42. N3.
24. Gunn J. Radon concentrations in three Russian cave areas. // Cave Science, 1991, Vol.18, No.2. 85-87.
25. JCKP. Publication 103. Recommendation of the International Commission on Radiobodical Protection. Annals of the ICRP. 2007.