

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ

ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

**І.А. Соколов, В.Ф. Запрудін, А.С. Беліков,  
О.В. Пилипенко, М.В. Савицький, О.С. Гупало**

# **Радонова безпека житлових будівель**

Дніпропетровськ

2008

ББК 38

Р 15

УДК 699.887.3

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України, в якості підручника для студентів вищих навчальних закладів лист № 1.4/18-Г-1583 від 03.07.08р.)

**І.А. Соколов, В.Ф. Запрудін, А.С. Беліков, О.В. Пилипенко, М.В. Савицький, О.С. Гупало / Радонова безпека житлових будівель. /** Під ред. д.т.н., професора І.А. Соколова. м.Дніпропетровськ 2008р..

### **Рецензенти:**

**О.М. Пшинько** д.т.н., професор, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. академіка В.Лазаряна, ректор, завідувач кафедри «Будівництва і будівельних матеріалів», Заслужений діяч транспортної академії України.

**В.І. Голінько** д.т.н., професор, Національний гірничий університет, завідувач кафедри «Аерології і охорони праці».

**І.А. Шеренков** д.т.н., професор, Харківський державний університет будівництва та архітектури, завідувач кафедри «Безпеки життєдіяльності і інженерної екології», Заслужений діяч науки і техніки.

У підручнику розглянуті питання щодо радонової безпеки будівель та споруд, радіаційної небезпеки, яка утворюється від іонізуючих випромінювань радіонуклідів будівельного виробництва, вимог нормативно-правових документів в Україні по забезпеченню радіаційної безпеки населення та шляхи досягнення радіаційної якості житлових будівель, які відповідають принципам сучасної концепції радіаційного захисту людини.

УДК 699.887.3

2008

ISBN 978-966-8490-51-4

<b>ВСТУП</b>	8
<b>РОЗДІЛ 1. Радіоактивність (радіація) і вплив іонізуючих випромінювань джерел на організм людини</b>	11
1.1. Радіоактивність і характеристика іонізуючих випромінювань при розпаді природних радіонуклідів	11
1.2. Види взаємодії іонізуючих випромінювань із речовиною та характеристика дози опромінення	19
1.3. Біолого-медичні наслідки впливу іонізуючих випромінювань джерел на організм людини	32
1.4. Характеристика основних груп джерел іонізуючих випромінювань й їхній внесок у сумарну ефективну дозу опромінення людини	38
1.5. Контрольні питання	46
<b>РОЗДІЛ 2. Нормативно-правова база забезпечення радіаційної безпеки об'єктів будівництва в Україні</b>	47
2.1. Радіаційна небезпека – один з факторів, що визначають умови життєдіяльності людини в побуті та на виробництві	47
2.2. Сучасна концепція радіаційного захисту людини й місце в ній джерел іонізуючих випромінювань будівельного виробництва	53
2.3. Шляхи забезпечення радіаційного якості житла відповідно до міжнародних вимог системи якості випускаємої продукції ISO-9000	59
2.4. Вимоги Норм радіаційної безпеки України (НРБУ-97) по забезпеченню радіаційної якості житлових будинків	62
2.5. Контрольні питання	67
<b>РОЗДІЛ 3. Характеристика джерел іонізуючих випромінювань будівельного виробництва та створюваного ними радіаційного фону в приміщеннях будинку</b>	68
3.1. Радіоактивність мінеральних видів сировини та матеріалів	68
3.2. Оцінка радіоактивності виготовлених будівельних виробів та конструкцій	79

3.3. Ізотопи радону та основні джерела надходження його у повітря приміщень будинку	86
3.4. Радонові параметри будівельних матеріалів конструкцій, що обгороджують, приміщень і ґрунту, що підстилає, під будинком	94
3.5. Регламентовані радіаційно-гігієнічні параметри в приміщеннях будинку, іонізуючі джерела будівельного виробництва	100
3.5.1. Потужність поглиненої дози в приміщеннях будинку і зовнішня складова ефективної дози опромінення	103
3.5.2. Еквівалентна рівноважна об'ємна активність радону і його дочірніх продуктів розпаду (ДПР) у повітрі приміщень будинку і внутрішня складова ефективної дози опромінення	108
3.6. Контрольні питання	116

### **РОЗДІЛ 4. Організація і ведення радіаційного контролю будівельного виробництва**

118

4.1. Система радіаційного контролю будівельного виробництва в Україні	118
4.2. Регламентовані радіаційні параметри на окремих етапах будівельного виробництва і їхні припустимі рівні	122
4.3. Організація і ведення радіаційного контролю будівельних видів сировини (матеріалів), виготовлених виробів і об'єктів будівництва	127
4.4. Структура системи радіаційного контролю будівельного виробництва, що відповідає принципам НРБУ-97	133
4.5. Контрольні питання	137

### **РОЗДІЛ 5. Технічні засоби ведення радіаційного контролю будівельного виробництва**

138

5.1. Методи реєстрації і вимірів іонізуючих джерел випромінювань	138
5.2. Метрологічне забезпечення ведення радіаційного контролю на всіх етапах будівельного виробництва	145
5.3. Прилади, необхідні для ведення радіаційного контролю будівельного виробництва	148
5.3. 1. Дозиметри	150
5.3. 2. Радіометри	154

5.3. 3. Радонометри	158
5.4. Методики виміру регламентованих радіаційних параметрів будівельного виробництва	163
5.4. 1. Пробоотбір і пробопідготовка	163
5.4.2. Методика виміру питомої активності гама-спектрометрами природних радіонуклідів у будівельних матеріалах і ґрунті, що підстилає, під будинком	164
5.4.3. Методика експрес-оцінки ефективної питомої активності природних радіонуклідів у будівельних матеріалах і ґрунті, що підстилає, за допомогою гама-радіометрів і дозиметрів	167
5.4.4. Методика виміру потужності поглиненої дози гамма-випромінювання в приміщеннях будинку та на відкритому повітрі	169
5.4.5. Експериментальна методика виміру швидкості ексхаляції радону-222 із джерела в повітря приміщень будинку	170
5.4.6. Виміри об'ємної активності радону-222 у повітря приміщень будинків за допомогою пасивного трекового радонометра	172
5.5. Контрольні питання	173
<b>РОЗДІЛ 6. Розрахунково-експериментальні методи визначення регламентованих радіаційних параметрів будівельного виробництва</b>	<b>174</b>
6.1. Методи виміру ефективної питомої активності радіонуклідів будівельних видів сировини (матеріалів) і визначення радіаційних параметрів виготовлених будівельних виробів (конструкцій)	174
6.2. Методи визначення швидкості ексхаляції радону із ґрунту, що підстилає, під будинком	
6.3. Метод визначення потужності поглиненої дози гамма-випромінювання ПРН у приміщенні будинку	183
6.4. Методи визначення еквівалентної рівноважної об'ємної активності радону і його дочірніх продуктів розпаду в повітрі приміщень будинку	184
6.5. Контрольні питання	189

<b>РОЗДІЛ 7. Комплекс протирадіаційних захисних заходів (КПЗЗ) будівельного виробництва для забезпечення радіаційної якості будинків</b>	190
7.1. Аналіз захисту від впливу іонізуючих джерел випромінювань будівельного виробництва	190
7.2. Комплекс основних груп захисних заходів для забезпечення радіаційної якості об'єктів будівництва	194
7.3. Характеристика нормативно-правової групи захисних заходів	200
7.4. Технологічна група захисних заходів - основа забезпечення радіаційної якості виготовлених виробів (конструкцій)	201
7.5. Архітектурно-конструктивна група захисних заходів – засіб закладки радіаційної якості житла на стадії проектування будинку	206
7.6. Технічна група захисних заходів – засіб зменшення радононадходження із джерел у повітря приміщень будинку	213
7.7. Організаційна група захисних заходів будівельного виробництва – засіб поточного контролю за якістю продукції	224
7.8. Контрольні питання	229
<b>РОЗДІЛ 8. Соціально-економічні показники оцінки рівня радіаційної якості житла</b>	230
8.1. Критерії оцінки радіаційної небезпеки, створюваної іонізуючими випромінюваннями джерел будівельного виробництва	230
8.2. Соціальні показники ефективності застосування захисних заходів	238
8.3. Економічні показники оцінки ефективності застосування захисних заходів будівельного виробництва	240
8.4. Оцінка окупності витрат на реалізацію захисних заходів у процесі експлуатації будинку	245
8.5. Визначення реального і потенційного-можливого рівня радіаційної якості житлових будинків	248
8.6. Контрольні питання	252

---

<b>РОЗДІЛ 9. Рівень радіаційної якості, що закладається, на стадії проектування будинку й організаційно-технологічне забезпечення його на всіх етапах циклу будівництва</b>	253
9.1. Закладка якості будівельного виробництва на стадії проектування житлового будинку	253
9.2. Необхідні вихідні дані для закладки рівня радіаційної якості при проектуванні будинку	260
9.3. Методика виконання для проєктованих будинків розділу «Заходи щодо зниження рівня іонізуючих випромінювань природних радіонуклідів у будівництві»	267
9.4. Організаційно-технологічне забезпечення рівня радіаційної якості, закладеного при проектуванні будинку	273
9.5. Контрольні питання	279
<b>ВИСНОВОК</b>	280
<b>ДОДАТОК 1</b>	282
<b>ДОДАТОК 2</b>	288
<b>СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ</b>	302

## ВСТУП

Забезпечення умов життєдіяльності людини на сучасному етапі розвитку суспільства нерозривно пов'язане з ростом числа використовуваних джерел іонізуючих випромінювань техногенного характеру, що веде до збільшення ефективної дози опромінення населення.

Найбільший внесок у величину ефективної дози опромінення (до 70 %) вносять техногенно-підвищені джерела природного походження (ТПДПП), серед яких домінують іонізуючі випромінювання природних радіонуклідів (ПРН) у будівельних матеріалах огорожуючих конструкцій і в ґрунтах, що підстилають, під будинками. Зважаючи на те, що впливам іонізуючих джерел будівельного виробництва піддається практично все населення, питанню забезпечення радіаційної безпеки об'єктів будівництва суспільством приділяється особлива увага. Іонізуючі джерела будівельного виробництва є результатом діяльності людини, тому вона може і повинна впливати на інтенсивність іонізуючих випромінювань радіонуклідів.

Основою для рішення завдання радіаційного захисту людини служать рекомендації Міжнародної комісії з радіологічного захисту (МКРЗ), у яких провідні вчені світу відбивають новітні досягнення в галузі досліджень природи іонізуючих джерел, їхнього впливу на організм людини, узагальнюють результати досліджень радіаційної обстановки в регіонах різних країн світу, формують положення сучасної концепції радіаційного захисту людини (КРЗЛ) та ін.

В Україні на основі сучасної концепції радіаційного захисту людини, рекомендацій МКРЗ розроблені нормативно-правові документи по забезпеченню радіаційної якості продукції будівельного виробництва. Діюча система радіаційного контролю будівельного виробництва (СРКБВ), як механізм одержання радіаційно-якісної продукції, виконує лише одну із трьох функцій системи досягнення якості продукції (забезпечення, керування, підвищення) - забезпечення, коли реалізується принцип радіаційного захисту - не -перевищення встановлених припустимих рівнів параметрів.

Основи забезпечення радіаційної якості житлових будинків закладені в працях Крисюка Е.М., Лося І.П., Ливинського О.М., Сидельнікової О.П. та ін.

Нормативно-правовими документами по веденню радіаційного контролю будівельного виробництва в Україні передбачене обов'язкове виконання в робочому проекті на будинок розділу «Заходи щодо



зниження рівня іонізуючих випромінювань природних радіонуклідів у будівництві», що повинен відповідати вимогам діючих норм проектування і радіаційної безпеки.

Це практично можливо тільки за умови, якщо система радіаційного контролю будівництва буде відповідати принципу оптимізації концепції радіаційного захисту людини. Рішення даної проблеми базується на організаційній і технологічній системотехніці будівельного виробництва в сполученні з можливостями застосування захисних заходів щодо зменшення рівнів іонізуючих впливів радіонуклідів на кожному етапі виробництва.

Для регламентованих радіаційних параметрів будівельного виробництва в нормативних документах встановлені припустимі рівні і введені ще їхні контрольні рівні, значення яких повинні бути нижче припустимих рівнів параметрів. Встановлення контрольних рівнів регламентованих радіаційних параметрів будівельного виробництва засновано на реалізації комплексу протирадіаційних захисних заходів (КПЗЗ), що дозволяє зменшити рівень іонізуючих випромінювань радіонуклідів виробництва і реалізувати принцип оптимізації.

Рішення завдання зменшення рівня іонізуючих випромінювань радіонуклідів об'єктів будівництва можливо тільки на стадії проектування будинку (спорудження), коли можна розробити та забезпечити комплексне рішення підвищення радіаційної якості випускаємої продукції, яка задовольняє принципам концепції радіаційного захисту людини (КРЗЛ) і вимогам ISO-9000. В існуючому комплексі захисних заходів будівельного виробництва мало інформації про можливість застосування основних груп захисних заходів на окремих етапах будівельного виробництва, недостатньо приділено уваги радононадходженню із ґрунтів і конструкцій, що обгороджують, у повітря приміщень будинку, визначенню коефіцієнта ослаблення використовуваних матеріалів у якості протирадонових захисних екранів, установленню кількісних показників ефективності захисних заходів й ін.

Комплексне рішення поставлених завдань по зменшенню рівня іонізуючих випромінювань радіонуклідів об'єктів будівництва на стадії проектування дозволить підвищити рівень радіаційної якості випускаємої продукції, замовником якої виступає людина. При цьому зменшення радіаційного фону в приміщеннях будинку може бути досягнуто тільки на основі системного підходу до розділу регламентованих радіаційних параметрів на кожному етапі циклу будівництва у взаємозв'язку і залежності від ефективності

## ВСТУП

---

застосовуваних захисних заходів. Розробка та впровадження організаційно-технологічних основ зменшення рівнів іонізуючих випромінювань радіонуклідів на кожному етапі життєвого циклу можливо на основі керованої системи радіаційного контролю будівельного виробництва.

Зменшення рівня іонізуючих впливів радіонуклідів у проєктованих будинках вимагає встановлення кількісних зв'язків між радіаційними параметрами на окремих етапах життєвого циклу будівельного виробництва і їхньої залежності від реалізованих захисних заходів на базі організаційно-технологічних рішень системи контролю по керуванню радіаційною якістю випускаємої продукції.

## РОЗДІЛ 1

### Радіоактивність (радіація) і вплив іонізуючих випромінювань джерел на організм людини

#### 1.1. Радіоактивність і характеристика іонізуючих випромінювань при розпаді природних радіонуклідів

**Радіоактивність (радіація)** – це властивість атомів нестабільних хімічних елементів та їх ізотопів мимовільно переходити в атоми інших елементів у результаті переходу ядра з одного стійкого стану в інший, яки супроводжується випусканням енергії іонізуючими випромінюваннями.

Кожен хімічний елемент періодичної системи складається з молекул - найменшої частки, що володіє хімічними властивостями даної речовини. Молекули складаються з атомів. Атом, у свою чергу, являє собою електродинамічну схему, що складається з ядра й електронної оболонки, заповненої електронами.

**Електрон** – елементарна частка з електричним зарядом  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл і масою  $9,1 \cdot 10^{-31}$  кг. Число електронів в атомі дорівнює числу протонів в його ядрі та співпадає з порядковим номером елемента в періодичній таблиці. Електрони згруповані по електронним оболонкам, номери яких зростають по мірі віддалення від ядра:  $k=1,2,\dots$ . В кожній оболонці може знаходитись число електронів, яке не перевищує  $2k^2$  (2, 8, 18, 32 і т.д.).

Стан атома, при якому в кожній електронній оболонці перебуває  $2k^2$  називається основним (стійким).

Ядро атома складається із протонів і нейтронів.

**Протон** – стабільна частка з позитивним зарядом, що дорівнює по величині заряду електрона, масою  $1,6 \cdot 10^{-27}$  кг.

**Нейтрон** – нестійка частка (здатна перетерплювати зміни) не має електричного заряду, його маса дорівнює  $1,6 \cdot 10^{-27}$  кг.

У табл. 1.1 наведені основні характеристики елементарних часток, що входять до складу атома будь-якого хімічного елемента.

З аналізу табл. 1.1 видно, що маса атома зосереджена в основному в його ядрі але в електричному відношенні він нейтральний.

## Характеристика елементарних часток атома

Найменування часток	Позначення	Маса, кг	Заряд, Кл	Число в атомі
Електрон	$ie$	$9,1 \cdot 10^{-31}$	$1,6 \cdot 10^{-19}$	$Z$
Протон	${}^1_1p$	$1,6 \cdot 10^{-27}$	$1,6 \cdot 10^{-19}$	$Z$
Нейтрон	${}^1_0n$	$1,6 \cdot 10^{-27}$	-	$N$

Загальне число протонів і нейтронів у ядрі атома характеризує атомне число  $m_{ат}$ :

$$m_{ат} = Z + N. \quad (1.1)$$

*Кожний хімічний елемент X записується у вигляді символу  ${}^{m_{ат}}_Z X$ , де  $m_{ат}$  – атомне число,  $Z$  – порядковий номер елемента. Наприклад, для радія-226 ( ${}^{226}_{88} Ra$ ) до складу ядра його атома входять 88 протонів і 138 нейтронів.*

Хімічні властивості будь-якого елемента періодичної таблиці визначаються будовою їх електронної оболонки. Електрони розміщуються на певних оболонках. Кожній орбіті відповідає певне значення енергії зв'язку з ядром атома. Якщо передати атому якусь кількість енергії, то її одержать й електрони. Однак атом може приймати енергію тільки певними порціями – квантами. Поглинається її рівно стільки, скільки необхідно, щоб електрон перемістився на більш високу орбіту. При переході електрона з далекої орбіти на найближчу до ядра відбувається виділення енергії, що може бути випромінена атомом. Так атом, що перебував у незбудженому стані, після одержання додаткової енергії перейде в збуджений стан. Але цей стан нестійкий – проходить якийсь час і електрон стрибком  $\sim (10^{-6} \text{с})$  переходить на більш близьку орбіту, а надлишок енергії атом віддає у вигляді електромагнітного випромінювання (інфрачервоне випромінювання, видиме світло, рентгенівське і гама-випромінювання).

Ядро атома також є квантовою системою, що підкоряється тим самим правилам, що і електронна оболонка, але за законами ядерної фізики. Існують певні енергетичні рівні ядра. Якщо ядро атома

перебуває в одному зі збуджених станів, то через якийсь час воно повертається в первісний стан, з випускненням енергії у вигляді електромагнітного випромінювання (гама-випромінювання). Для порушення ядра необхідна енергія - у сотню тисяч разів більше чим для електронної оболонки атома, яка вимірюється в електрон-вольтах (eV).

Електрон-вольт – кількість енергії, отриманою часткою з одиничним електричним зарядом (наприклад, електроном) в електричному полі між двома крапками з різницею потенціалів в 1В ( $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ , а  $1 \text{ Дж} = 1 \cdot 10^{-7} \text{ ерг}$ ).

*У хімічних елементів періодичної таблиці є атоми, які відрізняються масою ядра, тобто при рівній кількості протонів мають різну кількість нейтронів. Такі різновиди хімічних елементів з різними атомними масами називаються ізотопами. Так природний радій має три ізотопи  ${}_{88}^{224}\text{Ra}$ ,  ${}_{88}^{226}\text{Ra}$ ,  ${}_{88}^{228}\text{Ra}$ ; водень три ізотопи  ${}_{1}^1\text{H}$ ,  ${}_{1}^2\text{H}$ ,  ${}_{1}^3\text{H}$ . У наш час відомо ~ 1500 ізотопів (мал. 1.1), деякі з яких стійкі – стабільні (~ 300), інші нестійкі – радіоактивні (> 1200).*

Стабільні ізотопи – ізотопи хімічного елемента, ядра яких не перетерплюють змін.

Хімічні елементи і їхні ізотопи, ядра яких згодом розпадаються, називаються радіоактивними або радіонуклідами.

Стійкість ядер атомів (у середньому) знижується зі зростанням їхнього атомного числа, що порозумівається зменшенням енергії зв'язку між його частками. Природна радіоактивність легких і середніх ядер – рідке явище (спостережуване в ядрах  ${}_{19}^{40}\text{K}$ ,  ${}_{37}^{87}\text{Rb}$ ,  ${}_{49}^{115}\text{In}$ ,  ${}_{57}^{138}\text{La}$ ,  ${}_{62}^{147}\text{Sm}$ ,  ${}_{71}^{176}\text{Lu}$ ,  ${}_{75}^{187}\text{Re}$ ). Серед важких ядер, починаючи з  $m_{am} > 200$ , природна радіоактивність є універсальне явище. Радіонукліди хімічних елементів та їх ізотопів утворюють три природних та один штучний радіоактивний ряди розпаду, названих по найбільше довго живучі ізотопи (урану-238, торія-232, актинію-235 і штучно одержуваний ряд нептунія-237).

Радіоактивність характеризується наступними властивостями:

- властива тільки ядрам нестабільних хімічних елементів та їх ізотопів;
- розпад ядер носить імовірнісний характер;

		Умовні позначки																																	
		стаб. - стабільний природний радіонуклід, ПРН - природний радіонуклід, ПРН - штучний радіонуклід																																	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII																											
																	(H)																		
																	стаб. 2 ПРН 2																		
1	водень																гелій																		
2	Li літій	Be берилій	B бор	C вуглець	N азот	O кисень	F фтор									Ne неон																			
3	Na натрій	Mg магній	Al алюміній	Si кремній	P фосфор	S сірка	Cl хлор									Ar аргон																			
4	K калій	Ca кальцій	Sc скандій	Ti титан	V ванадій	Cr хром	Mn марганець	Fe залізо	Co кобальт									Ni нікель																	
5	Rb рубідій	Sr стронцій	Y іттрий	Zr цирконій	Nb ніобій	Mo молибден	Tc технецій	Ru рутений	Rh родій									Pd палладій																	
6	Cs цезій	Ba барій	La - Lu лантаноїди	Hf hafній	Ta тантал	W вольфрам	Re рений	Os осмій	Ir іридій									Pt платина																	
7	Fr францій	Ra радій	Ac - Lr актиноїди	Db дубній	Jl колоїдій	Rf реверфордій	Bh борій	Hh ханій	Mt майгнердій									Ru рутений																	
* I																		A																	
La 57																		Ce 58																	
Pr 59																		Nd 60																	
Pm 61																		Sm 62																	
Eu 63																		Gd 64																	
Tb 65																		Dy 66																	
Ho 67																		Er 68																	
Tm 69																		Yb 70																	
Lu 71																		Hf 72																	
Ta 73																		W 74																	
Re 75																		Os 76																	
Ir 77																		Pt 78																	
Au 79																		Hg 80																	
Tl 81																		Pb 82																	
Bi 83																		Po 84																	
At 85																		Rn 86																	
Fr 87																		Ra 88																	
Ac 89																		Th 90																	
Pa 91																		U 92																	
Np 93																		Pu 94																	
Am 95																		Cm 96																	
Bk 97																		Cf 98																	
Es 99																		Fm 100																	
Md 101																		No 102																	
Lr 103																																			

Мал. 1.1. Радіоактивні ізотопи елементів періодичної системи Д. І. Менделєєва

**у процесі розпаду виконується закон збереження енергії, відповідно до якого енергія вихідного елемента дорівнює сумарній енергії продуктів розпаду;**

- на явище радіоактивності не впливають зовнішні фактори, як тиск, температура, магнітні і електричні поля, хімічні реагенти та ін.;
- розпад кожного радіоактивного елемента характеризується своїм сполученням видів іонізуючих випромінювань ( $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -випромінювання);
- при проходженні іонізуючих випромінювань крізь речовину (середовище) їх енергія витрачається на порушення та іонізацію атомів речовини і таке інше.

Зменшення числа радіоактивних атомів для всіх радіонуклідів при розпаді відбувається за експонентним законом:

$$N = N_0 \times \exp(-\lambda \times t), \quad (1.2)$$

де:  $N_0$  – число радіоактивних атомів у початковий момент часу  $t=0$ ;

$N$  – число радіоактивних атомів, що залишилися, у цей момент часу  $t$ ;

$\lambda$  – постійна розпаду.

Постійна розпаду  $\lambda$  показує частку ядер, що розпадаються в одиницю часу, має розмірність  $\text{с}^{-1}$ . Кожен радіонуклід характеризується значенням своєї постійної розпаду.

Тривалість існування радіонукліда оцінюється періодом напіврозпаду  $T_{1/2}$  – час, протягом якого число атомів даного радіонукліда зменшується в результаті розпаду вдвічі. Період напіврозпаду пов'язаний з постійною розпаду співвідношенням:

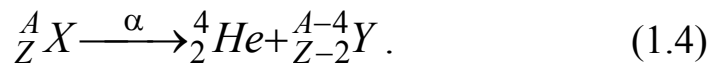
$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}. \quad (1.3)$$

Радіоактивний розпад ядра атома хімічного елемента веде до зміни його заряду, маси та енергетичного стану.

При кожному акті розпаду ядра атома нестабільного радіонукліда вивільняється енергія, передана у вигляді іонізуючих випромінювань,

які при проходженні через речовину викликають іонізацію його атомів (перетворення нейтральних атомів речовини в заряджені частки – іони різних знаків) і порушення ядра. До іонізуючих випромінювань, якими супроводжується розпад природних радіонуклідів, ставляться корпускулярні альфа ( $\alpha$ ), бета ( $\beta$ ) випромінювання, і електромагнітне гама ( $\gamma$ ) випромінювання.

**Альфа-випромінювання** – це потік важких заряджених часток ядра гелію  ${}^4_2\text{He}$ , які рухаються зі швидкістю, рівної десяткам тисяч кілометрів у секунду:



При альфа-розпаді ядра атома відбувається зменшення його маси на чотири одиниці та заряду на дві одиниці.

Цей вид випромінювання характерний для ядер елементів, розміщених наприкінці періодичної таблиці ( $m_{am} > 200$ ). Так ізотопи радію (радій-226 і радій-224) випромінюють альфа-частинки і перетворюються в ізотопи радону (радон-222 і радон-220):



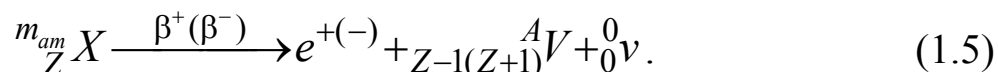
Характерна тенденція збільшення енергії  $\alpha$ -часток випромінювання зі зменшенням на півперіоду розпаду радіоактивних ізоотопів.

Енергія  $\alpha$  – часток природних радіонуклідів становить від 2 до 6 МеВ. Відомо 25 природних і більше 100 штучних радіонуклідів, розпад яких супроводжується випромінюванням  $\alpha$ -часток. Для альфа-розпаду характерна більша іонізуюча здатність впливу на середовище, але мала довжина вільного пробігу в ній.

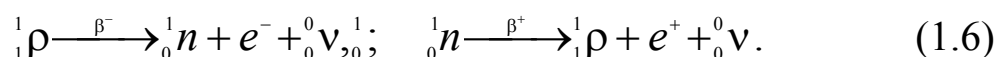
**Бета-випромінювання** – це потік легких заряджених часток (електронів і позитронів), які рухаються зі швидкістю, близької до швидкості світла. Цей вид випромінювання обумовлений здатністю протонів і нейтронів ядра до взаємних перетворень. Так, при надлишку нейтронів у ядрі атома останні перетворюються в протони, а при їхньому недоліку – протони перетворюються в нейтрони при



дотриманні законів збереження маси, енергії і заряду. Закон збереження дотримується за рахунок того, що при перетвореннях нейтрона в протон і назад виникає частка  ${}^0_0\nu$  – нейтрино, що не несе електричного заряду і маса якої близька до нуля:

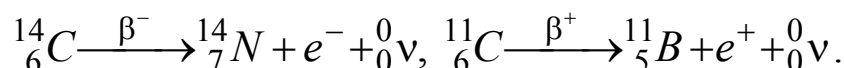


Бета-розпад – це випромінювання радіоактивним елементом електронів ( $\beta^-$ ) або позитронів ( $\beta^+$ ) описується співвідношенням:



У результаті бета-розпаду ядра атома його маса не міняється, а величина заряду зменшується на одиницю ( $\beta^+$  - розпад) або збільшується ( $\beta^-$  - розпад).

Наприклад, при розпаді ізотопів вуглецю має місце  $\beta^-$ - і  $\beta^+$ -випромінювання:



Бета-розпад характеризується суцільним спектром випромінювання енергії. Енергія бета-частинок при проходженні через речовину (середовище) витрачається на його іонізацію і на розсіювання бета-частинок. Бета-випромінювання роблять менший іонізаційний вплив на речовини чим  $\alpha$  - частки, але мають більшу довжину пробігу в ньому.

До теперішнього часу відомо 20 природних бета радіоактивних ізотопів і більше 870 бета радіоактивних ізотопів, отриманих штучним шляхом.

**Гама-випромінювання** відносяться до електромагнітним випромінюванням, які представляють сукупність зв'язаних електричних і магнітних полів, які поширюються в просторі у

формі хвиль (швидкість поширення їх у вакуумі становить  $2,998 \cdot 10^8$  м/с).

Електромагнітна хвиля характеризується скалярними величинами – частотою коливань  $f$  і довжиною хвилі  $\lambda$ , які зв'язані співвідношенням:

$$\lambda = \frac{0,693}{f}. \quad (1.7)$$

Електромагнітні випромінювання описуються також як потік квазічастинок - фотонів, енергія яких пропорційна частоті коливань  $f$ :

$$E = h \times f, \quad (1.8)$$

де  $h$  – постійна Планка, дорівнює  $6,626 \cdot 10^{-34}$  Дж  $\times$  с.

Квантові властивості електромагнітних випромінювань проявляються тим виразніше, чим менше довжина хвилі. Фотони, які є квантами електромагнітного поля, у випадку взаємодії з речовинами розглядаються як корпускулярні випромінювання.

До іонізуючих електромагнітних випромінювань відносяться ультрафіолетові промені ( $\lambda = 400 \dots 50$  нм), рентгенівські промені ( $\lambda = 50 \dots 0 \dots 0,1$  нм), гама-випромінювання ( $\lambda < 0,1$  нм) та ін.

**Гама-випромінювання** – короткохвильове електромагнітне випромінювання з довжиною хвилі  $\lambda < 0,1$  нм, які виникають: при розпаді радіоактивних ядер, супроводжуваних корпускулярними іонізуючими випромінюваннями ( $\alpha$ -,  $\beta$ - випромінюваннями); при переході ядер зі збудженого стану в основний; при взаємодії швидких заряджених часток з речовиною, аннігіляції електронно-позитронних пар.

При гама-випромінюванні не змінюються ні порядковий номер  $Z$ , ні атомна маса ( $Z+N$ ) радіонукліда.

Знання видів іонізуючих випромінювань, певне сполучення яких характерно для кожного радіонукліда, дозволяє оцінити їхню

небезпеку зовнішнього і внутрішнього опромінення організму людини.

**Зовнішнє опромінення** викликається радіонуклідами, що перебувають поза організмом, але іонізуючі випромінювання яких проходять через шкірне покриття (щільність  $\rho_{\text{ши}} = 1 \text{ г/см}^3$ , товщина  $d_{\text{ши}} \cong 70 \text{ мкм}$ ) і викликають враження внутрішніх органів і тканин організму людини. Небезпеку зовнішнього опромінення представляють радіонукліди, що іонізують випромінюваннями в яких є електромагнітні гама-випромінювання та корпускулярні бета-випромінювання.

**Внутрішнє опромінення** обумовлене надходженням радіонуклідів в організм разом з повітрям, водою, їжею. Більшу небезпеку внутрішнього опромінення представляють радіонукліди, розпад яких супроводжується корпускулярними альфа- і бета-іонізуючими випромінюваннями.

## **1.2. Види взаємодії іонізуючих випромінювань із речовиною та характеристика дози опромінення**

Взаємодія іонізуючих випромінювань радіонуклідів з речовиною об'єкта, що опромінює, викликає фізико-хімічні і біологічні зміни в них. Ступінь прояву радіаційного ефекту залежить як від фізичних величин, що характеризують вид іонізуючого випромінювання, так і параметрів речовини, що опромінює.

Іонізуючі випромінювання, якими супроводжуються розпад радіонуклідів, включають корпускулярні альфа-, бета-випромінювання і електромагнітне гама-випромінювання. Взаємодія іонізуючих випромінювань із речовиною (середовищем), що викликає іонізацію і порушення їхніх атомів, може бути безпосереднім ( $\alpha$ -,  $\beta$ - випромінювання) і непрямим ( $\gamma$ -випромінювання).

Формування дози випромінювання в результаті взаємодії іонізуючих випромінювань із речовиною представлено на мал. 1.2.

Енергія іонізуючих випромінювань, яка передана речовині, включає різницю між сумарною енергією всіх заряджених і незаряджених часток, що виходять із даного об'єму, плюс зміни енергії, пов'язані з масою спокою часток при ядерних перетвореннях, що відбуваються в об'ємі.

Для корпускулярних видів іонізуючих випромінювань ( $\alpha$ -,  $\beta$ -часток) характерна безпосередня взаємодія з речовиною. Так енергія  $\alpha$ -часток витрачається на порушення й іонізацію атомів речовини, що відбуваються в результаті непружних зіткнень часток з електронами.

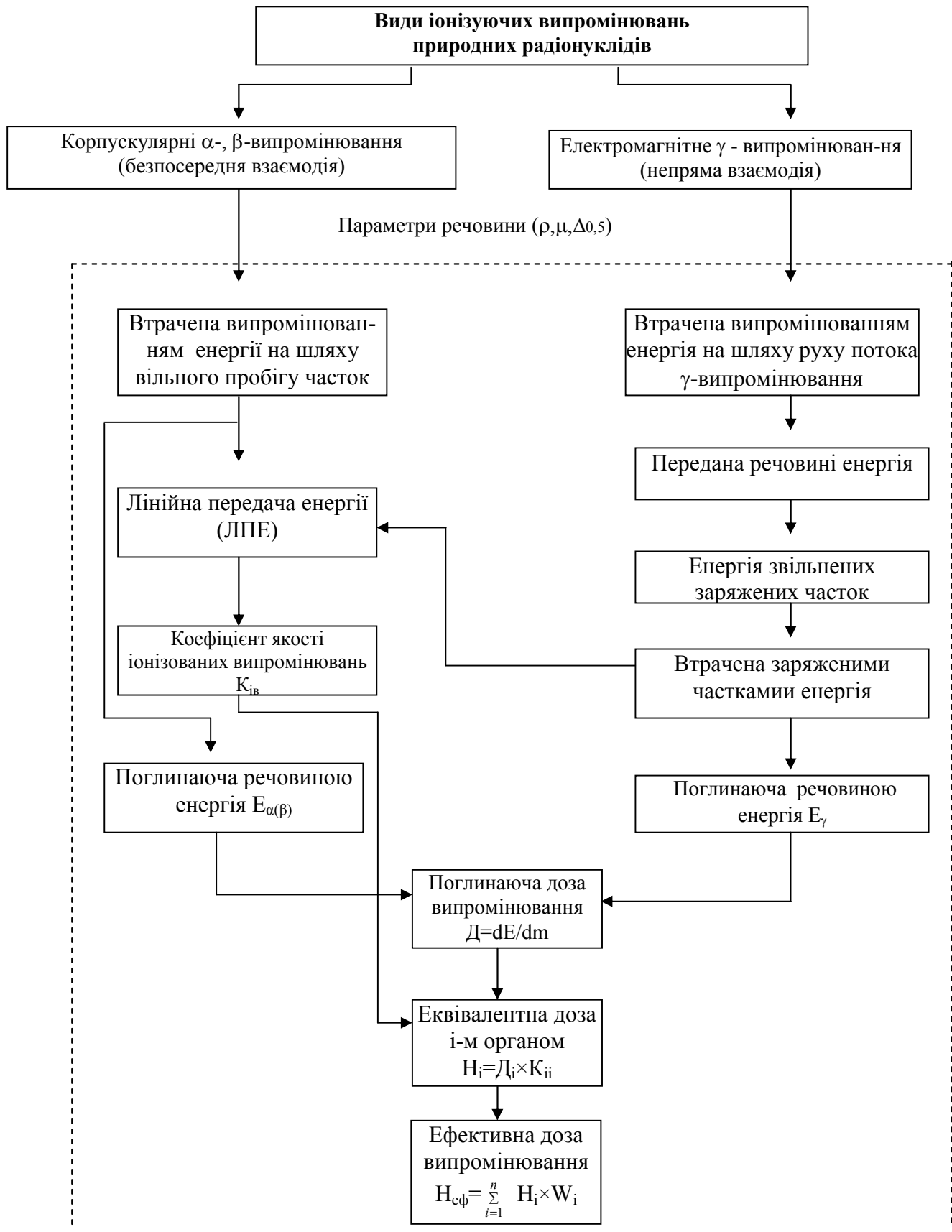
Лінійна передача енергії (ЛПЕ)  $L$  – відношення енергії  $dE$ , передана речовині зарядженою часткою, що рухається, внаслідок зіткнень її на відстань  $dl$ , до цієї відстані:

$$L = \frac{dE}{dl}. \quad (1.9)$$

ЛПЕ  $\alpha$ -часток пропорційна числу електронів, що перебувають в  $1 \text{ см}^3$  речовини, логарифму швидкості частки в речовині і обернено пропорційна квадрату швидкості часток. Для  $\alpha$ -часток характерні високі показники ЛПЕ ( $>175 \text{ кеВхмкм}^{-1}$ ).

Коефіцієнт якості іонізуючих випромінювань  $K_{\text{іон}}$  – безрозмірний коефіцієнт для обліку біологічної ефективності впливу різних видів іонізуючих випромінювань при визначенні еквівалентної дози. Він є лінійною функцією ЛПЕ (табл. 1.2).

Коефіцієнт якості  $\alpha$ -часток у порівнянні з іншими видами іонізуючих випромінювань найбільший (20).



Мал. 1.2. Формування дози випромінювання в процесі взаємодії іонізуючих випромінювань із речовиною (середовищем)

**Коефіцієнти якості різних видів іонізуючих  
випромінювань  $K_{ie}$  при хронічному опроміненні всього тіла**

Вид випромінювання	$K_{ie}$
Рентгенівське і $\gamma$ - випромінювання	1
Електронні і ізотропні $\beta$ - випромінювання	1
Альфа-випромінювання з енергією $\leq 10$ MeV	20
Нейтрони з енергією $< 10$ keV	5
Нейтрони з енергією від 10 до 100 keV	5
Нейтрони з енергією від 100 keV до 2 MeV	20
Протони з енергією $> 2$ MeV	5

Для проходження  $\beta$  - часток через речовину характерна пружна і непружна їх взаємодія з атомами поглинаючого середовища. При пружній взаємодії сума енергій часток залишається незмінною, а при непружній взаємодії частина енергії часток передається вільним часткам, що утворилися (іонізація, порушення атомів, гальмове опромінення).

Лінійна передача енергії  $\beta$  - часток при взаємодії з речовиною пропорційна щільності числу атомів в  $1 \text{ см}^3$  речовини, порядковому номеру речовини і лінійної функції енергії випромінювання. Питома щільність іонізації, створювана  $\beta$  - випромінюванням, приблизно в 1000 разів менше, ніж для  $\alpha$  - часток. Коефіцієнт якості корпускулярного  $\beta$ -випромінювання дорівнює 1.

Взаємодія електромагнітного  $\gamma$  - випромінювання з речовиною носить непрямий характер, тому що воно виникає при  $\alpha$ - і  $\beta$ -випромінюваннях розпаду ядер у процесі переходу їх зі збудженого стану в основне. Цим розуміється, що електромагнітне  $\gamma$ -випромінювання не змінює ні номер радіонукліда, ні його атомної маси.

При проходженні  $\gamma$  - випромінювання через речовину відбувається зменшення інтенсивності його потоку, обумовлене величиною коефіцієнта ослаблення  $\mu$ ,  $\text{см}^{-1}$ , або шаром половинного ослаблення матеріалу речовини  $\Delta_{0,5}$ , см.

Передана речовині енергія  $\gamma$ -випромінювання перетворюється в енергію вторинних заряджених часток (електронів, позитронів), а частина в енергію вторинного фотонного випромінювання. Залежно від величини переданої енергії  $\gamma$  - випромінювання спостерігають наступні процеси їхньої взаємодії з речовиною у вигляді енергій звільнених заряджених часток:

- фотоефект ( $E_\gamma$ : 1-500 кеВ), при якому  $\gamma$  - випромінювання передає всю свою енергію зв'язаному електрону, частина якої витрачається на подолання зв'язку з атомом, а інша перетворюється в кінетичну енергію електрона;
- ефект Комптона ( $E_\gamma$ : 0,5-1 МеВ) спостерігається при енергіях, що значно перевищують енергію зв'язку електронів речовини, фотони розсіюються;
- утворення пар ( $E_\gamma > 1$  МеВ), при якому народжується пара електрон – позитрон, повна кінетична енергія якої дорівнює енергії  $\gamma$ -випромінювання, зменшеної на енергію спокою двох часток, що з'явилися.

Лінійна передача енергії  $\gamma$  - випромінювання незначна (на рівні  $\leq 3,5$  кеВ/мкм).

Коефіцієнт якості  $\gamma$  - випромінювання  $K_{ie}$  з обліком спостережуваних стохастичних безпорогових ефектів при малому рівні поглиненої дози дорівнює 1.

Для кожного радіонукліда характерно своє сполучення видів іонізуючих випромінювань і значень їхніх енергій при розпаді ядра. Ступінь радіаційної небезпеки впливу кожного радіонукліда на організм людини визначається на основі знання параметрів іонізуючих випромінювань, характеризуючи взаємодію його іонізуючих випромінювань із речовиною:

**довжини вільного пробігу  $l_{npj}$**  – шлях, який проходить  $j$ -и вид іонізуючого випромінювання в середовищі (речовині) до повної витрати енергії випромінювання, затрачуваної на іонізацію їхніх молекул;

**коефіцієнта іонізації  $K_{ionj}$**  – число пар іонів, що утворюються в речовині під впливом  $j$ -го виду іонізуючого випромінювання на шляху вільного пробігу.

Величини параметрів ( $l_{np}$ ,  $K_{ion}$ ) іонізуючих випромінювань радіонуклідів, які характеризують їх проникаючу і іонізаційну

## РОЗДІЛ 1

---

здатність взаємодії з повітрям або речовиною (повітря,  $i$ -біотканина), визначаються співвідношеннями:

$$l_{\text{пр}\alpha}^{\text{пов}}, \text{ см} = 0,31 \times \sqrt{E_{\alpha}^3 (\text{MeV})}, \quad (1.10)$$

$$l_{\text{пр}\alpha}^i, \text{ см} = \frac{10^{-4} \times \sqrt{(Z + N)_{\text{рН}} \times E_2^3 (\text{MeV})}}{\rho_i}, \quad (1.11)$$

де  $(Z+N)_p$  – атомна маса радіонукліда,

$\rho_i$  – щільність  $i$ -їо речовини,  $\text{м} \cdot \text{см}^{-3}$ ;

$$l_{\text{пр}\beta}^{\text{нов}}, \text{ см} = 400 \times E_{\beta} (\text{MeV}), \quad (1.12)$$

$$l_{\text{пр}\beta}^i, \text{ см} = l_{\text{пр}\beta}^{\text{нов}} \times \frac{\rho_{\text{нов}}}{\rho_i}. \quad (1.13)$$

Довжина вільного пробігу стосовно до електромагнітного гама-випромінювання оцінюється по величині ослаблення щільності потоку при проходженні через шар  $x$  речовиною,  $\text{см}^{-1}$ :

$$\Phi_{(x)} = \Phi_0 \times \exp(-\mu \times x) = \Phi_0 \times \exp(-0,693 \times x/\Delta 0,5), \quad (1.14)$$

де  $\Phi_0$  – щільність потоку на поверхні середовища (речовини) з боку входу  $\gamma$  - випромінювання ( $x=0$ ), що характеризує відношення потоку фотонів  $dF$ , що проникають в об'єм сфери, до площі центрального перетину  $dS$  цієї сфери  $\Phi = dF/dS$ ;

$\Phi_{(x)}$  – щільність потоку на глибині  $x$ , см, речовини;

$\mu$  – лінійний коефіцієнт ослаблення щільності потоку  $\gamma$  - випромінювання речовиною – відношення частки  $dN/N$  побічно



іонізуючих часток, що випробовують взаємодію при проходженні шляху  $dl$  у речовині, до довжини цього шляху:

$$\mu = \frac{1}{N} \times \left( \frac{dN}{dl} \right), \text{ см}^{-1}; \quad (1.15)$$

$\Delta_{0,5}$  - шар половинного ослаблення  $\gamma$ -випромінювання речовини - товщина шару речовини, що послабляє потік гама-випромінювання у два рази:

$$\Delta_{0,5} = \frac{0,693}{\mu}, \text{ см.} \quad (1.16)$$

Величина лінійного коефіцієнта ослаблення  $\mu$  і шару половинного ослаблення  $\Delta_{0,5}$  залежить від енергії гама-випромінювання і сполуки речовини середовища, що послабляє  $\mu = f(E_\gamma, \rho_{cp})$ .

Результат взаємодії електромагнітного гама-випромінювання з речовиною оцінюється величиною керма  $K$  – відношення суми початкових кінетичних енергій  $dE_K$  всіх заряджених часток, утворених побічно іонізуючим випромінюванням і в елементарному об'ємі, до маси  $dm$  речовини в цьому об'ємі:

$$K = \frac{dE_K}{dm}. \quad (1.17)$$

Установлено, що природа електромагнітного  $\gamma$ -випромінювання забезпечує довжину вільного пробігу значно більшу чим корпускулярних  $\alpha$ - і  $\beta$ -випромінювань:

$$l_{п\gamma}^{нов(i)} \gg l_{п\alpha(\beta)}^{нов}. \quad (1.18)$$

Коефіцієнт іонізації  $K_{\text{іон}}$  визначається для кожного з видів іонізуючих випромінювань, якими супроводжується розпад даного радіонукліда, по формулі:

$$K_{\text{іон}j}, \text{ пар іонів} = \frac{E_j (eB)}{E_{y\partial} \left( \frac{eB}{\text{пар іонів}} \right)}, \quad (1.19)$$

де  $E_{y\partial}$  – питома енергія випромінювання, затрачувана на утворення однієї пари іонів ( $E_{y\partial} = 33,85$  eB).

Середні значення параметрів іонізуючих випромінювань радіонукліда при взаємодії з речовиною наведені в табл. 1.3.

Таблиця 1.3

**Величини параметрів основних видів іонізуючих  
випромінювань природних радіонуклідів**

Іонізуюче випромінювання	Енергія випромінювання, МеВ	Довжина вільного пробігу в повітрі (біотканина)	Іонізаційна здатність $K_{\text{іон}}$ , число пар іонів
Альфа ( $\alpha$ )	3-9	1-5 см (20-60 мкм)	$(1-2) \cdot 10^5$
Бета ( $\beta$ )	0,5-3,5	300 см (5 мм)	$(1-3) \cdot 10^3$
Гама ( $\gamma$ )	0,1-1,5	100 м (100 м)	$(2-6) \cdot 10^2$

Аналіз величин параметрів взаємодії основних видів іонізуючих випромінювань при розпаді природних радіонуклідів з речовиною показує, що найбільша іонізаційна здатність характерна для альфа-випромінювань, що мають найбільшу масу, заряд і енергію випромінювання, але вони мають малу проникаючу здатність.

Корпускулярні бета-випромінювання з урахуванням їх заряду, маси і енергії випромінювання характеризуються меншою іонізаційною здатністю, але більшою довжиною вільного пробігу в порівнянні з  $\alpha$ -випромінюваннями.

Для електромагнітного гама-випромінювання характерна більша проникаюча здатність при впливі на середовище (речовина) у порівнянні з корпускулярними видами випромінювань.

Завданням радіометрії є визначення фізичних величин, що характеризують іонізуючі випромінювання джерел, а дозиметрії - оцінка радіобіологічного ефекту, обумовленого їх взаємодією з речовиною.

Радіонукліди в будь-якій речовині перебувають у суміші з іншими хімічними елементами, причому в дуже малих концентраціях. Це утрудняє безпосередній вимір радіоактивної речовини по його масі. Крім того, різні ізотопи того самого радіонукліда (при одній і тій самій масі) мають різну радіоактивність, тому що розпад їх відбувається з різною швидкістю, тому радіоактивну речовину прийнято оцінювати по величині активності.

Активність  $A$  – фізична величина, що характеризує число мимовільних розпадів  $dN$  у даній кількості  $N_0$  атомів радіонукліда в одиницю часу  $dt$ :

$$A = \frac{dN}{dt} = \lambda \times N_0 = \frac{0,693 \times N_0}{T_{1/2}}. \quad (1.20)$$

Як одиниця активності в міжнародній системі вимірів (СВ) прийнятий один розпад у секунду,  $\frac{\text{розп}}{\text{с}}$ . Ця одиниця одержала назву бекерель (Бк):  $1 \text{ Бк} = 1 \frac{\text{розп}}{\text{с}}$ . Внесистемною одиницею активності прийнята кюрі (Ки):  $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$ .

Величина активності, що доводиться на одиницю маси речовини, об'єму або площі називається, відповідно: питома активність  $A_{ud}, \frac{\text{Бк(Ки)}}{\text{кг}}$ ; об'ємна питома активність  $A_v, \frac{\text{Бк(Ки)}}{\text{м}^3}$ ; поверхнева питома активність  $A_s, \frac{\text{Бк(Ки)}}{\text{м}^2 (\text{км}^2)}$ .

Активність радіоактивної речовини безпосередньо не характеризує вплив іонізуючого випромінювання на організм людини. При одній і тій самій активності вплив іонізуючого випромінювання

залежить від виду і енергії випромінювання, фізичних властивостей середовища (речовини), що опромінює.

Вражаючий вплив іонізуючих випромінювань на опромінений об'єкт оцінюється дозою опромінення. Дозою опромінення називається енергія випромінювання, поглинена в одиниці об'єму або маси речовини за увесь час впливу іонізуючих випромінювань джерела. Доза опромінення є мірою вражаючої дії радіоактивних випромінювань на організм людини, тварини або рослини. Однак та сама доза накопичується за різний час. Ніж швидше отримана доза, тим більше її вражаюча дія, і навпаки. Тому вражаючий вплив іонізуючих випромінювань оцінюється, поряд з дозою, ще й величиною потужності дози. Потужність дози - це доза, створювана за одиницю часу (характеризує швидкість нагромадження дози).

Поглинена енергія всіх видів іонізуючих випромінювань, що супроводжують розпад даного радіонукліда в речовині, дозволяє визначити кількісний показник радіаційної небезпеки впливу радіонукліда.

Поглинена доза опромінення  $D$  – це кількість енергії різних видів іонізуючих випромінювань  $dE$ , поглинене одиницею маси речовини, що опромінює:

$$D = \frac{dE}{dm}. \quad (1.21)$$

За одиницю поглиненої дози прийнятий грей (Гр)  $1\text{Гр} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$  – це доза випромінювання, при якій речовині, що опромінює, масою в один кілограм передається енергія іонізуючого випромінювання в один джоуль. Внесистемною одиницею поглиненої дози випромінювання є рад - енергія випромінювання в 100 ерг, що поглинає опромінена речовина, масою 1 грам.

З біологічної точки зору дія різних видів випромінювання не однаково. Щоб урахувати біологічний ефект поразки різними видами іонізуючих випромінювань при опроміненні рівними поглиненими дозами вводиться коефіцієнт їхньої якості  $K_{ie}$ , що для  $\beta$ - і  $\gamma$  - випромінювання дорівнює 1, а для  $\alpha$  - випромінювання дорівнює 20.

Еквівалентна доза  $i$ -го організму (тканини)  $H_{екв}$  яка характеризує біологічний ефект – це добуток поглиненої дози на коефіцієнт якості даного виду іонізуючого випромінювання  $K_{iB}$ :

$$H_{екв} = D_i \times K_{iB} \quad (1.22)$$

Всі національні і міжнародні норми встановлені саме в еквівалентній дозі, одиницями вимірів якої служать зіверт (Зв) і біологічний еквівалент рада (бер).

Варто також ураховувати, що різні органи, тканини людини мають різну чутливість до впливу іонізуючих випромінювань. Чутливість  $i$ -го органа до впливу іонізуючих випромінювань оцінюється величиною зваженого коефіцієнта  $W_i$ . Коефіцієнт  $W_i$  характеризує відношення ризику стохастичного ефекту опромінення даного  $i$ -го органа (тканини) до сумарного ризику стохастичного ефекту при рівномірному опроміненні всього тіла.

Значення зважених коефіцієнтів окремих органів (тканин) людини наведені в табл. 1.4.

Таблиця 1.4

### Значення зважених коефіцієнтів $W_i$

Орган (тканина)	$W_i$
Гонади	0,2
Червоний кістковий мозок	0,12
Товста кишка	0,12
Легені	0,12
Шлунок	0,12
Сечовий міхур	0,05
Молочна залоза	0,05
Печінка, стравохід	0,05
Щитовидна залоза	0,05
Кісткові поверхні	0,01
Шкіра	0,01
Інші органи і тканини	0,05

## РОЗДІЛ 1

Множення еквівалентної дози  $i$ -го органа  $H_{еквi}$  на його зважений коефіцієнт  $W_i$  і підсумовування їх по всіх органах і тканинам організму характеризує ефективну дозу опромінення  $H_{еф}$ , вимірювану у Зв або бер:

$$H_{еф} = \sum_{i=1}^n W_i \times H_i \quad (1.23)$$

Міжнародна комісія з радіологічного захисту (МКРЗ) вважає, що використання ефективної дози припустимо при значеннях еквівалентних доз, величини яких перебувають нижче значень, що визначають поріг виникнення детермінованих ефектів.

Розглянуті одиниці виміру джерел іонізуючих випромінювань і їхнього впливу на організм людини являють собою логічну послідовну систему та дозволяють розраховувати погоджені друг з другом наведені величини. У табл. 1.5 наведені співвідношення між одиницями виміру міжнародної системи виміру СВ і внесистемної.

Таблиця 1.5

### Радіометричні і дозиметричні величини та одиниці їхнього виміру

Величина і її символ	Одиниці				Зв'язок між одиницями
	СВ		внесистемні		
	Найменування	Позначення	Найменування	Позначення	
1	2	3	4	5	6
<b>Радіометричні</b>					
Енергія випромінювання $E$	джоуль	Дж	ерг, електрон-вольт	ерг, еВ	$1 \text{ ерг} = 1 \cdot 10^{-7} \text{ Дж}$ $1 \text{ еВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ $1 \text{ Дж} = 6,25 \cdot 10^{13}$ $1 \text{ еВ} = 1 \cdot 10^7 \text{ ерг}$
Щільність потоку часток	$\frac{1}{\text{с} \times \text{м}^2}$				
Щільність потоку енергії $\gamma$ -випромінювання	$\frac{\text{Вт}}{\text{с} \times \text{м}^2}$				

Продовження таблиці 1.5

Активність, $A = \frac{dN}{dt}$	бекерель	Бк	кюрі	Ки	1 Бк=1 розп/с 1 Ки=3,7·10 <sup>10</sup> Бк 1 Бк=2,7·10 <sup>-11</sup> Ки
Питома активність $A_{\text{уд}} = \frac{dA}{dm}$	бекерель на кілограм	$\frac{\text{Бк}}{\text{кг}}$	кюрі на кілограм	Ки/кг	1 Ки/кг=3,7·10 <sup>10</sup> Бк/кг
Об'ємна активність $A_v = \frac{dA}{dv}$	бекерель на кубічний метр	Бк/м <sup>3</sup>	кюрі на кубічний метр	Ки/м <sup>3</sup>	1 Ки/м <sup>3</sup> =3,7·10 <sup>10</sup> Бк/м <sup>3</sup>
Поверхнева активність $A_s = \frac{dA}{ds}$	бекерель на квадратний метр	Бк/м <sup>2</sup>	кюрі на квадратний метр	Ки/м <sup>2</sup>	1 Ки/м <sup>2</sup> =3,7·10 <sup>10</sup> Бк/м <sup>2</sup>
<b>Дозиметричні</b>					
Поглинена доза $D = \frac{dE}{dm}$	грей	Гр	рад	рад	1 Гр=1 $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}} = 1 \cdot 10^2$ рад
Потужність поглиненої дози ППД= $\frac{dD}{dt}$	грей у годину	Гр/год	рад у годину	рад/г	1 рад/г=1·10 <sup>-2</sup> Дж/кг × годин=1·10 <sup>-2</sup> Гр/г 1 Гр/год=1 Дж/кг × годин= =10 <sup>2</sup> рад/год
Еквівалентна доза в органі та тканині $H_T = D_i \times K_{ie}$	зіверт	Зв	біологічний еквівалент рада (бер)	бер	1 Зв=1 Гр·Q=1 Дж/кг·Q= =100 бер
Потужність еквівалентної дози $\dot{H}_T = \frac{dH_T}{dt}$	зіверт у годину	Зв/год	біологічний еквівалент рада (бер) у годину	бер/год	1 Зв /ч= 100 бер/год
Ефективна доза $\dot{H}_{\text{еф}} = \sum_{i=1}^n H_i \times W_i$	зіверт	Зв	біологічний еквівалент рада (бер)	бер	1 Зв= 100 бер
Потужність ефективної дози $\dot{H}_{\text{еф}} = \frac{dH_{\text{еф}}}{dt}$	зіверт у годину	Зв/год	біологічний еквівалент рада (бер) у годину	бер/год	1 Зв/год = 100 бер/год

табл. 1.6 наведені множники і приставки для утворення кратних і дольних одиниць та їхні найменування.

*Таблиця 1.6*

**Приставки для утворення кратних  
і дольних одиниць виміру**

Приставка	Чисельне значення	Позначення	Приставка	Чисельне значення	Позначення
Екса	$10^{18}$	Е	Деці	$10^{-1}$	д
Пета	$10^{15}$	П	Санті	$10^{-2}$	с
Тера	$10^{12}$	Т	Мілі	$10^{-3}$	м
Гіга	$10^9$	Г	Мікро	$10^{-6}$	мк
Мега	$10^6$	М	Нано	$10^{-9}$	н
Кіло	$10^3$	К	Піко	$10^{-12}$	п
Гекто	$10^2$	г	Фемто	$10^{-15}$	ф
Дека	$10^1$	де	Атто	$10^{-18}$	а

**1.3. Біолого - медичні наслідки впливу**

**іонізуючих випромінювань джерел на організм людини**

У результаті опромінення - впливу іонізуючих випромінювань на об'єкт (організм людини, тварини, рослини і т.д.) поглинається енергія іонізуючих випромінювань, що затрачується на порушення і іонізацію атомів речовини, що опромінює.

При цьому опромінення об'єкта може бути зовнішнім і внутрішнім.

Зовнішнє опромінення людини обумовлене впливом іонізуючих випромінювань радіонуклідів, які, перебуваючи поза організмом, проходять через шкірний покрив і вражають внутрішні органи і тканини.

Внутрішнє опромінення людини викликається влученням радіонуклідів в організмі разом з повітрям, водою, їжею.



Біологічний вплив кожного виду іонізуючого випромінювання приводить до зміни первинних фізико-хімічних процесів у молекулах живих кліток об'єкта і як результат - викликає порушення їхнього функціонування.

Радіаційна небезпека радіонукліда - радіаційні і гігієнічні характеристики, що визначають його небезпеку для організму людини. Основна поразка людини іонізуючими випромінюваннями радіонуклідів викликається появою вільних радикалів - це аномальні молекули, що має непарний електрон, який робить їх у край нестабільними.

Основну частину маси тіла людини становить вода (>75 %). Тому процеси поглинання енергій іонізуючих випромінювань водою кліток веде до утворення високоактивних хімічних радикалів (типу OH і H), що приводять до окислювання молекул білка. Надалі під дією первинних процесів відбувається порушення біохімічних процесів в організмі і окремих його тканинах, що веде до зміни біострумів мозку, поразці кліток кісткового мозку, зміні сполуки крові й т.д.

Починається ланцюгова реакція руйнування клітинних мембран, що веде до порушення всіх біологічних процесів, створюються клітки мутанти (клітки зі зміненими спадкоємними ознаками). Вільні радикали здатні задавати оборотні та незворотні руйнування речовини всіх біологічних класів. На базі цього виникають і з'являються онкологічні захворювання, порушення нейроендокринної регуляції та інші захворювання, що ведуть до передчасного старіння і смерті.

Необхідно відзначити, що чутливість організму в цілому і окремих органах людини до впливу іонізуючих випромінювань різна. Найбільш чутливими є клітини, які постійно оновлюють тканини деяких органів (кістковий мозок, полові залози й ін.). Чутливість також залежить від стану організму і віку людини. Так, доза, найшкідливіша для матері, може викликати серйозні порушення в розвитку плода.

Біологічний вплив на організм, багато в чому, залежить від виду іонізуючого опромінення радіонукліда, який характеризує довжину вільного пробігу та іонізуючу здатність. Так, альфа-частки, що володіють великою іонізуючою здатністю, але малою довжиною вільного пробігу, найнебезпечніші при внутрішнім

опроміненні, а їхнім зовнішнім опроміненням при впливі можна зневажити, тому що вони затримуються шкірним покриттям людини і не досягають чутливих до опромінення кліток організму.

Бета-частки, що проникають у біотканину не перевищує 1 см, небезпечні як при внутрішньому, так і при зовнішнім опроміненні.

Більша довжина вільного пробігу і мала іонізаційна здатність гама-випромінювань у порівнянні з альфа- і бета - випромінюваннями визначає їхній домінуючий вплив при зовнішнім опроміненні організму людини. Глибоко проникаючи в тканину, гама-промені досягають кровоутворюючі і інші внутрішні органи та руйнують їх.

Внутрішнє опромінення на відміну від зовнішнього опромінення несе більшу небезпеку для організму в силу наступних особливостей:

- росте небезпека впливу високо іонізуючих альфа- і бета-випромінювань;
- радіонуклідам внутрішнього опромінення характерна підвищена радіоактивність;
- іонізуючі джерела внутрішнього опромінення надходять, в основному, інгаляційним шляхом, для якого характерна найбільша продуктивність;
- більша тривалість їхнього впливу (до моменту виведення радіонукліда з організму або зменшення його активності внаслідок радіонуклідного розпаду);
- деякі радіонукліди вибірково накопичуються в окремих органах організму й ін.

Небезпека радіонуклідів, що потрапили тим або іншим шляхом в організм людини тим більше, чим вище їхня активність. Ступінь небезпеки радіонукліда залежить від швидкості виведення його з організму. Якщо радіоактивні ізотопи, що потрапили усередину організму, однотипні з елементами, які споживаються людиною з їжею (натрій, хлор, кадмій й ін.), то вони не затримуються на тривалий час в організмі. Інертні радіоактивні гази (аргон, криптон, ксенон й ін.), що потрапили через легені в кров, не є сполуками, що входять у її состав, тому вони згодом повністю видаляються з організму. Деякі радіоактивні речовини, потрапляючи в організм, розподіляються в ньому більш-менш

рівномірно, інші концентруються в окремих внутрішніх органах. Так, наприклад, у кісткових тканинах відкладаються джерела: альфа - випромінювання - радій, уран, плутоній; бета - випромінювання - стронцій і ітрій; гама-випромінювання - цирконій. Елементи, хімічно пов'язані з кістковою тканиною, дуже важко виводяться з організму. Тривалий час утримуються в організмі також елементи з більшим атомним номером (полоній, уран й ін.).

Ефективний період напіввиведення радіонукліда з організму  $T_{ef}$  визначається по формулі:

$$T_{ef} = \frac{T_b \times T_{1/2}}{T_b + T_{1/2}}, \quad (1.24)$$

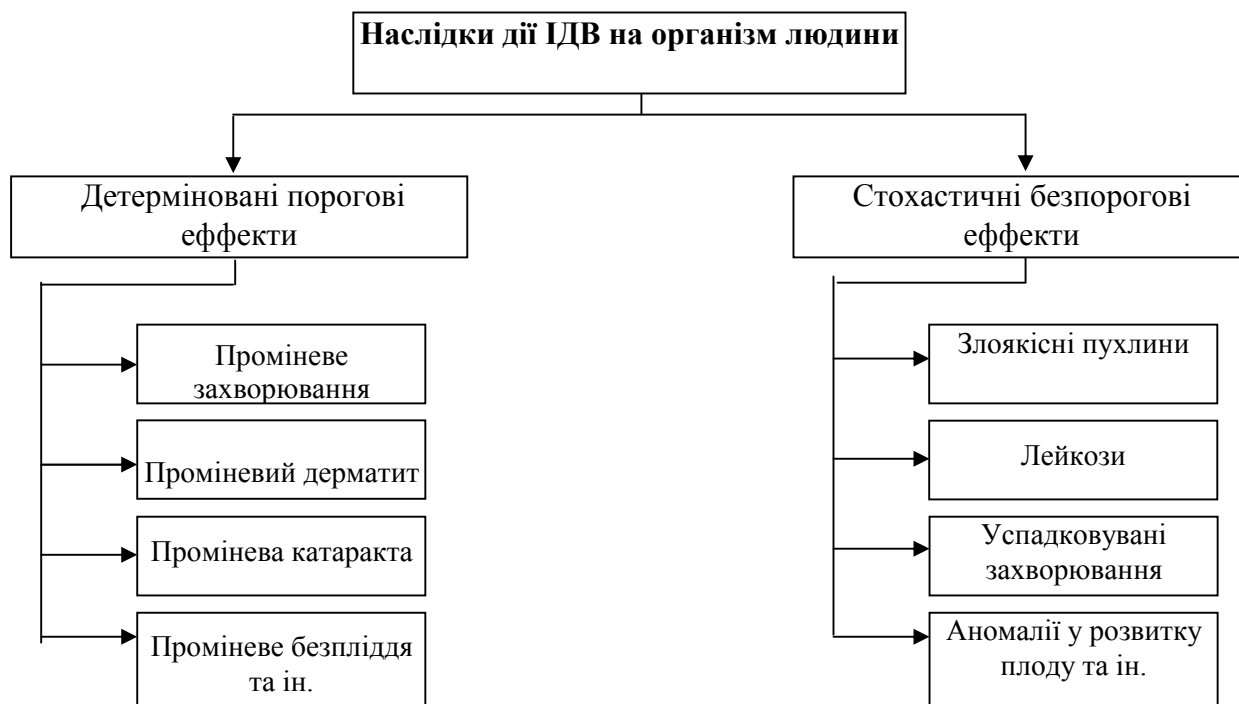
де:  $T_b$  – біологічний період напіввиведення радіонукліда з організму;

$T_{1/2}$  – період напіврозпаду радіонукліда.

Ступінь небезпеки внутрішнього опромінення визначається шляхами і тривалістю надходження радіонуклідів в організм, величиною періоду напіврозпаду та напіввиведення з організму, кількістю що надійшли і осіли в організмі радіоактивних аерозолів і газів, фізико-хімічними властивостями, видами їхніх іонізуючих випромінювань при розпаді.

Основною причиною багатьох захворювань людини є непередбачений серйозний вплив малих доз опромінення протягом тривалого часу. За останні 60 років природний радіаційний фон збільшився в кілька разів. Це обумовило створення людиною в процесі різних видів діяльності, спрямованих на забезпечення умов життєдіяльності, техногенно-підвищеного природного радіаційного фону.

Всі наслідки, які спостерігаються та розвиваються при опроміненні організму людини іонізуючими випромінюваннями радіонуклідів, підрозділяються на детерміновані граничні і стохастичні безпорогові ефекти (мал.1.3).



**Мал. 1.3. Класифікація наслідків впливу іонізуючих випромінювань радіонуклідів на організм людини**

Детерміновані граничні ефекти спостерігаються у випадку одномиттєвого опромінення людини значною дозою або розподілом її на короткий строк, коли величина дози перевищує межу дози ( $>1\text{мЗв/рік}$ ), і вага наслідків яких залежить від величини отриманої дози.

Межа дози (МД) – межа еквівалентної дози для населення за календарний рік, одержувана не за рахунок професійної діяльності, медичного обслуговування або природного фону.

Пороги детермінованих ефектів, мінімальна доза, що викликають біологічний ефект для ряду основних видів захворювань, наведені в табл. 1.7.

Таблиця 1.7

## Пороги детермінованих соматичних ефектів (МКРЗ)

Орган (тканина) і ефекти	Поріг		
	Сумарна еквівалентна доза, отримана при однократному опроміненні, Зв	Сумарна еквівалентна доза, отримана при високих рівнях або хронічному опроміненні, Зв	Середньорічна потужність дози, при високих рівнях або хроніч. опроміненні на продовженні ряду років, Зв/рік
Чоловічі полові залози (яєчка)			
Тимчасова безплідність	0,15	не встановлена	0,4
Постійна безплідність	3,5-6,0	не встановлена	2,0
Жіночі полові залози (яєчники)			
Безплідність	2,5-6,0	6,0	>0,2
Кришталік ока			
Помутніння, що діагностується	0,5-2,0	5	>0,1
Катаракта	5	>8	>0,15
Червоний кістковий мозок			
Порушення кровотворної функції	0,5	не встановлена	>0,4

З розгляду табл. 1.7 видно, що детерміновані граничні ефекти проявляються при досить більших дозах опромінення (у випадках аварій, катастроф) у порівнянні з дозою, створюваної природним або техногенно-підвищеним радіаційним фоном. Час прояву ефекту

залежить також від величини дози - при більших значеннях він настає раніше.

Стохастичні безпорогові ефекти, імовірність виникнення яких існує при будь-яких малих величинах доз іонізуючого випромінювання зростає зі збільшенням дози. Ступінь важкості виявленого опромінення від величини дози не залежить з обліком прийнятої безпороговості і лінійної залежності між дозою, отриманою індивідумом, і біологічним ефектом, викликаним опроміненням.

До стохастичних безпорогових ефектів (мал. 1.3) відносяться злякисні новотвори (соматичні стохастичні ефекти), яким властиві тривалі сховані періоди до прояву, і генетичні зміни, які передаються наступним поколінням (спадкоємні ефекти).

Оскільки соматико-стохастичні і генетичні ефекти мають імовірнісний характер, тривалий латентний (схований) період, вимірюваний десятками років після опромінення, їх важко виявити.

Для оцінки ймовірності виникнення безпорогових стохастичних ефектів використовується коефіцієнт ризику  $r$ ,  $\text{Зв}^{-1}$ , установлений і що уточнює МКРЗ за результатами обробки отриманих статистичних даних, характерних для даної групи захворювань.

Коефіцієнт ризику на одиницю індивідуальної або колективної дози  $r$  [МКРЗ, публ. 60, 1990] приймається рівним:

$$r, \text{Зв}^{-1} = \begin{cases} 5,6 \cdot 10^{-2} & \text{для професійного опромінення,} \\ 7,3 \cdot 10^{-2} & \text{для населення.} \end{cases}$$

### **1.4. Характеристика основних груп джерел іонізуючих випромінювань та їхній внесок у сумарну ефективну дозу опромінення людини**

Радіаційну небезпеку для людини створюють всі джерела іонізуючих випромінювань природного та штучного походження відповідно до положень сучасної концепції радіаційного захисту людини.

Основними джерелами іонізуючого випромінювання природного походження є космічні випромінювання і природні

радіонукліди (ПРН), що втримуються в гірських породах, ґрунті, повітрі, воді, їжі й в організмі людини.

Штучні іонізуючі випромінювання створюються людиною в результаті різних видів його діяльності. До них відносяться установки, що генерують іонізуючі випромінювання, і штучні радіонукліди.

Опромінення людини створюється всіма джерелами радіації, але опромінення від природних джерел у повсякденних умовах перевершує опромінення від інших видів.

Розглянемо основні складові природного радіаційного фону. Космічне випромінювання складається з первинних часток, які проникають до висоти 20 км над рівнем моря і представляють високоенергійні випромінювання (до  $10^{19}$  еВ). Космогенні радіонукліди утворюються в атмосфері в результаті взаємодії космічного випромінювання з ядрами атомів, що є присутніми в атмосфері, які потім надходять на земну поверхню. До них відносяться тритій-3; бор-7; вуглець-14; натрій-22 й ін., що обумовлюють, в основному, внутрішнє опромінення людини (табл. 1.8).

Таблиця 1.8

**Характеристика космогенних природних радіонуклідів  
виявлених у природних тілах**

Радіонуклід	Період напіврозпаду	Концентрація в тропосфері, Бк/кг	Основний тип випромінювання	$E_{\alpha}$ , МеВ
Тритій $^3_1\text{H}$	12 років	$1,2 \cdot 10^{-3}$	e	0,019
Берилій $^7_4\text{Be}$	53 доби	$1,0 \cdot 10^{-2}$	e	0,477
Берилій $^{10}_4\text{Be}$	$1,6 \cdot 10^6$ років	$1,2 \cdot 10^{-9}$	e	0,555
Вуглець $^{14}_6\text{C}$	5730 років	$1,0 \cdot 10^{-4}$	e	0,156
Натрій $^{22}_{11}\text{Na}$	2,6 років	$1,0 \cdot 10^{-6}$	e, $\gamma$	0,545; 1,280
Фосфор $^{32}_{15}\text{P}$	14 доби	$2,3 \cdot 10^{-4}$	e	1,710
Фосфор $^{33}_{15}\text{P}$	24 доби	$1,6 \cdot 10^{-4}$	e	0,246
Сірка $^{33}_{16}\text{S}$	88 доби	$1,3 \cdot 10^{-4}$	e	0,167
Хлор $^{36}_{17}\text{Cl}$	$3,1 \cdot 10^5$ років	$2,5 \cdot 10^{-3}$	e	0,714

## РОЗДІЛ 1

Найбільш значимими з космогенних радіонуклідів є тритій і вуглець. Слід зазначити, що в останні п'ятдесят років спостерігається відхилення концентрації вуглецю від сталого рівня. Це обумовлено збільшенням надходження в атмосферу діоксида вуглецю внаслідок росту використання вугілля, нафти, газу.

Середньорічна ефективна доза опромінення від космогенних іонізуючих джерел становить до 30 мбер/рік.

У біосфері Землі втримується більше 60 природних радіонуклідів, які можна підрозділити на радіонукліди урано-радієвого і торієвого рядів розпаду (табл. 1.9, 1.10), довго живучі радіонукліди з атомними числами від 40 до 190 і космогенні.

Таблиця 1.9

### Характеристика радіонуклідів ряду розпаду урану-радію

Послідовність розпаду	Найменування радіонуклідів	Енергія випромінювання, МеВ (інтенсивність %)			Період напіврозпаду T <sub>1/2</sub>
		α	β	γ	
<sup>238</sup> <sub>92</sub> U	уран-238	4,11(25); 4,2(75)	-	-	4,51·10 <sup>9</sup> років
<sup>234</sup> <sub>90</sub> Th	торій-234	-	0,103(21)	0,063 (3,5)	24,1 доби
<sup>234</sup> <sub>91</sub> Pa	протактиній-234	-	2,29 (98)	0,765 (0,3)	1,17 хв
<sup>234</sup> <sub>92</sub> U	уран-234	4,72 (38)	-	0,053 (0,2)	2,47·10 <sup>5</sup> років
<sup>230</sup> <sub>90</sub> Th	торій-230	4,62 (24)	-	0,068 (0,6)	8·10 <sup>4</sup> років
<sup>226</sup> <sub>88</sub> Ra	радій-226	4,6(96)	-	0,186(4)	1602 роки
<sup>222</sup> <sub>86</sub> Rn	радон-222	5,49(100)	-	0,51 (0,07)	3,8 доби
<sup>218</sup> <sub>84</sub> Po	полоній-218	6(100)	0,33 (0,019)	-	3,5 хв
<sup>214</sup> <sub>82</sub> Pb	свинець-214	-	0,65 (50)	0,295(19)	26,8 хв
<sup>218</sup> <sub>82</sub> At	астат-218	6,56 (6)	-	-	2 с
<sup>214</sup> <sub>83</sub> Bi	вісмут-214	5,45(0,012)	1,0(23)	0,609 (47)	19,7 хв
<sup>214</sup> <sub>84</sub> Po	полоній-210	1,69(100)	-	0,799 (0,014)	164 мкс
<sup>210</sup> <sub>81</sub> Tl	талій-210	-	1,3(25); 1,9(56); 2,9(19)	0,769 (100)	1,3 хв
<sup>210</sup> <sub>82</sub> Pb	свинець-210	3,72 (0,00002)	0,01 (85)	0,047 (4)	21 рік
<sup>210</sup> <sub>83</sub> Bi	вісмут-210	4,65 (0,0007)	1,16(100)		5,01 доби
<sup>210</sup> <sub>84</sub> Po	полоній-210	5,3 (100)	-	0,803 (0,0011)	138,4 доби
<sup>206</sup> <sub>81</sub> Tl	талій-206	-	1,57(100)	-	4,19 хв
<sup>206</sup> <sub>82</sub> Pb	свинець-206	стабільний			



Таблиця 1.10

## Характеристика радіонуклідів ряду розпаду торія

Послідовність розпаду	Найменування радіонуклідів	Енергія випромінювання, МеВ (інтенсивність %)			Період напіврозпаду $T_{1/2}$
		$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	
${}^{232}_{90}\text{Th}$	торій-232	3,96(99)		0,09	$1,41 \cdot 10^{10}$ років
${}^{228}_{88}\text{Ra}$	радій-228	-	0,065 (100)		5,8 хв
${}^{228}_{89}\text{Ac}$	актиній-228	-	1,18(35); 1,75(12); 2,09(12)	0,96 (45)	6,13 год
${}^{238}_{90}\text{Th}$	торій-228	5,47 (28); 5,43(71)	-	0,084 (1,6); 0,214(6)	1,1 року
${}^{228}_{88}\text{Ra}$	радій-224	5,45 (6); 5,68 (94)	-	0,241 (3,7)	3,64 доби
${}^{220}_{86}\text{Rn}$	радон-220	6,29(100)	-	0,55 (0,07)	55 с
${}^{216}_{84}\text{Po}$	полоній-216	6,78 (100)	-	-	0,15 с
${}^{212}_{82}\text{Pb}$	свинець-212	-	0,346(81); 0,586(14)	0,239(47); 0,3 (8)	10,64 год
${}^{212}_{83}\text{Bi}$	вісмут-212	6,05(25); 6,09(10)	1,55(5); 2,26(55)	0,04(2); 0,727 (7)	60,6 хв
${}^{208}_{81}\text{Tl}$	талій-208	-	1,28(29); 1,8(50)	0,51(23); 0,58(68)	3,1 хв
${}^{212}_{84}\text{Po}$	полоній-212	8,78 (100)	-	-	3 $10^{-9}$ с
${}^{208}_{82}\text{Pb}$	свинець-208	стабільний			

Для радіоактивних рядів розпаду урану-238 і торія-232 характерні наступні загальні риси:

- родоначальником кожного ряду є довго живучі ізотопи радіонукліда альфа-випромінювачів;
- кожен ряд розпаду містить радіоактивний газ (урановий ряд - радон-222, торієвий ряд - радон-220) і закінчується стабільним ізотопом свинець-206 і свинець-208 відповідно й ін.

У стислій формі радіоактивний ряд розпаду урану-238 має вигляд:



і торієвий ряд:



Ступінь радіаційної небезпеки для людини кожного радіонукліда залежить, у першу чергу, від видів іонізуючих випромінювань та їхніх енергій при розпаді. Так, для уранового ряду характерно, що внесок у величину зовнішньої дози опромінення, створеної рівноважним урановим сімейством всіх попередників радію-226 ( ${}^{238}\text{U}$ ,  ${}^{234}\text{Th}$ ,  ${}^{234}\text{Pa}$ ,  ${}^{234}\text{U}$ ,  ${}^{236}\text{Th}$ ), становить усього близько 1,5%. Тому потужність поглиненої дози гама-випромінювання в приміщеннях від ПРН уранового ряду прийнято розраховувати по вмісту радію-226.

Для одиночних природних радіонуклідів з атомним числом  $m_{\text{ат}}$  від 40 до 190 (табл. 1.11) характерно, що внаслідок біогеохімічних або геохімічних перетворень їхня ізотопна сполука практично не змінилася і вони мають дуже великі періоди напіврозпаду (до  $10^{16}$  років).

Таблиця 1.11

**Характеристика одиночних природних радіонуклідів**

Радіонуклід	Період напіврозпаду, років	Основні типи іонізуючих випромінювань (E, MeV/ вихід, %)
${}^{40}\text{K}$	$1,26 \cdot 10^9$	$\beta/1,33/89; \gamma/1,46/11$
${}^{50}\text{V}$	$6,0 \cdot 10^{15}$	$\beta/0,78/30; \gamma/1.55/70$
${}^{87}\text{Rb}$	$4,8 \cdot 10^{10}$	$\beta/0,8/100$
${}^{115}\text{In}$	$6,0 \cdot 10^{14}$	$\beta/0,48/100$
${}^{121}\text{Te}$	$0,2 \cdot 10^{13}$	$\gamma/ - / -$
${}^{138}\text{La}$	$1,12 \cdot 10^{11}$	$\beta/0,12/80; \gamma/0,81/1,43/30$
${}^{142}\text{Ce}$	$5 \cdot 10^{16}$	$\alpha/ - / -$
${}^{144}\text{Na}$	$2,4 \cdot 10^{15}$	$\alpha/ 1,83/ -$
${}^{146}\text{Sm}$	$1 \cdot 10^{15}$	-
${}^{147}\text{Sm}$	$1,05 \cdot 10^{11}$	$\alpha/ 2,23/ -$
${}^{148}\text{Sm}$	$2 \cdot 10^{14}$	-
${}^{152}\text{Gd}$	$1,1 \cdot 10^{14}$	$\alpha/ 2,1/ -$

## Продовження Таблиці 1.11

$^{156}\text{Dy}$	$1 \cdot 10^{18}$	-
$^{174}\text{Hf}$	$2 \cdot 10^{15}$	$\alpha/2,5/-$
$^{176}\text{La}$	$2,2 \cdot 10^{10}$	$\beta/0,43$
$^{180}\text{Ta}$	$1,0 \cdot 10^{12}$	-
$^{187}\text{Re}$	$4,3 \cdot 10^{10}$	$\beta/0,003/-$
$^{190}\text{Pt}$	$6,9 \cdot 10^{11}$	$\alpha/3,18/-$

Найбільше значення як джерело іонізуючого випромінювання з одиночних радіонуклідів має калій. Ядра його радіоактивних ізотопів ( $^{40}_{19}\text{K}$ ) розпадається в такий чином: 89 % ядер при розпаді з  $\beta$  - випромінюванням переходять в ізотопи  $^{40}\text{Ca}$ , а 11% ядер переходять в  $^{40}\text{Ar}$  за допомогою електромагнітного  $\gamma$  - випромінювання. Для живих кліток вміст природного калію необхідно, тому що він відноситься до мікроелементів. Вміст калію в земній корі становить 0,026, а середня питома активність 1 кг калію становить 822 Бк/кг.

Зовнішнє гама-опромінення людини визначається в основному радіонуклідами ураново-радієвого і торієвого рядів, а також калію-40. Основний внесок у дозу випромінювання над поверхнею Землі вносять радіонукліди, що втримуються у верхньому (30-50 сантиметрів) шарі ґрунту. При цьому внесок у середнє значення потужності поглиненої дози в повітрі становить від калію-40 - 35%, урану-238 - 25%, торія-232 - 40% з урахуванням середніх значень їхньої питомої активності ПРН у ґрунті.

Внутрішнє опромінення людини створюється радіонуклідами, що попадають в організм разом з повітрям, їжею і водою усередину організму. Найбільший внесок в ефективну внутрішню дозу вносять радон-222 і радон-220, а також калій-40, полоній-210, рубідій-87, радій-226 й ін.

У табл. 1.12 наведені середні значення річної ефективної дози опромінення  $H_{\text{еф}}$  від впливу природних джерел іонізуючих випромінювань (по даним МКРЗ).

Складові  $N_{\text{ef}}$  від природних джерел випромінювання

Джерело випромінювання	Ефективна доза, мЗв/рік		
	Зовнішнє опромінення	Внутрішнє опромінення	Сумарна доза
Космічне випромінювання	0,28	-	0,28
Космогенні радіонукліди		0,015	0,015
Довго живучі радіонукліди $^{40}\text{K}$	0,12	0,18	0,3
$^{87}\text{Rb}$	-	0,006	0,006
Урановий ряд:	0,1	1,14	1,24
$^{238}\text{U} - ^{234}\text{U}$	-	0,005	0,005
$^{230}\text{Th} - ^{226}\text{Ra}$	-	0,014	0,014
$^{222}\text{Rn} - ^{214}\text{Po}$	-	1,0	1,0
$^{210}\text{Pb} - ^{210}\text{Po}$	-	0,12	0,12
Торієвий ряд:	0,16	0,18	0,34
$^{232}\text{Th}$	-	0,003	0,003
$^{228}\text{Ra} - ^{224}\text{Ra}$	-	0,013	0,013
$^{220}\text{Th} - ^{208}\text{Tl}$	-	0,16	0,16
<b>Усього</b>	<b>0,7</b>	<b>1,55</b>	<b>2,25</b>

З табл. 1.12 видно, що ефективна внутрішня складова дози опромінення вдвічі більше зовнішньої складової, внесок космічного випромінювання в зовнішню складову ефективної дози опромінення помітно менше, ніж випромінювання від Землі.

Розширення видів діяльності людини привело до того, що в природне середовище стали надходити в більшій кількості природні радіонукліди, що витягають із глибин Землі разом з будівельними матеріалами, вугіллям, сировиною для виробництва мінеральних добрив й ін. Це привело до росту природного радіаційного фону, що прийнято називати техногенно-підвищеним природним радіаційним фоном.

Розглянемо внесок основних видів ДІВ, що визначають величину техногенно-підвищеного природного радіаційного фону.

Ефективна доза опромінення в приміщеннях будинків залежить від концентрації природних радіонуклідів (радію-226, торія-232, калію-40) у будівельних матеріалах і становить у середньому  $1,4 \text{ мЗв} \times \text{рік}^{-1}$ .

Вугілля, що спалюють в електростанціях, містить природні радіонукліди урану-238, торія-232, калію-40. Для виробництва електроенергії і  $1 \text{ ГВт} \cdot \text{рік} = 8,7 \cdot 10^9 \text{ кВт} \cdot \text{рік}$  спалюється приблизно  $3 \cdot 10^6$  тонн вугілля. При згоранні вугілля органічний компонент вигорає, в результаті чого концентрація природних радіонуклідів в золі і шлаку підвищується. Якщо прийняти зольність вугілля, рівною 10%, а коефіцієнт очистки золи фільтрами – 0,975, то електростанція потужністю 1 ГВт в рік може викидати в атмосферу по розрахунку радіонукліди з активністю, ГБк: 4,0 – калія-40; 1,5 – урану-238 і радію-226; 5,0 – полонія-210; 1,5 – торія-232. Радон-222 не відчувається діючими очисними фільтрами і його виброс складає до 60 ГБк на 1 ГВт на рік.

При розрахунку дози внутрішнього та зовнішнього опромінення за рахунок застосування мінеральних добрив ураховується їхнє нагромадження в ґрунті і надходження з їжею. Прийнято вважати, що в одній тонні добрив утримується  $3 \cdot 10^5$  Бк урану-238,  $2 \cdot 10^5$  Бк радію-226.

Радіоактивні речовини надходять у зовнішнє середовище також при роботі підприємств ядерно-паливного циклу (ЯПЦ), що включають видобуток уранової руди, гідрометалургійну переробку її з одержанням двоокису урану, розділові заводи, де відбувається збагачення урану нукліда  $^{235}\text{U}$ , виробництво тепловиділяючих елементів (ТВЕЛов), атомні електростанції і атомні станції тепlopостачання, радіохімічні заводи по переробці ядерного палива, яке вже відробило.

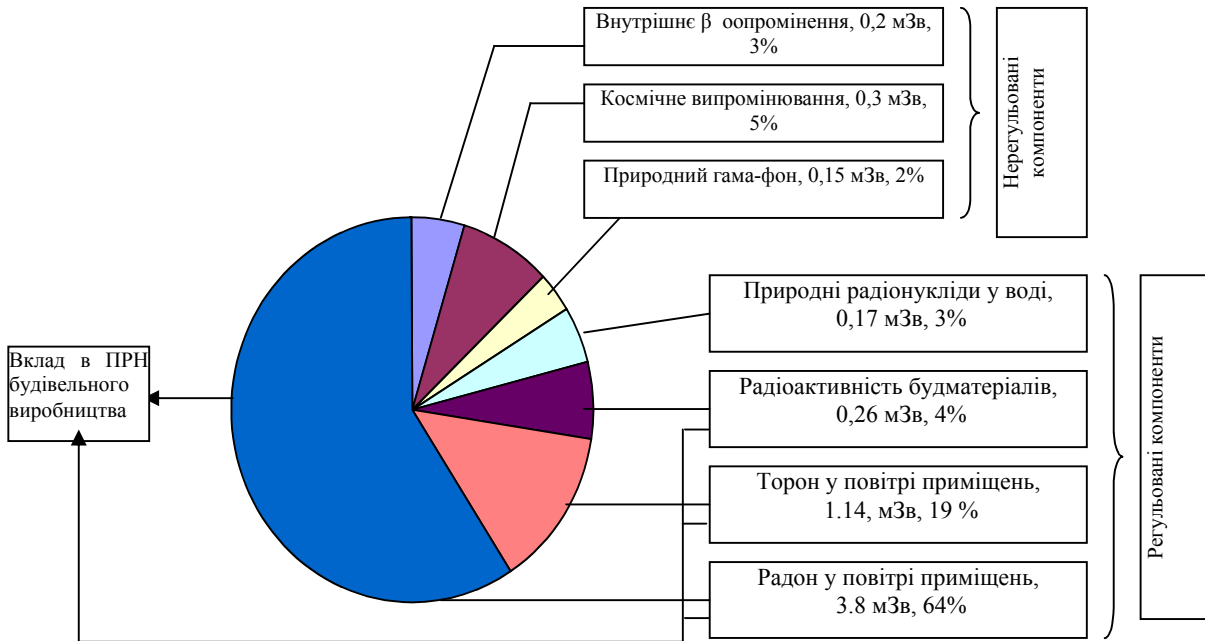
Природні джерела іонізуючих випромінювань, що визначають величину ефективної дози опромінення, діляться на нерегульовану і регульовану групи.

До нерегульованої групи відносяться іонізуючі джерела випромінювань, що визначають величину природного радіаційного фону. Їх внесок у величину сумарної річної ефективної дози опромінення становить  $\sim 13,1\%$ .

Регульована група включає антропогенні іонізуючі джерела випромінювання, що визначають величину технологічного підвищеного природного фону, створюваного під впливом господарської діяльності людини, спрямованої на забезпечення умов його життєдіяльності. Внесок регульованої групи іонізуючих джерел у величину сумарної дози опромінення перевищує 86%. Знання природи створення

іонізуючих джерел регульованої групи визначає можливість керування людиною рівнем, створюваної ними радіаційної небезпеки.

Домінуючий внесок джерел випромінювання будівельного виробництва у величину сумарної ефективної дози опромінення наочно видний з розгляду мал. 1.4.



Мал. 1.4. Внесок основних іонізуючих джерел природного походження (НЦРМ АМН) у величину середньої річної ефективної дози опромінення населення України

## 1.5. Контрольні питання

1. Що таке іонізуючі випромінювання і чому вони несуть небезпеку при впливі на організм людини?
2. Які види іонізуючих випромінювань викликають небезпеку зовнішнього та внутрішнього опромінення людини?
3. Чому рівень радіаційної небезпеки залежить не тільки від енергії іонізуючих випромінювань, але й від видів випромінювання, якими супроводжується розпад кожного радіонукліда?
4. Назвати одиниці виміру, які характеризують іонізуючі джерела і ступінь їхнього впливу на організм людини?
5. Охарактеризуйте групи ефектів наслідків впливу іонізуючих випромінювань джерел радіації на організм людини?
6. Які іонізуючі джерела відносяться до техногенно-підвищеної групи природного походження і чому вони є регульованими?
7. Чим можна пояснити домінуюче місце джерел іонізуючих випромінювань будівельного виробництва по внеску у величину сумарної ефективної дози опромінення?

## РОЗДІЛ 2

### Нормативно-правова база забезпечення радіаційної безпеки об'єктів будівництва в Україні

#### 2.1. Радіаційна небезпека - один з факторів, що визначає умови життєдіяльності людини у побуті і на виробництві

Розвиток суспільства нерозривно пов'язане з використанням людиною природних запасів Землі для забезпечення життєвих потреб. При цьому будь-який вид виробництва створює не тільки користь для суспільства, але і веде до погіршення екологічної обстановки - забруднюється навколишнє середовище, порушується природний зв'язок між людиною та природою, зменшуються природні ресурси й ін. Ці втрати неможливо компенсувати ніяким збільшенням матеріальних благ, створюваних виробництвом.

Основні екологічні наслідки різних видів антропогенної діяльності людини викликають:

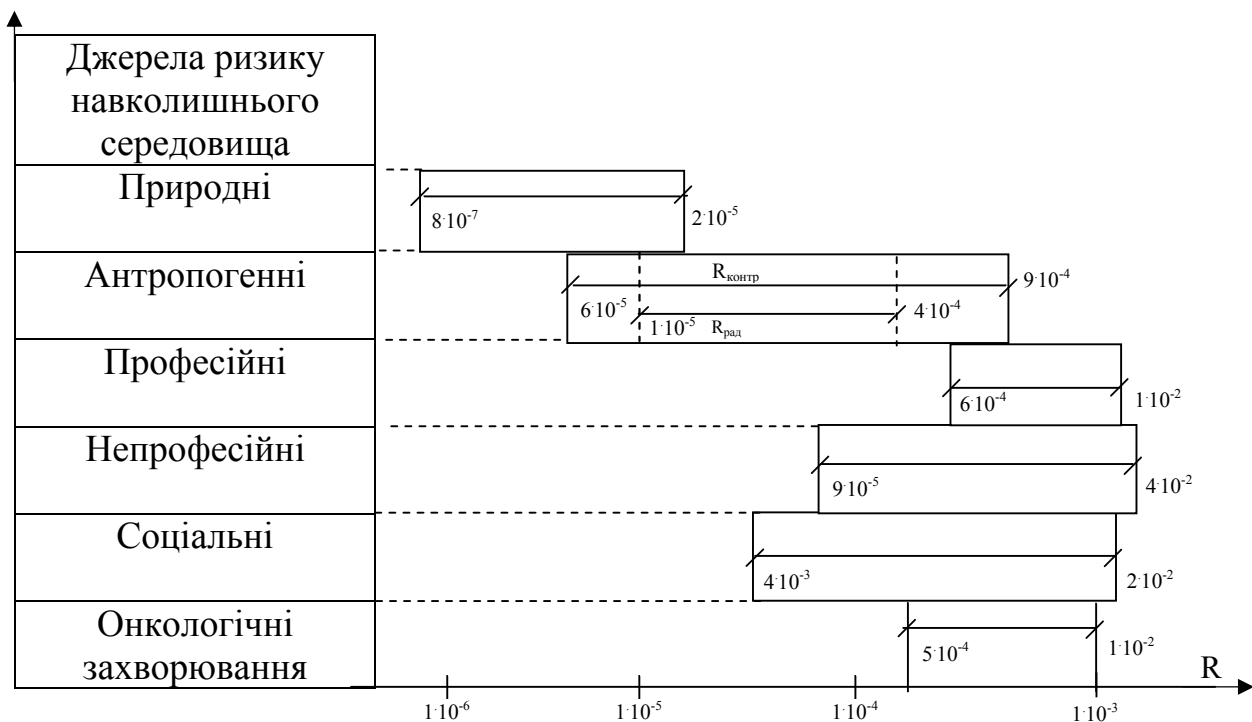
- медико-біологічні ефекти впливу на організм людини;
- зміни параметрів навколишнього середовища, що приводять до погіршення комфортності умов людини в побуті і на виробництві;
- кількісні і якісні зміни природних ресурсів, які використовуються або будуть використані суспільством.

Забруднення навколишнього природного середовища пов'язане з надходженням будь-яких чужорідних для неї або перевищуючий їхній природний вміст речовин, живих організмів, випромінювань та енергій.

Кожен вид діяльності людини спричиняє певний ступінь ризику шкідливого впливу на організм і навколишнє середовище. Класифікація основних груп джерел небезпеки навколишнього середовища для людини і їхні рівні ризику наведені на мал. 2.1.

Джерела ризику діляться на природні і антропогенні. Низький рівень ризику природних джерел, їхній змушений характер, неможливість запобігання і обмеження обумовили визнання його базовим, до впливу якого адаптувався організм людини.

## РОЗДІЛ 2



Мал. 2.1. Рівні ризику для життя людини  $R$  від основних груп джерел небезпек навколишнього середовища і прояву онкологічних захворювань

Антропогенні джерела ризику пов'язані з різними видами діяльності людини, спрямованими на задоволення матеріальних і духовних потреб, життєвих функцій, рішення соціальних протиріч. Для антропогенних джерел ризику характерна можливість їхнього регулювання, тому що вони є результатом діяльності людини.

Сумарний ризик кожного виду діяльності людини включає природну і антропогенну складові. Прийнятний рівень ризику для різних видів діяльності визначається економічними, соціальними та психологічними факторами, які оцінюються по зіставленню одержуваної користі і шкоди для суспільства від їхньої реалізації. Досягнення прийнятного рівня ризику для кожного виду діяльності можливо тільки за рахунок зменшення його антропогенної складової.

Радіаційний ризик для людини  $R_{\text{рад}}$  (мал. 2.1), створюваний природними і антропогенними іонізуючими випромінюваннями джерел, значною мірою визначає умови життєдіяльності людей, що диктує необхідність забезпечення їхньої радіаційної безпеки. Адже рівень радіаційного ризику для населення зіставимо із середнім значенням ризику для працюючих на виробництві [80].

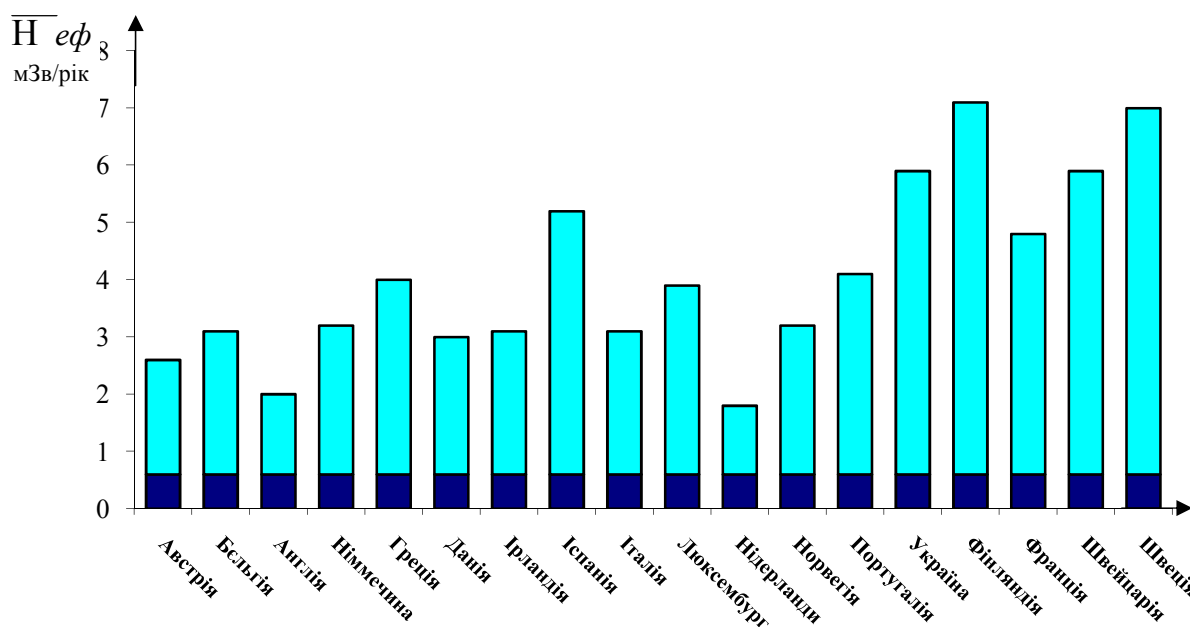
Радіаційна безпека – стан захищеності нинішнього та майбутнього покоління людей від шкідливого для їхнього здоров'я впливу іонізуючих випромінювань радіонуклідів.



При цьому життєва необхідність визначає необхідність людини збільшувати число використовуваних видів антропогенних іонізуючих джерел, а розвиток радіобіології і медицини розширює наші знання про негативний вплив радіоактивності. Це підвищує актуальність рішення завдання забезпечення радіаційної безпеки людини.

Забезпечення радіаційної безпеки населення може бути досягнуто тільки шляхом зменшення зовнішньої і внутрішньої складової ефективної дози опромінення населення, створюваних, в основному, джерелами іонізуючих випромінювань, що відносяться до регульованої групи антропогенного характеру.

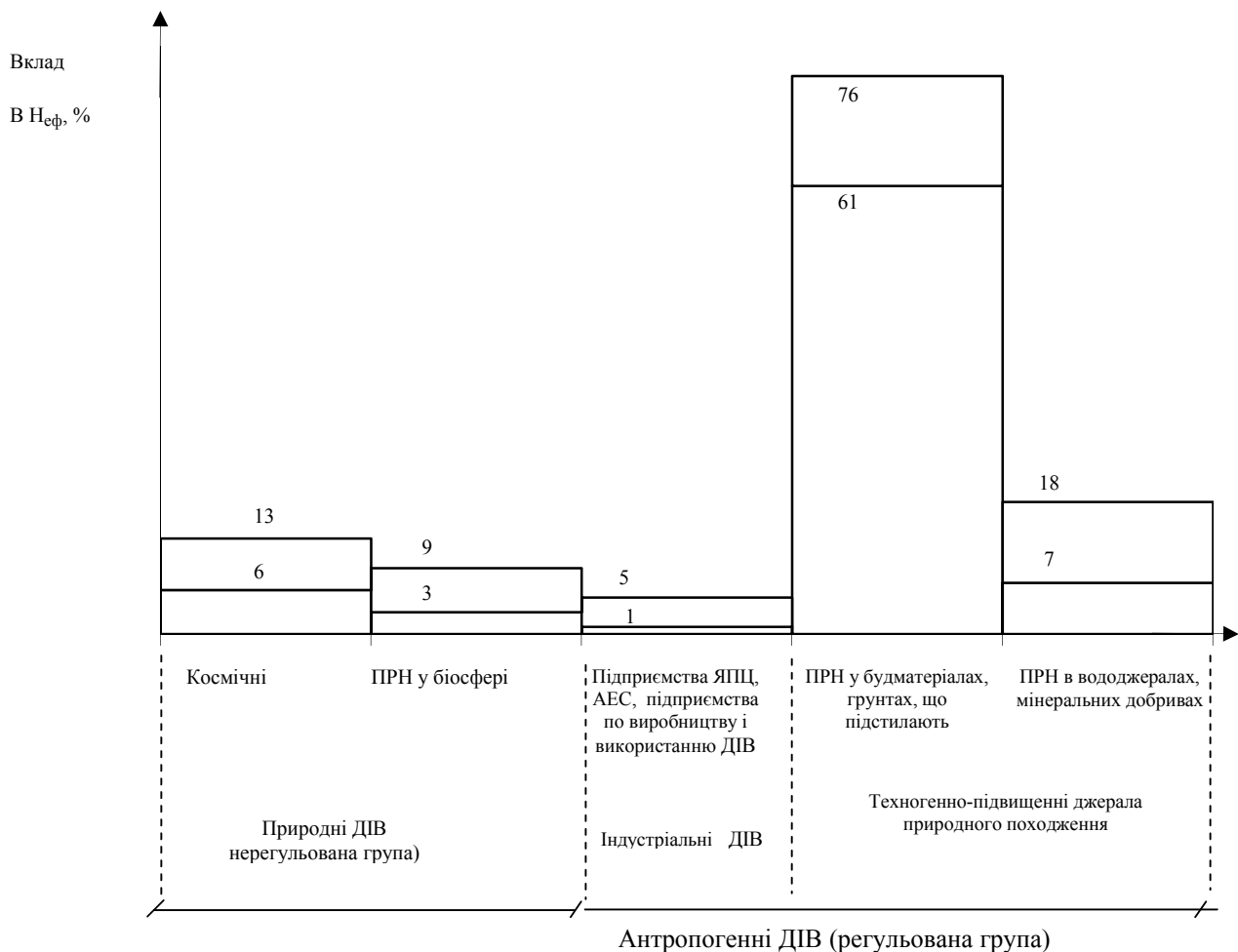
Україна по величині ефективної дози опромінення населення  $H_{ef.нас}$ , мЗв/рік, входить у першу п'ятірку європейських країн (мал. 2.2).



Мал. 2.2. Значення ефективної дози опромінення населення  $\bar{H}_{ef}$ , мЗв/рік, ряду європейських країн (■ – природний фон, ■ – техногенний фон)

Високий рівень ефективної дози опромінення населення ( $H_{ef.нас} > 5$  мЗв/рік) у ряді європейських країн (Швеція, Фінляндія, Україна й ін.) обумовлений геологічною структурою гірських порід на їхній території (Балтійський і Український кристалічні щити).

Аналіз впливу основних груп постійно діючих джерел іонізуючих випромінювань за результатами досліджень дозволив визначити їхній внесок у величину ефективної річної дози опромінення людини (мал. 2.3).



**Мал. 2.3. Внесок основних груп джерел іонізуючих випромінювань (ДІВ) у величину сумарної ефективної дози опромінення населення**

Для досягнення радіаційної безпеки населення з урахуванням переваги по внеску в сумарну ефективну дозу опромінення іонізуючих джерел техногенного характеру МКРЗ рекомендує:

- ніякий вид діяльності людини не повинен вводитися в практику, якщо його застосування не дає реальний чистий прибуток для суспільства;
- регулюванню, у першу чергу, підлягають іонізуючі джерела, що дають найбільший внесок у сумарну ефективну дозу, створювана ними доза не повинна перевищувати 1 мЗв/рік.

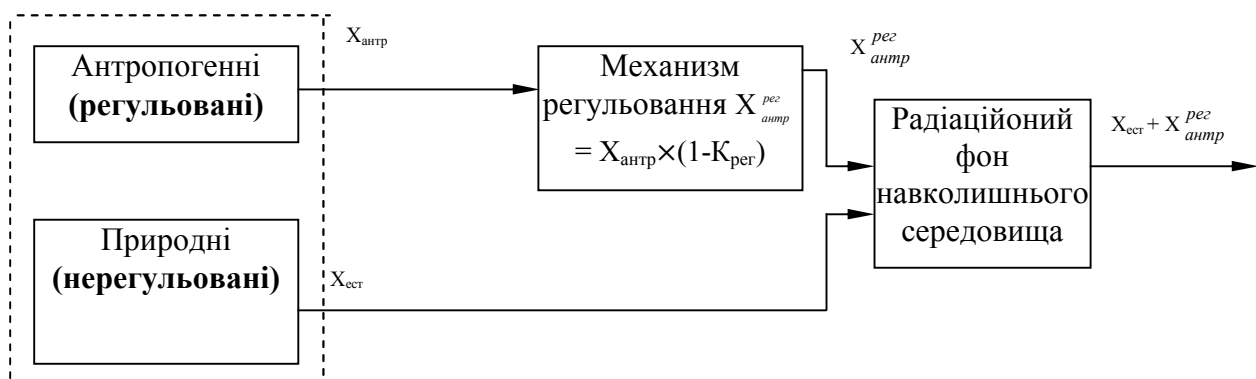
По природі створення і призначенню вся безліч іонізуючих джерел випромінювань що впливають на організм людини, діляться на нерегульовану і регульовану групи (мал. 2.3). До нерегульованої групи відносяться природні іонізуючі випромінювання радіонуклідів, що втримуються в навколишнім середовищі і визначають величину природно радіаційного фону  $X_{прир}$ , на величину якого людина не може впливати.

Регульована група включає всі ІДВ, які є результатом різних видів діяльності людини по забезпеченню умов життєзабезпечення. У вироблених видах продукції втримуються радіонукліди, енергія іонізуючих випромінювань яких повністю використовується людиною – це групи індустриальних і медичних джерел або зовсім не використовується – група техногенне-підвищених джерел природного походження (ТПДПП). ІДВ регульованої групи створюють додаткову антропогенну складову радіаційного фону  $X_{антр}$ , що по величині перевищує природний радіаційний фон  $X_{прир}$  і являє загрозу для життя людини. Це відбиває закономірне екологічне протиріччя в навколишньому середовищі, основу якого становить протиріччя між людиною і природою, з одного боку, і штучним середовищем, з іншої сторони.

Єдиний вихід із цього положення - це рішення людиною завдання адаптації штучного середовища до природного шляхом мінімізації величини додаткових факторів, що впливають, на навколишнє середовище.

Радіаційна безпека є складовою частиною оцінки екологічного стану навколишнього середовища і метод її рішення базується на мінімізації антропогенної складової радіаційного фону, що досягається за допомогою зменшення впливу антропогенної групи іонізуючих джерел (мал. 2.4).

ДІВ навколишнього середовища



Мал. 2.4. Блок-схема рішення завдання радіаційної безпеки людини

Становлення і розвиток нормативно-правової бази з питань забезпечення радіаційної безпеки та захисту населення України від впливу джерел іонізуючих випромінювань антропогенної групи

## РОЗДІЛ 2

---

іонізуючих джерел знайшло своє відбиття в прийнятих законодавчих актах і нормативно-правових документах. Основними з них є:

- Закон України «Про використання ядерної енергії і радіаційної безпеки»;
- Закон України «Про забезпечення санітарного і епідеміологічного благополуччя населення»;
- Закон України «Про захист людини від впливу іонізуючих випромінювань»;
- Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97);
- Основні санітарні правила протирадіаційного захисту України (ОСПУ-2001);
- «Державні гігієнічні нормативи» ДГН 6.6.1 - 6.5.001-98, з доповненням: «Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення» (НРБУ-97/Д-2000), ДГН 6.6.1.-6.5.000-2000;
- Державні будівельні норми України «Система норм і правил зниження рівня іонізуючих випромінювань природних радіонуклідів у будівництві», що включають:
  - «Основні положення» ДБН В.1.4. - 0.01 - 97;
  - «Типові документи» ДБН В.1.4 - 0.02 - 97;
  - «Регламентовані радіаційні параметри. Припустимі рівні ДБН В.1.4 - 1.01-97»;
  - «Радіаційний контроль будівельних матеріалів та об'єктів будівництва» ДБН В.1.4 - 2.01-97;
  - Посібник до ДБН В.1.4-97 «Система норм і правил зниження рівня іонізуючих випромінювань природних радіонуклідів у будівництві. Радіаційний контроль будівельних матеріалів та об'єктів будівництва» й ін.

Із введенням у дію системи вищевказаних нормативно-правових документів, що відповідають міжнародним рекомендаціям з радіаційного захисту людини в сфері будівельного виробництва, створене нормативно-правове поле забезпечення радіаційної якості будівельного виробництва.

## 2.2. Сучасна концепція радіаційного захисту людини та місце в ній джерел іонізуючих випромінювань будівельного виробництва

За результатами проведених широкомасштабних досліджень у країнах світу оцінки різних антропогенних іонізуючих джерел та їхнього впливу на організм людини Міжнародна комісія з радіологічного захисту (МКРЗ) в 90-х роках минулого сторіччя сформуvala основні положення сучасної концепції радіаційного захисту людини (КРЗЛ), що застосована для кожної країни з урахуванням її особливостей. Так сучасна концепція радіаційної безпеки населення України визначена в основних положеннях НРБУ-97, в основу яких покладені рекомендації МКРЗ (1989-1996 р.р.), позитивний досвід використання НРБ-76/87, досвід ліквідації аварії на ЧАЕС, наукові розробки вітчизняних та іноземних фахівців у даній області.

Мета концепції складається в збереженні здоров'я людини від можливого збитку, нанесеного впливом ДІВ, забезпеченні безпечної роботи з ДІВ, охорони навколишнього середовища.

У НРБУ-97 наведені наступні сучасні концепціальні положення:

- концепція ефективної дози;
- дві групи категорій осіб, які підвержені опроміненню [персонал (категорія А і Б) і населення (категорія В)];
- система чотирьох груп радіаційно-гігієнічних регламентів ДІВ:
  - обмеження опромінення при нормальному функціонуванні індустриальних джерел;
  - обмеження при медичному опроміненні;
  - аварійне опромінення населення;
  - хронічне опромінення від техногенно-підвищених джерел природного походження.

В основу розподілу природних регульованих антропогенних ДІВ, які є результатами різних видів діяльності людини по забезпеченню життєдіяльності, на чотири групи покладено їхнє пряме призначення і рівень апріорної інформації про параметри джерел. Для груп індустриальних і медичних джерел характерно, що енергія іонізуючих випромінювань джерел в них використовуються безпосередньо для рішення завдань життєзабезпечення людини (електроенергія, тепло, лікування людини й ін.). Функціонування цих двох груп ДІВ практичної діяльності людини можливо тільки на основі знання конкретного складу

ДІВ та вмісту радіонуклідів в них. Це дозволяє визначити створювану активність джерела і параметри іонізуючих випромінювань, якими супроводжується розпад кожного радіонукліда, що втримується. Такий рівень апріорної інформації про параметри індустриальних і медичних ДІВ дозволяє контролювати та прогнозувати створювану ними дозу опромінення, установлювати для них ліміти дози, їх припустимі і контрольні рівні, виходячи з мети забезпечення радіаційної безпеки.

Для тих самих видів діяльності людини, які пов'язані з використанням земних надр для забезпечення умов життєдіяльності (житло, вода, продукти живлення й ін.), але в них безпосередньо не використовується енергія іонізуючих випромінювань радіонуклідів, характерно, що в одержуваній продукції виробництва збільшується концентрація природних радіонуклідів і доступність їхнього впливу на організм людини (будівельні матеріали, джерела водопостачання, виробництво мінеральних добрив, викиди вугільних теплових електростанцій й ін.).

Саме у виробленій продукції таких видів діяльності людини, у яких не використовується енергія іонізуючих джерел, що втримуються, характерні створюваній техногенно-підвищений природний радіаційний фон і їх називають техногенно-підвищеними джерелами природного походження (ТПДПП). Рівень апріорної інформації про параметри ТПДПП не дозволяє забезпечити прогностичність і контрольованість створюваної радіаційної обстановки, що робить процес оцінки їхнього впливу не прогнозованим і неконтрольованим. Для цих груп ДІВ встановлені лише припустимі рівні їхніх радіаційних параметрів, виходячи з дотримання умови – виключення виникнення детермінованих граничних ефектів, що опромінюють, і обмеження ймовірності прояву стохастичних безпорогових ефектів на припустимому рівні (табл. 2.1).

НРБУ-97 установлюють два принципово різних підходи по забезпеченню протирадіаційної безпеки:

- при усіх видах практичної діяльності в умовах нормальної експлуатації індустриальних і медичних джерел іонізуючих випромінювань;
- при ситуаціях, які пов'язані з опроміненням населення в умовах аварійного опромінення, а також при хронічному опроміненні за рахунок впливу техногенно-підвищених джерел природного походження.

Таблиця 2.1

**Порівняльна характеристика регульованих груп ДІВ та шляхи забезпечення їхньої радіаційної безпеки**

Групи ДІВ (по НРБУ-97)	Використання іонізуючих властивостей у продукції	Знання параметрів ДІВ	Оцінка створюваного ДІВ радіаційної обстановки	Шляхи забезпечення радіаційної безпеки	Регламентовані радіаційні параметри
Індустріальні, медичні	пряме	повне	прогнозована і контрольована	застосування тільки при дотриманні принципів НРБУ-97	ліміти дози, припустимі і контрольні рівні ПРН у навколишній середовищі
ТПДПП, аварійні ситуації	не використовується	широкий діапазон варіювання	не прогнозована і не контрольована	реалізація принципів НРБУ-97 тільки із застосуванням захисних заходів	припустимі і контрольовані рівні параметрів у випускаємій продукції

Радіаційна безпека та протирадіаційний захист для першої регламентованої групи практичної діяльності базується на дотриманні принципів: доцільності, неперевикнення і оптимізації, а для медичної практики ставиться ще мета - обмеження опромінення людини при використанні медичних джерел. Застосування даної групи іонізуючих джерел дозволяється за умови виконання зазначених принципів.

Радіаційна безпека та протирадіаційний захист регламентованої групи - аварійного опромінення і хронічне опромінення від техногенно-підвищених джерел природного походження (ТПДПП) базується на використанні можливості їхнього керування за допомогою комплексу протирадіаційних захисних заходів.

Керування – це такий вид людської діяльності, що спрямований на зниження і запобігання неконтрольованого та непередбаченого опромінення, створюваного іонізуючими джерелами випромінювання антропогенної групи.

Аварійні ситуації - це будь-яка незапланована подія на об'єкті з радіаційною або радіаційно-ядерною технологією, якщо при виникненні цієї ситуації виконуються дві необхідних і достатніх умови: втрата контролю над джерелом; реальне або (потенційне) опромінення людей, пов'язане із втратою контролю над джерелом.

Основні регламентовані параметри для характерних антропогенних груп іонізуючих джерел наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

**Радіаційно-гігієнічні регламентовані величини характерних ситуацій опромінення (НРБУ-97)**

Характерні ситуації опромінення антропогенними групами ІДВ	Регламентовані величини		Припустимі їхні значення
Нормальна експлуатація індустриальних джерел іонізуючого випромінювання	ліміт дози, мЗв/рік	ефективної	20 – (кат. А), 2 (кат. Б) 1 (кат. В)
		еквівалентної	150 (500, 500) - кат А, 15 (50, 50) - кат. Б, В
	рівні	припустимі	$ДП_A, ДК_A, ДПП_A, ДМД_A, ДЗ_A;$ $ДП_B, ДК_B, ДП_B, ДК_B$
		контрольні	менше або дорівнюють припустимим рівням
Медична практика	Рекомендовані рівні МОЗ		$H_{ef} \leq 1$ мЗв – профілактичне обслуговування населення; $H_{ef} \leq 5$ мЗв/рік – обслуговуючий персонал; $H_{ef} \leq 10$ мкЗв/г – при радіологічних процедурах
Радіаційні аварії	рівні	припустимі	$H_{ef} \leq 100$ мЗв; $H_{екв} \leq 500$ мЗв
		контрольні	$\leq H_{\Sigma}, \leq H_{екв}$
Опромінення техногенно-підвищеними джерелами природного походження	рівні	припустимі	$370 \leq A_{ef},$ Бк/кг, $\leq 1350;$ $ППД_{прим},$ мкГр/г $\leq 0,26;$ $ЕРОA_{Rn},$ Бк/м <sup>3</sup> $\leq 50;(3)$ і ін.
		контрольні	менше або дорівнюють припустимим рівням

Рівень вмісту природних радіонуклідів (ПРН) у будівельному виробництві домінує по внеску в сумарну ефективну дозу серед інших ТПДПП.

Іонізуючі джерела випромінювання будівельного виробництва являють собою джерела відкритого типу, які викликають зовнішню і внутрішню складову ефективної дози опромінення в приміщеннях



будинку. Для їх радіонуклідного складу, що впливає на людину в обмеженому обсязі приміщення, характерна підвищена радіотоксичність, особливо радона-222 і його дочірніх продуктів розпаду й ін.

Радіаційна якість об'єктів будівництва може бути досягнута тільки за умови дотримання основних положень сучасної концепції радіаційного захисту людини, наведеної на мал. 2.5.

Основні положення концепції радіаційного захисту людини побудовані на основі визнання безпорогової лінійної залежності ефекту від величини дози опромінення джерела. Цим підкреслена значимість техногенно-підвищених джерел природного походження, які, незважаючи на порівняно низький (природний) рівень радіоактивності, представляє найбільшу радіаційну небезпеку для людини. Це підтверджено аналізом результатів досліджень по визначенню внеску основних груп іонізуючих джерел випромінювань у величину сумарної ефективної дози опромінення [40].

На основі аналізу результатів досліджень впливу радіонуклідів, що втримуються, в іонізуючих джерелах на організм людини радон-222 і його дочірні продукти розпаду (ДПР) визнані основними дозоутворюваними радіонуклідами.

Успіхи розвитку радіобіології, медицини та інші напрямки дозволили встановити закономірний ріст проявів захворювань групи стохастичних безпорогових ефектів, властивих впливу на людину джерел техногенно-підвищеного природного радіаційного фону. Цим порозумівається збільшення значення коефіцієнта ризику, який характеризує ймовірність прояву стохастичних безпорогових ефектів.

Для приведення забезпечення радіаційної якості житла у відповідність із КРЗЛ необхідно поглиблене знання властивостей і параметрів ДІВ будівельного виробництва, методів їхнього виміру і визначення; наявність формалізованих моделей зв'язку між параметрами на окремих етапах виробництва, аж до оцінки рівня радіаційної безпеки будинків. При цьому для досягнення прийнятного рівня ризику ( $\leq 5 \cdot 10^{-5}$ ) необхідно обов'язкове виконання захисних заходів щодо зменшення створюваної джерелами ефективної дози опромінення в приміщеннях будинків. При цьому принципи побудови комплексу захисних заходів для будівельного виробництва повинні бути засновані на використанні методів ослаблення, як параметрів іонізуючих джерел, так і створюваного ними радіаційного фону у приміщеннях будинку.



Мал. 2.5. Положення концепції радіаційного захисту людини та умови їхнього виконання для будівельного виробництва

Забезпечення радіаційної безпеки об'єктів будівництва, відповідно до вимог нормативно-правових документів в Україні, може бути досягнуто регулюванням рівнем радіаційних параметрів, як іонізуючих джерел, так і у приміщеннях будинку на основі реалізації комплексу захисних заходів.

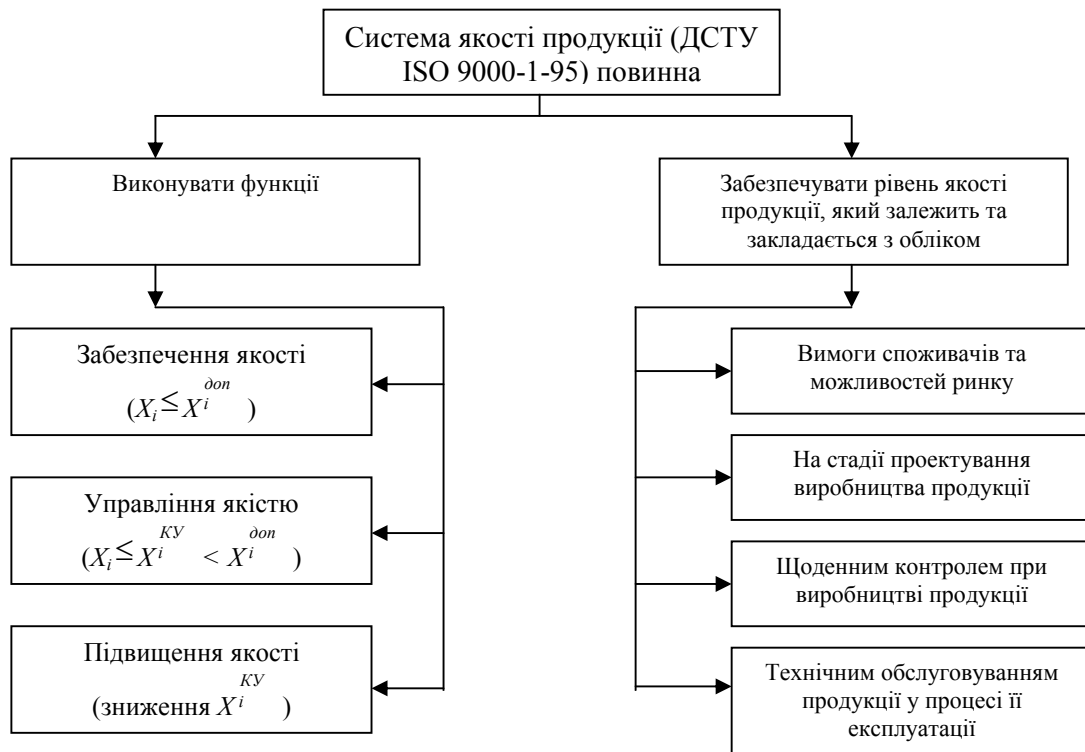
На базі розвитку ядерної фізики, радіобіології визначені два принципово різних підходи для забезпечення радіаційної безпеки антропогенних регульованих джерел з урахуванням використання або не використання в них властивостей радіонуклідів по прямому призначенню (індустріальні, медичні джерела, техногенні джерела та аварійні ситуації).

Для забезпечення радіаційної безпеки будівельного виробництва відповідно до положень КРЗЛ необхідно визначити параметри іонізуючих джерел виробництва, особливо по радононадходженню та параметри створюваного ними радіаційного фону в приміщеннях будинку на основі експериментально-розрахункових моделей; розробити комплекс протирадіаційних захисних заходів будівельного виробництва з оцінкою їхніх соціально-економічних показників й ін.

### **2.3. Шляхи забезпечення радіаційної якості житла відповідно до міжнародних вимог системи якості випускаємої продукції ISO-9000**

Для забезпечення іонізуючими випромінюваннями джерел будівельного виробництва рівня, що відповідає принципам МКРЗ і НРБУ-97, необхідно мінімізувати створювану ними ефективну дозу опромінення в приміщеннях будинків. Це відповідає положенням сучасної концепції радіаційного захисту людини, заснованої на безпорогової лінійної залежності ефекту від дози і підвищувальна значимість внеску техногенних іонізуючих джерел у сумарну ефективну дозу опромінення.

Забезпечення радіаційної якості будівельного виробництва є одним з ланок контролю якості будівельної продукції, що повинна відповідати міжнародним вимогам системи якості продукції ISO-9000 (мал.. 2.6).



Мал. 2.6. Вимоги до системи якості продукції ISO-9000

Аналіз діючої системи забезпечення радіаційної якості будівельного виробництва на відповідність міжнародним вимогам системи якості продукції дозволив виявляти наступні недоліки:

- не охоплені безпосереднім контролем джерела радононадходження у повітря приміщень будинку, що утрудняє вибір і застосування необхідних захисних заходів з урахуванням їх ефективності і вартості;
- вихідний контроль радіаційно-гігієнічних параметрів у приміщеннях при прийомі будинків (споруджень) в експлуатацію дозволяє лише реєструвати рівень радіаційної якості об'єкта, крім, практично, застосування захисних заходів;
- у нормативно-правових документах не дані рекомендації із установлення контрольних рівнів регламентованих радіаційних параметрів будівельного виробництва та не розкритий зміст основних груп захисних заходів;
- основний ресурс радіаційної якості продукції будівельного виробництва повинен закладатися на стадії проектування будинку (спорудження), що передбачено обов'язковим виконанням у проекті розділу «Заходи щодо зниження рівня іонізуючих випромінювань природних радіонуклідів у будівництві», але не визначений обсяг необхідної апріорної інформації і метод рішення цього завдання.

Діюча система забезпечення радіаційної якості житла відповідає лише традиційно-гігієнічним вимогам і виконує лише функцію забезпечення радіаційної якості будівельної продукції. Для виконання системою функцій керування і підвищення радіаційної якості продукції, яку випускають, необхідно використати організаційно-технологічні можливості закладки його на всіх стадіях життєвого циклу виробництва. При цьому найбільший ресурс радіаційної якості в продукцію будівельного виробництва при найменших витратах можна закласти тільки на стадії проектування будинку (спорудження), коли повною мірою реалізуються можливості функції керування за рахунок реалізації захисних заходів.

Для цього система забезпечення радіаційної якості житла повинна бути доповнена ланками, як по виконуваних функціях, так і по регламентованих параметрах (табл. 2.3).

Таблиця 2.3

**Регламентовані радіаційні параметри будівельного виробництва,  
необхідні для керування радіаційною якістю продукції**

Етапи життєвого циклу будівельного виробництва	Регламентовані радіаційні параметри (ДБН В.1.4)	Припустимі рівні параметрів	СРКБВ, що задовольняє вимогам ДСТУ-ISO-9000-95		
			забезпечувати	управляти	підвищувати якість
1	2	3	4	5	6
1. Видобуток будівельної сировини і матеріалів	Ефективна питома активність $A_{efcc}(cu)$ , Бк/кг	$\leq 370$	$A_{efcc} \leq 370$	$A_{efcc} < A_{ef.cc}^{ку}$	$\downarrow A_{ef.cc}^{ку} (t)$
2. Виготовлення будівельних виробів (конструкцій)			$A_{efcu} \leq 370$ $q_{ексх.ок} < q_{доп.ексх} (Бкхм^{-2}xc^{-1})$	$A_{efcu} \leq A_{ef.си}^{ку}$ , $q_{ексх.ок} < q_{ку.ексх.си}$	$\downarrow A_{ef.си}^{ку} (t)$ , $\downarrow q_{ексх.си}^{ку}$

1	2	3	4	5	6
3. Зведення будинку					
3а. Нульовий етап робіт із закладки підвалини і фундаменту будинку на земельній ділянці будівництва	—————	—————	$q_{\text{ексх.гр}} \leq \leq q_{\text{доп.ексх.гр}}$ (Бкхм <sup>-2</sup> хс <sup>-1</sup> )	$q_{\text{ексх.гр}} \leq \leq q_{\text{ку.ексх.гр}}$ (Бкхм <sup>-2</sup> хс <sup>-1</sup> )	$\downarrow q_{\text{ексх.гр}}^{\text{ку}}$ (t)
3б. Зведення будинків і споруджень (будівельно-монтажні і опоряджувальні роботи)	Потужність поглиненої дози в приміщенні ППД <sub>прим</sub> , мкГр/год	≤0,26	ППД <sub>прим</sub> ≤ ≤0,26	ППД <sub>прим</sub> < ППД <sub>прим</sub> <sup>ку</sup>	$\downarrow$ ППД <sub>прим</sub> <sup>ку</sup> (t)
	Еквівалентна рівноважна об'ємна активність радону ЕРОА <sub>прим</sub> , Бк/м <sup>3</sup>	≤50	ЕРОА <sub>Rn</sub> ≤ 50	ЕРОА <sub>прим</sub> ≤ ≤ЕРОА <sub>прим</sub> <sup>ку</sup>	$\downarrow$ ЕРОА <sub>прим</sub> <sup>ку</sup> (t)

Керування рівнем радіаційної якості житла відповідно до вимог ISO-9000 досягається регульованим контролем радіаційних параметрів на всіх етапах технологічного циклу виробництва за допомогою реалізації захисних заходів, що забезпечують установаження рівнів контрольних регламентованих радіаційних параметрів.

#### 2.4. Вимоги Норм радіаційної безпеки України (НРБУ-97) по забезпеченню радіаційної якості житлових будинків

Іонізуючі випромінювання джерел (ІВД) будівельного виробництва, незважаючи на порівняно малий вміст ПРН в них, домінують по внеску у величину сумарної ефективної дози опромінення людини серед інших груп джерел. Отже, діюча система радіаційного контролю будівельного виробництва (СРКБВ), як механізм забезпечення рівня радіаційної якості продукції, не повною мірою відповідає міжнародним вимогам системи якості продукції, що випускається, по виконуваних функціях (забезпечення, керування, підвищення) і ключовим аспектам її закладки якості на етапах

життєвого циклу будівельного виробництва. Порозумівається це тим, що рівень апріорної інформації про іонізуючі джерела будівельного виробництва до початку технологічного циклу зведення будинку не дозволяє контролювати і прогнозувати радіаційну обстановку в приміщеннях будинку.

Це не відповідає вимозі ХХІ століття «передбачати і попереджати» небажані зміни в навколишнім середовищі для людини, викликані, в основному, техногенними факторами. Оскільки їхній вплив повністю виключити не можна, то необхідно зменшити нанесений ними збиток і втрати на основі забезпечення прийняттого рівня ризику для населення за допомогою захисних заходів.

Для запобігання забруднення і компенсації наслідків впливу техногенних джерел на навколишнє середовище суспільство свідомо несе додаткові витрати, які відповідають економічному збитку від забруднення. Ці витрати спрямовані як на зниження забруднення навколишнього середовища, так і на поліпшення умов життя людей (соціально-економічний ефект).

Для сучасного етапу стан продуктивних сил і природних ресурсів характерне домінування економічних цілей - оцінка впливу якості навколишнього середовища на економічну систему. Це визначає необхідність перекладу зміни навколишнього середовища під вплив техногенних факторів у вартісну оцінку ефекту, що адекватно відображає відповідні зміни в економічній системі. Поліпшуючи умови життєдіяльності за рахунок використання природних ресурсів, людина завжди при цьому завдає шкоди показникам навколишнього середовища. Таким чином, захист від будь-якого виду антропогенного забруднення навколишнього середовища, у тому числі і створюваний радіаційний фон у приміщеннях будинків, вимагає соціально-економічної оцінки.

Радіаційна безпека об'єктів будівництва, відповідно до вимог нормативно-правових документів в Україні, може бути реалізована керуванням рівнів регламентованих радіаційних параметрів іонізуючих джерел та у приміщеннях будинку на основі захисних заходів. Застосування захисних заходів вимагає певних грошових витрат і вважається доцільним, якщо користь від їхньої реалізації для суспільства була більше нанесеного економічного збитку.

Так ухвалення рішення на реалізацію захисного заходу для підвищення радіаційної якості житла можливо на основі зіставлення одержуваної користі ( $-\Delta Y_i^j$  – зменшення збитку здоров'ю населення) і

## РОЗДІЛ 2

---

шкоди ( $X^j$  грн, – витрати на реалізацію  $j$ -го захисного заходу). Ефективність реалізації захисного заходу оцінюється по співвідношенню «користь-шкода»:

$$- \Delta Y_i^j < X^j, \quad (2.1)$$

що мають, різні одиниці виміру.

Користь від реалізації  $j$ -го захисного заходу оцінюється величиною відверненої дози опромінення  $\Delta H_{ef}$ , мЗв/рік:

$$\Delta H_{ef}^j = H_{ef,real}^j - H_{ef}^j, \quad (2.2)$$

обумовлену як різниця між реальною дозою опромінення  $H_{ef,real}$  і зменшена доза при реалізації  $j$ -го захисного заходу  $H_{ef}^j$ .

Грошовий еквівалент  $a_i$  для перекладу показника користі  $\Delta H_{ef}^j$  від реалізації  $j$ -го захисного заходу у вартісну форму має розмірність грн х рік/Зв х чол.

Забезпечення радіаційної безпеки будівельного виробництва іонізуючого джерела, що домінує, по внеску в сумарну ефективну дозу опромінення населення, досягається реалізацією захисних заходів, які повинні відповідати вимогам принципів радіаційного захисту людини:

- доцільності – користь від проведення даного  $j$ -го захисного заходу для суспільства або окремої людини повинна бути більше, ніж сумарний збиток (економічний, медичний, соціально-психологічний):

$$(a^j \times \Delta H_{ef}^j) > X^j; \quad (2.3)$$

- неперевищення – повинні бути використані всі можливі захисні заходи  $\sum_{j=1}^n H_{efj}$  для зниження індивідуальних доз опромінення людини  $H_{ef}$  нижче рівня граничних значень детермінованих ефектів:

$$\left( H_{ef} - \sum_{i=1}^n \Delta H_{ef}^j \right) < H_{ef}^{nop}; \quad (2.4)$$



- оптимізації – обсяг проведених захисних заходів повинен вибиратися так, щоб різниця між одержуваною користю для суспільства і сумарним збитком була не тільки позитивною, але й максимальною:

$$\left( \sum_{j=1}^n a_i^j \times \Delta H_{\text{еф}}^j - \sum_{j=1}^n X^j \right) > 0 \text{ (max)}. \quad (2.5)$$

При оцінці ефективності реалізації захисних заходів для підвищення радіаційної якості житла необхідно опиратися на положення МКРЗ:

- опромінення колективною ефективною дозою в 1 чол х Зв приводить до потенційного збитку, рівних 1 чол х рік життя населення;
- величина грошового еквівалента втрати 1 чол х Зв встановлюється в розмірі 1 річного душевого національного доходу;
- один безпороговий стохастичний ефект викликає скорочення тривалості повноцінного життя в середньому на 15 років.

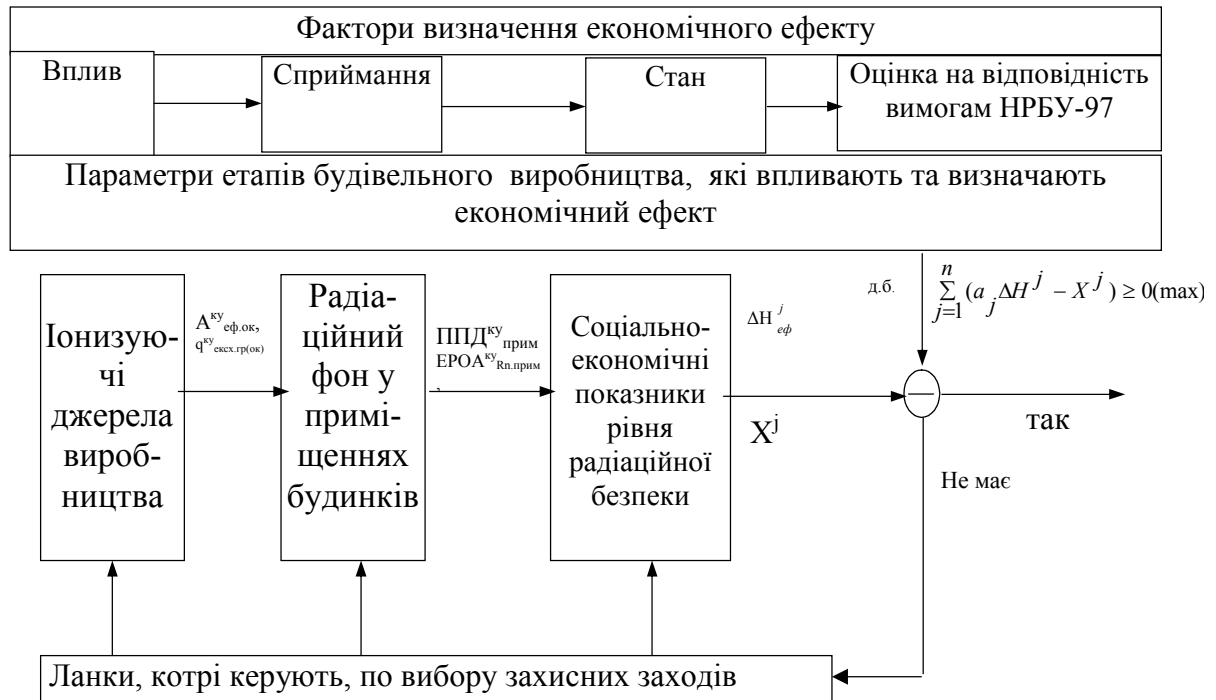
Рішення завдання підвищення радіаційної якості об'єктів будівництва відповідно до соціально-економічних вимог концепції радіаційного захисту людини та принципам НРБУ-97 в умовах обмежених ресурсів на реалізацію захисних заходів базується на розробці структурної моделі будівельного виробництва, що описує процес формування радіаційного фону в приміщеннях будинку під впливом іонізуючих джерел, на окремих етапах циклу виробництва і відповідаючої принципам радіаційного захисту людини; на забезпечення такого сполучення керуючих змінних (захисних заходів) при заданих параметрах іонізуючих джерел виробництва, що відповідає принципу оптимізації радіаційного захисту людини (табл.2.4).

Соціально-економічні показники принципів НРБУ-97 захисту людини заставляються і реалізуються на всіх етапах будівельного виробництва шляхом керування рівнем регламентованих радіаційних параметрів на основі реалізації комплексу захисних заходів. При цьому зниження рівня регламентованих параметрів забезпечує виконання принципу оптимальності - досягнення потенційного рівня радіаційної якості житла з урахуванням можливостей захисних заходів.

**Принципи радіаційного захисту людини і їхній зв'язок з  
керованими радіаційними параметрами  
будівельного виробництва**

Принципи радіаційного захисту людини і їхні показники			Керовані радіаційні параметри етапів будівельного виробництва за допомогою захисних заходів		
Принцип захисту	Умови реалізації	Відповідують умові	Іонізуючі джерела будівельного виробництва		Зведення будинку
			будівельні матеріали	грунт, що підстилає, під будинком	
Доцільності	$(\alpha^j \times \Delta H)_{ef}^j > \Delta X^j$	необхідності	$A_{ef.ci}^j \leq A_{ef.ci}^{доп}$ $q_{ексх.рн}^j \leq q_{ексх(сi)}^{доп}$	$q_{ексх.зр}^j \leq q_{ексх.зр}^{доп}$	$ППД_{прим}^j \leq$ $ППД_{прим}^{доп}$ ; $ЕРОА_{прим}^j \leq$ $ЕРОА_{прим}^{доп}$
Неперевищення	$H_{ef} - \sum_{j=1}^n H_{ef} < H_{ef}^{порог}$	необхідності	$A_{ef.ci}^j \leq A_{ef.ci}^{доп}$ $q_{ексх.сi}^j \leq q_{ексх(сi)}^{доп}$	$q_{ексх.зр}^j \leq q_{ексх.зр}^{доп}$	$ППД_{прим}^j \leq$ $ППД_{прим}^{доп}$ ; $ЕРОА_{прим}^j \leq$ $ЕРОА_{прим}^{доп}$
Оптимізація	$\Sigma(\alpha^j \times \Delta H)_{ef}^j - X^j \geq 0(\max)$	достатності	$A_{ef.ci}^j \leq A_{ef.ci}^{кв}$ $q_{ексх.сi}^j \leq q_{ексх(сi)}^{кв}$	$q_{ексх.зр}^j \leq q_{ексх.зр}^{доп}$	$ППД_{прим}^j \leq$ $ППД_{прим}^{РКУ}$ ; $ЕРОА_{прим}^j \leq$ $ЕРОА_{прим}^{РКУ}$

Структурна схема формування інформаційної оцінки соціально-економічного ефекту при реалізації захисних заходів на всіх етапах будівельного виробництва наведена на мал. 2.7.



**Мал. 2.7. Інформаційна модель оцінки соціально-економічного ефекту від реалізації захисних заходів щодо зменшення впливу іонізуючих джерел виробництва**

## 2.5. Контрольні питання

1. Чим можна пояснити зростання рівня радіаційної небезпеки для людини на сучасному етапі розвитку суспільства?
2. Які положення сучасної концепції радіаційного захисту людини підтверджують домінуючий внесок іонізуючих джерел будівельного виробництва в сумарну ефективну дозу опромінення?
3. Чим досягається керування рівнем радіаційної якості житлового середовища відповідно до вимог ISO-9000?
4. У чому розходження підходів до забезпечення радіаційної безпеки для індустріальної та техногенно-підвищеної групи іонізуючих джерел?
5. Дотриманням яких принципів НРБУ-97 досягається припустимий і контрольний рівень радіаційного ризику житлового середовища?

## РОЗДІЛ 3

### **Характеристика джерел іонізуючих випромінювань будівельного виробництва і створюваного ними радіаційного фону в приміщеннях будинку**

#### **3.1. Радіоактивність мінеральних видів сировини і матеріалів**

Основою будівельного виробництва служить використання мінеральних видів гірських порід і відходів промисловості.

Гірські породи діляться по своєму походженню (мал.3.1) на три основні групи:

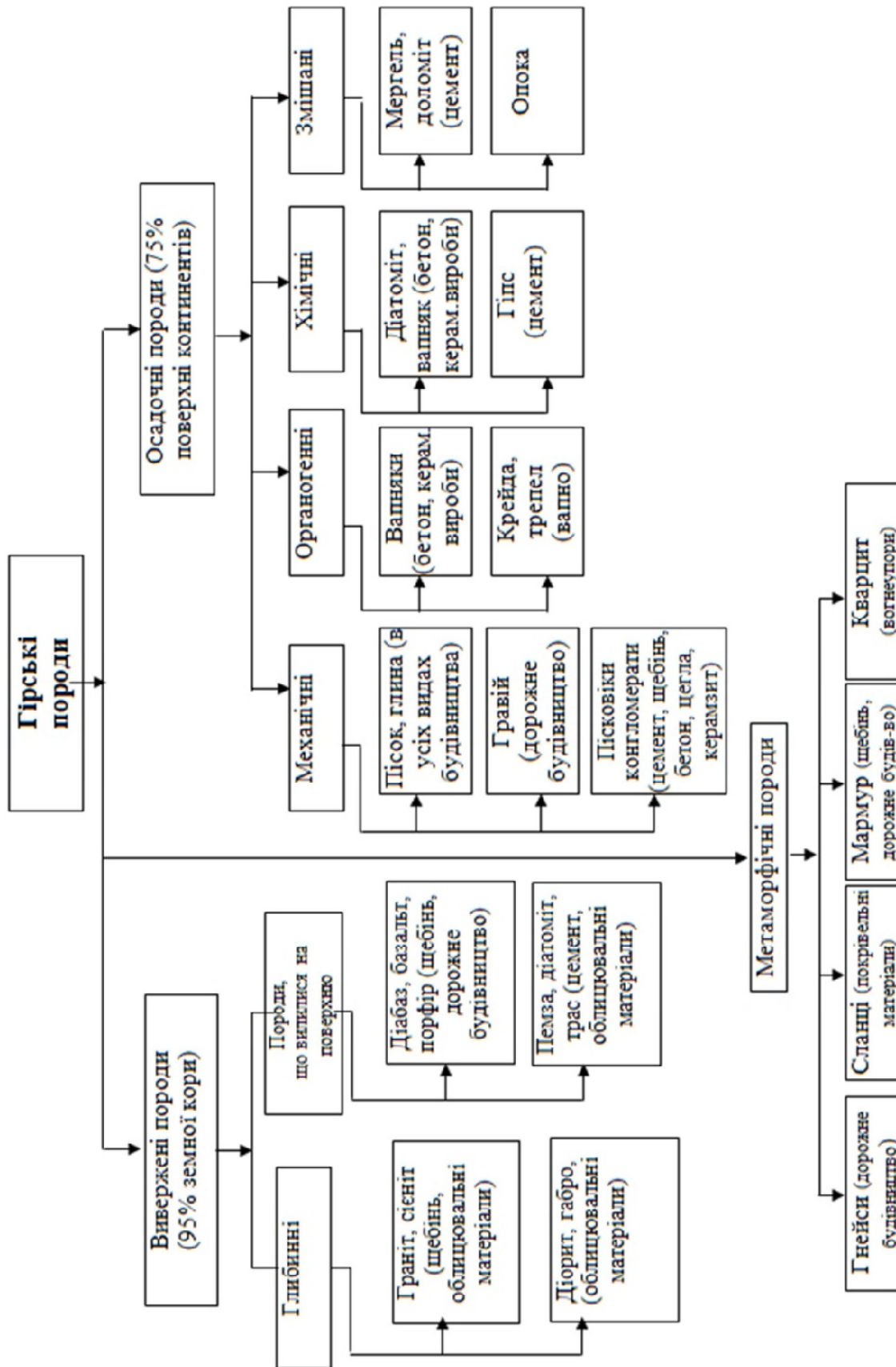
- вивержені (магматичні);
- осадові;
- метаморфічні.

У будівельному виробництві в основному використовуються осадові і вивержені шари літосфери.

Вивержені породи, що утворилися в результаті остигання вогненно-рідкої магми, становлять 95 % маси земної кори. Вони покриті зверху шаром осадових порід, які по площі поширення на поверхні континентів становлять 75 %.

Вивержені породи, у свою чергу, діляться на глибинні і що вилилися. Із глибинних порід виділяють граніт, сиеніт, діорит, габро, які застосовуються як важкі заповнювачі в бетоні, у дорожнім будівництві і як оздоблювальні матеріали, породи-діабази, що вилилися, базальти порфіри застосовуються при виробництві дорожніх покриттів. Породи вулканічного походження: пемза, діатоміт, трас - застосовуються для виробництва цементу в якості активних мінеральних добавок, туф - для випуску конструкцій, що обгороджують, і ін.

Осадові породи механічного походження - валунний камінь, гравій, пісок, глина служать найважливішою сировиною для виробництва багатьох будівельних матеріалів, виробів і конструкцій. Зцементовані в природних умовах піщаники та конгломерати застосовуються при виготовленні стінових панелей, також як заповнювачі бетону. Вапняк, діатоміт, трепел - породи органогенного походження застосовуються при виробництві бетонних і керамічних виробів.



Мал. 3.1. Области застосування гірських порід у будівництві

У процесі формування земної поверхні осадові породи поступово опускалися на більшу глибину і під дією високих температур і тисків перетерплювали зміни, у результаті яких утворилися метаморфічні породи. Для будівельних цілей з метаморфічних порід широко застосовуються: гнейси, пов'язані з метаморфозою гранітів; сланці, що утворилися в результаті перетворення глин; кристалічний мрамур, що виник з вапняку без зміни властивостей й ін.

Радіаційні властивості гірських порід оцінюються вмістом природних радіонуклідів в них і мають виражені регіональні відмінності. Вміст домінуючих ПРН (радію-226, торія-232, калію-40) у будівельних матеріалах оцінюється їхньою питомою активністю  $A_{y\partial Ra}$  (Th, K),  $\frac{Bк}{кг}$ , а також сумарною ефективною питомою активністю  $A_{ef}$ ,  $\frac{Bк}{кг}$ :

$$A_{ef} = A_{y\partial Ra} + 1,31 \times A_{y\partial Th} + 0,085 \times A_{y\partial K} , \quad (3.1)$$

де 1,31; 0,085 - коефіцієнти, що зважують, торія-232, калію-40 стосовно до радію-226 відповідно для розрахунку дози зовнішнього випромінювання (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

**Дозові коефіцієнти для розрахунку зовнішньої дози  
випромінювання від ПРН у ґрунті**

Радіонуклід	Потужність поглиненої дози в повітрі на одиничну концентрацію активності радіонуклідів у ґрунті, $10^{-10}$ Гр/г на 1 Бк/кг ґрунту
$^{40}K$	0,43
$^{226}Ra$	5,05
$^{232}Th$	6,62

Домінуюче місце радію-226, торія-232 і калію-40 серед інших ПРН, що входять до складу мінеральних видів гірських порід, порозумівається наступним:

- це довгоживучі радіонукліди, їхні періоди напіврозпаду значно перевищують строки експлуатації будинків, що визначає значимість закладених їхніх рівнів питомих активностей у використанні будівельні матеріали;

- дані радіонукліди є високоенергійними джерелами іонізуючих випромінювань, що обумовлюють величину зовнішньої і внутрішньої складової ефективної дози опромінення;

- продуктами розпаду радію - 226 і торія - 232 є радіоактивні гази ізотопи радону (радон - 222 і радон - 220), які дають найбільший внесок у величину ефективної дози опромінення людини й ін.

Більш повна характеристика радіонуклідів  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  наведена в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

### Характеристика природних радіонуклідів, що домінують у будівельних матеріалах і сировині

Радіонуклід	Період напіврозпаду $T_{1/2}$	Енергія випромінювання, МеВ (% вмісту)	Питома активність чистої маси радіонукліда Ауд.рн, Бк/кг
Радій-226 ( $^{226}_{88}\text{Ra}$ )	1600 років	$E_{\alpha}=4,8(96)$ $E_{\gamma}=0,186(4)$	$3,65 \cdot 10^{13}$
Торій-232 ( $^{232}_{90}\text{Th}$ )	$1,4 \cdot 10^{10}$ років	$E_{\alpha}=3,96(98)$ $E_{\gamma}=0,09$	$4,03 \cdot 10^6$
Калій-40 ( $^{40}_{19}\text{K}$ )	$1,28 \cdot 10^9$ років	$E_{\beta}=1,3(89)$ $E_{\gamma}=1,46(11)$	$2,56 \cdot 10^8$

Середнє значення радіаційних параметрів окремих видів гірських порід по даним МКРЗ наведено в табл. 3.3.

Діапазон зміни ефективної питомої активності ПРН у гірських породах, використовуваних у будівельному виробництві, досить широкий 41-603 Бк/кг. При цьому ефективна питома активність ПРН у значній частині будівельних матеріалів і сировини перевищує даний параметр ґрунту і земної кори, особливо для бокситів, гранітів, глин, гнейсів, сланців та інших гірських порід.

До складу гірських порід, які є основою сировини для будівельного виробництва, входять радіоактивні ізотопи хімічних елементів, що виникли в період формування і розвитку планети. Вплив безперервних деструктивних процесів метеорологічного, гідрологічного, геохімічного і вулканічного характеру на структуру гірських порід привело до широкого розсіювання радіоактивних речовин. У будь-якому обсязі земної речовини втримується в

## РОЗДІЛ 3

розсіяному стані кілька десятків хімічних елементів, у тому числі і їх природних радіоактивних ізотопів. Так для гірських порід, що утворюють товщу земної кори, характерно найбільший вміст у них калію-40 (0,3-2,6%), торія-232 ( $1,3 \cdot 10^{-4}$ - $12 \cdot 10^{-4}$ %), урану-238 ( $6,3 \cdot 10^{-3}$  –  $4 \cdot 10^{-4}$ %), радію-226 ( $0,5 \cdot 10^{-10}$ - $1,3 \cdot 10^{-10}$ %).

Таблиця 3.3

### Питома активність природних радіонуклідів у породах, ґрунті і земній корі

Порода	Питома активність, Бк/кг			$A_{ef}$ , Бк/кг
	радій-226	торій-232	калій-40	
Граніт	78	74	999	260
Діабаз	18	18	148	55
Базальт	33	26	370	98
Кварцепорфір	85	96	1517	340
Кварцит	30	33	629	126
Вапняк, мармур	18	15	37	41
Глиністий сланець	56	67	666	212
Боксит	104	333	740	603
Пісок, гравій	26	22	333	83
Глина	18	111	1221	267
Гнейси	40	62,9	1036	208
Ґрунт	25	28	529	107
Земна кора	33	39	659	140

Мінералогічний состав ряду гірських порід, використовуваних у будівельному виробництві, наведений у табл. 3.4.

Природні радіонукліди будівельних матеріалів конструкцій, що обгороджують, будинку і ґрунтів, що підстилають, створюють зовнішню і внутрішню складові ефективної дози опромінення людини в приміщеннях будинку. При цьому доза зовнішнього опромінення істотно залежить від концентрації гама-випромінювачів, що входять у радіоактивні ряди урану-238 і торія-232, а також калію-40 (табл. 3.5).

З них помітний внесок дають у загальне гама-випромінювання в умовах, близьких до рівноваги всього п'ять. Це  $^{214}Pb$  с енергією основної лінії 295 кеВ і виходом 19,2 %;  $^{214}Bi$  з енергіями 609 кеВ, 1120 кеВ і 1764 кеВ і виходами відповідно 46 %; 15 % і 16 % з ряду  $^{238}U$ ;  $^{228}Ac$  із енергіями 911 кеВ і 969 кеВ і виходами 29 % і 17,5 %;  $^{208}Tl$  з енергіями 511 кеВ, 583 кеВ і 2614 кеВ і виходами 21,6, 85,8 % і 99,8 % відповідно;  $^{212}Pb$  с енергією 238,6 кеВ і виходами 43,6 % з ряду  $^{232}Th$ .



Таблиця 3.4

**Хімічний склад деяких мінеральних видів  
будівельної сировини з урахуванням їх радіоактивності**

Найменування	Щільність кг/м <sup>3</sup>	Вміст хімічних елементів, кг/м <sup>3</sup>															
		H	O	B	C	Na	Mg	Al	Si	Ca	Fe	S	<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th	<sup>40</sup> K		
1. Пісок	1738	-	860	0	8	70	14	105	595	42	44	-	$5.7 \cdot 10^{-10}$ $1.73 \cdot 10^{-8}$	$1.4 \cdot 10^{-2}$ $1.1 \cdot 10^{-1}$	$2.5 \cdot 10^{-3}$ $3.21 \cdot 10^{-2}$		
2. Глина	1800	10	940	-	2	-	14	273	431	117	12	1	$2 \cdot 10^{-9}$ $1.8 \cdot 10^{-8}$	$3.5 \cdot 10^{-2}$ $1.15 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-3}$ $3.34 \cdot 10^{-2}$		
3. Суглинок	1900	9	1022	-	3	-	17	296	416	121	14	2	$1.4 \cdot 10^{-9}$ $1.9 \cdot 10^{-8}$	$2.5 \cdot 10^{-2}$ $1.2 \cdot 10^{-1}$	$2.4 \cdot 10^{-3}$ $3.5 \cdot 10^{-2}$		
4. Граніт-порода	2500	8	1240	-	-	-	33	127	783	139	156	13	$3 \cdot 10^{-9}$ $2.5 \cdot 10^{-8}$	$4.3 \cdot 10^{-2}$ $1.6 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-2}$ $4.65 \cdot 10^{-2}$		
5. Андезит-порода	2500	2	1195	-	-	-	186	265	690	21	140	-	$1.7 \cdot 10^{-9}$ $2.5 \cdot 10^{-8}$	$2.2 \cdot 10^{-2}$ $1.6 \cdot 10^{-1}$	$4.2 \cdot 10^{-3}$ $4.65 \cdot 10^{-2}$		
6. Мармур-порода	2500	4	1232	-	301	-	30	-	-	946	11	-	$9.4 \cdot 10^{-9}$ $2.5 \cdot 10^{-8}$	$4.3 \cdot 10^{-3}$ $1.6 \cdot 10^{-1}$	$6.4 \cdot 10^{-1}$ $4.65 \cdot 10^{-2}$		
7. Вапняк-порода	2400	-	1175	-	253	-	14	11	22	909	10	3	$1.1 \cdot 10^{-9}$ $2.4 \cdot 10^{-8}$	$4.1 \cdot 10^{-3}$ $1.53 \cdot 10^{-1}$	$1.1 \cdot 10^{-3}$ $4.46 \cdot 10^{-2}$		
8. Гіле	2300	52	1276	-	-	-	-	-	431	538	-	-	$2.8 \cdot 10^{-8}$ $2.3 \cdot 10^{-8}$	$8 \cdot 10^{-3}$ $1.47 \cdot 10^{-1}$	$1.7 \cdot 10^{-3}$ $4.2 \cdot 10^{-2}$		

**Інтенсивність гама-випромінювання рядів радію-226  
і торія-232 та їхніх дочірніх продуктів розпаду**

Радіонуклід	$E_{\gamma}$ , MeV	Число фотонів на 100 розпадів
<u>Радій-226</u>	0,186	3,28
Свинець-214	0,242	7,46
Вісмут-214	0,609	46,1
	1,120	15,0
	1,765	15,9
<u>Торій-232</u>	0,059	0,191
Актиній-228	0,338	12,0
	0,911	29,0
	0,969	17,5
Свинець-212	0,238	44,6
Вісмут-212	0,727	11,8
Талій-208	0,510	21,6
	0,583	85,8
	0,860	12
	2,615	99,8
Калій-40	1,46	15,3

Внутрішнє опромінення організму людини обумовлено радіонуклідами, що попадають в організм разом з повітрям, водою і їжею. Найбільший внесок у величину внутрішньої ефективної дози опромінення  $H_{ef.внутр.}$ , мЗв/рік, вносять альфа- і бета-випромінюючі радіонукліди (ізотопи радону і їхні дочірні продукти розпаду).

Ріст чисельності населення планети вимагає збільшення масштабів будівництва. Це обумовило необхідність вишукування найбільше економічно вигідних будівельних матеріалів. У будівельній індустрії стали успішно застосовуватися відходи промисловості (шлаки чорної і кольорової металургії; шлаки хімічної промисловості; золи та шлаки ГРЕС, ТЕС й ін.).

Шлаки відходів чорної металургії використовуються для виготовлення дорожніх щебенів, легкого заповнювача для бетонів, тепло- і звукоізоляційних матеріалів, вони служать гарними компонентами при виробництві стінових панелей і блоків, керамічних виробів. З відходів хімічної промисловості в будівництві використовують шлаки, фосфогіпс, що утворюються при обробці фосфатних руд. Фосфогіпс заміняє натуральний гіпс у будівельній промисловості і застосовується при виробництві блоків, панелей, перегородок, а також цементу. З відходів ТЕС найбільше застосування

одержали золи і шлаки для виробництва керамічних виробів, цементу, бетону.

Питома активність ПРН у відходах промислового виробництва (табл.3.6.) визначається активністю ПРН у вихідному матеріалі і їхній зольності.

Таблиця 3.6

**Питома активність ПРН у відходах промислового виробництва (середні значення та діапазон варіювання)**

Тип відходів	Питома активність ПРН, Бк/кг			Аеф, $\frac{Бк}{кг}$
	радію-226	торія-232	калію-40	
1. ТЕС:				209(130-314)
- зола	82(50-122)	65(40-102)	432 (289-624)	209(130-314)
- шлаки	74 (48-95)	62(93-144)	463 (344-588)	200(203-340)
2. Металургія:				
– шлак домений	89(15-215)	38(8-91)	159(15-634)	154(34-396)
- шлак конверторний	20(12-39)	6 (4-7)	39 (28-49)	32(20-53)
- шлаки кольорової металургії	23 (3-34)	25(3-134)	111(48-408)	65(54-240)
3. Хімічна промисловість:				
- шлаки	192(90-226)	17(4-20)	115(78-168)	225(102-267)
- фосфогіпс	120 (85-170)	29(7-136)	26(7-136)	185(115-260)
4. Хвости ГОК	23 (7-24)	8(7-41)	340 (78-424)	66(23-115)

Більше високі значення питомої активності ПРН у промислових відходах у порівнянні з вихідним матеріалом порозуміваються процесом росту їхньої концентрації в мінеральному залишку в процесі технологічного виробництва. Так, при середній питомій активності ПРН у куті 50 Бк/кг для  $^{40}K$  і 20 Бк/кг для  $^{238}U$  й  $^{232}Th$ , ці рівні для вугільної золи (при зольності 13 %) становлять 400 і 150 Бк/кг відповідно. У порівнянні з будівельними матеріалами, що традиційно застосовуються як мінеральні, у матеріалах з використанням відходів виробництва середній рівень питомої активності для  $^{40}K$  буде таким самим, а для  $^{238}U$  і  $^{232}Th$  значно вище (в 4-6 разів). Це веде до підвищення дози опромінення людей при знаходженні їх у приміщеннях, зібраних з будівельних виробів (конструкцій) з використанням промислових відходів.

Широке використання відходів промисловості в будівельній індустрії дозволяє знизити сумарні витрати на будівництво, зберегти

## РОЗДІЛ 3

природні ресурси, зменшити забруднення навколишнього середовища, але в виготовлених будівельних матеріалах (виробах) з їхнім застосуванням зростає ефективна питома активність ПРН - потрібний обов'язково попередній радіаційний контроль використовуваних відходів промисловості.

Результати широкомасштабних досліджень по оцінці питомої активності ПРН у будівельних матеріалів, проведені в ряді країн і узагальнені МКРЗ, представлені в табл. 3.7.

Таблиця 3.7

### Питома активність природних радіонуклідів у різних будівельних матеріалах

Будматеріали	Країна	Число зразків	Питома активність, Бк/кг			Аеф., Бк/кг
			<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th	<sup>40</sup> K	
1	2	3	4	5	6	7
<b>Будівельний камінь</b>						
Граніт	Великобританія	7	89	81	111	204
Мармур	Угорщина	2	18	11	74	38
Граніт	Німеччина	32	100	80	1299	319
Базальт	Німеччина	15	33	37	444	119
Туф. Пемза	Німеччина	20	111	126	1073	267
Сланець	Німеччина	8	44	56	888	192
Вапняк мармур	Німеччина	20	<18	<18	37	<45
Піщаники кварцит	Німеччина	18	<33	<33	480	<117
<b>Заповнювачі бетону</b>						
Пісок, гравій	Німеччина	59	<15	<18	241-340	50-60
Роздутий сланець	Німеччина	11	41	67	555	176
Пісок, гравій	Фінляндія	166	37	43	1054	183
Щебені	Швеція	296	48	73	818	214
Керамзит	Швеція	-	144	158	10	351
Пісок, гравій	Великобританія	10	4	7	33	16
Пісок	США	4	30	30	444	107
Керамзит	Норвегія	12	52	56	810	194
Керамзит	Угорщина	1	41	63	630	178
<b>В'язкі</b>						
Цемент	США	4	18	11	111	41
Цемент	Великобританія	6	22	18	155	59
Гіпс	Великобританія	75	22	7	141	43
Клінкер	Норвегія	6	96	59	814	242
Цемент	Норвегія	4	30	18	241	74
Гіпс	Норвегія	2	11	3	11	16
Цемент	Угорщина	12	26	18	149	63
Цемент	Німеччина	14	26-55	18-23	241-326	70-111
Вапно	Німеччина	8	30-44	20-58	81-85	75-162

Продовження табл.3.7

1	2	3	4	5	6	7
Гіпс	Німеччина	23	<18	7-10	74-96	24-36
Цемент	Фінляндія	7	44	26	241	98
Гіпс	Фінляндія	1	7	2	26	12
Цемент	Швеція	-	55	47	241	137
Гіпс	Швеція	-	4	1	22	7
<b>Бетон</b>						
Легкий бетон	Великобританія	10	59	26	370	124
Бетон	США	4	26	18	296	75
Бетон	Норвегія	137	28	36	651	130
Бетон	Угорщина	30	11	15	183	47
Легкий бетон	Фінляндія	2	49	36	370	137
Легкий бетон	Швеція	-	55	18	299	104
Бетон	Німеччина	30	35	32	344	106
Газобетон	Німеччина	1	16	26	377	78
<b>Глиняні вироби</b>						
Цегла	Тайвань	-	47	65	577	181
Черепиця	Тайвань	-	53	60	448	170
Цегла	Великобританія	25	52	44	703	170
Цегла	Норвегія	18	63	74	1136	257
Цегла	Угорщина	15	44-52	44-52	592-629	162
Вогнетривка цегла	Угорщина	1	44	78	666	263
Черепиця	Угорщина	1	74	56	777	213
Цегла	Німеччина	109	59	60-67	673-722	203
Шамот	Німеччина	9	59	89	407	205
<b>Силікатні вироби</b>						
Цегла	Великобританія	13	15	4	333	48
Цегла	Угорщина	26	48	52	629	169
Цегла	Німеччина	22	11-26	6-18	228-270	42-70
Цегла	Фінляндія	3	22	23	577	110
<b>Сировина і будматеріали на основі відходів промисловості</b>						
Зола	США	-	81	19	444	143
Зола	США	-	92	15	1590	243
Зола	США	-	96	18	407	155
Зола	США	-	155	15	401	170
Відходи уранової промисловості	США	-	4625	-	-	462
Шлаки	США	-	166	18	962	272
Фосфогіпс	США	16	500-1240	-	500-1240	500
Фосфогіпс	Великобританія	60	629	18	41	651
Зола	Польща	19	96-133	21-109	451-629	177-331
Шлаки	Польща	-	67-159	18-44	481-629	132-270
Шлакобетон	Угорщина	2	111	30	185	106
Цемент із золюю	Угорщина	7	56	41	274	133
Плазобетон	Німеччина	31	74	80	710	244

1	2	3	4	5	6	7
Шлакобетон	Німеччина	9	121	101	529	299
Доменні шлаки	Німеччина	12	118	130	518	332
Зола	Німеччина	28	211	129	721	441
Металургійний цемент	Німеччина	3	59	85	148	183
Глиноземистий цемент	Німеччина	2	148	159	37	359
Фосфогіпс апатитовий	Німеччина	2	56	<18	<37	<83
Цегла зі шлаків	Німеччина	23	281	233	337	615
Шлаки	Фінляндія	3	103	69	196	207
Фосфогіпс	Швеція	-	15	82	48	126
Шлаки	Норвегія	6	96	60	818	245
Відходи уранової промисловості	США	-	4652	-	-	4730
Асбоцемент	Німеччина	7	<22	≤22	74	<57
Тинькування	Німеччина	9	≤30	≤26	259	<85
Бітум	Німеччина	4	≤18	≤18	111	<51
Глина	Німеччина	11	48	85	1110	252

Проведений аналіз радіаційних характеристик будівельних матеріалів і сировини за результатами широкомасштабних досліджень у країнах світу показує, що ефективна питома активність різних видів будівельної сировини і матеріалів змінюється в досить широкому діапазоні  $(70-4700) \frac{Бк}{кг}$ .

Необхідно відзначити вплив геологічних умов на величину удільності природних радіонуклідів. Якщо в гірських породах США і Гренландії вміст радію-226 і торія-232 у гранітах дорівнює 32,9 й 59,2 Бк/кг відповідно, то у Фінляндії і Швеції - 173,9 й 244,2 Бк/кг. У межах СНД зустрічаються граніти з вмістом ПРН близьким як до кларкових питомих активностей (регіону Казахстану, Красноярського краю Росії), так і на порядок, що перевищує ці значення (Україна - Український кристалічний щит, Росія - Балтійський щит).

Значна частина території України ( $\leq 35\%$ ) розташована на Українському кристалічному щиті, що визначило наявність ряду великих родовищ нерудних мінералів (червоні і сірі граніти, лабродити, габро, мармур, вапняк й ін.), де розгорнуте широке виробництво будівельних матеріалів. Це спричиняє винос значної кількості ПРН на земну поверхню і підвищення потужності дози гама-випромінювання ґрунту. У табл. 3.8. для порівняння представлені середні значення питомої активності ПРН у будівельних матеріалах України і Росії.

Таблиця 3.8

**Питома активність ПРН у гірських і будівельних матеріалах України та Росії**

Вид матеріалу	Питома активність, Бк/кг			$A_{ef}$ , Бк/кг
	радію-226	торія-226	калію-226	
Для земної кори:	33	39	656	140
<b>Україна:</b>				
Щебені	36,6	79,3	971	223
Гранітне відсівання	43	118,2	1171	297,3
Гравій керамзитовий	37	28	658	130
Бетон	25	36	380	106
Цегла	44	51	704	171
Глина	41	76	574	284
Пісок	12	33	165	68
Плитка керамічна	89	102	680	280
Щебені	60	125	1161	322
Будматеріали (середнє)	27,8	32,6	407	105,1
<b>Росія:</b>				
Ґрунт	25	28	529	106
Глина	20,4	33,7	444	102,2
Бетон легкий	21,8	15,2	185	55,3
Бетон важкий	23,7	16,7	277	70,3
Пісок	7,8	12,3	192,4	40,3
Щебені з:				
- доломітів і вапняків	12,6	4,8	40,7	22,4
- граніту	27,4	25,5	392	126,8
Будматеріали (середнє)	26,6	25,5	392	93

Проведений аналіз радіаційних характеристик будівельних матеріалів і сировини за результатами широкомасштабних досліджень у країнах світу показує, що їх ефективна питома активність змінюється досить у широкому діапазоні з урахуванням геологічних розходжень гірських порід регіонів країн.

### 3.2. Оцінка радіоактивності виготовлених будівельних виробів і конструкцій

Радіоактивність будівельних виробів, що виготовляють як з гірських порід, так і з відходів виробництва, визначається вмістом у них природних радіонуклідів рядів розпаду урану-238 ( $^{238}U$ ), торія-232 ( $^{232}Th$ ), а також калію-40 ( $^{40}K$ ).

Радіоактивність мінералів, як основного джерела природного радіаційного фону Землі, варто розглядати до того, як її торкнулася рука людини. Як тільки мінеральна сировина витягнута з надр Землі і пущена в яку-небудь технологію виробництва (гірничодобувну, виготовлення будівельних матеріалів, зведення споруджень, будинків та ін.), то джерело розглядається як антропогенний, із притаманними йому властивостями.

Будівельні матеріали, використовувані в якості несучих і обгороджуваних конструкцій будинків і споруджень, виготовляються з мінеральних видів будівельної сировини і відходів промисловості. Основними будівельними виробами (конструкціями), застосовуваними в житло-цивільному будівництві є важкі і легкі бетони, що становлять 60-70 % загального обсягу продукції будіндустрії (у великопанельному будівництві до 85 %), силікатна, керамічна цегла та ін. Для виготовлення кожної із зазначених груп будівельних матеріалів потрібні компоненти будівельної сировини, узяті в певнім співвідношенні по масі. Забезпечення необхідних будівельних матеріалів і виробів досягається виконанням певних технологічних операцій, у процесі яких змінюються не тільки їх фізико-механічні, але і радіаційні параметри.

Компоненти будівельної сировини, необхідні їхні маси, %, для виготовлення основних груп будівельних матеріалів житло-цивільного будівництва наведені в табл. 3.9.

Радіоактивність виготовлених будівельних матеріалів визначає зовнішню і внутрішню складові ефективної дози опромінення в приміщеннях будинку. Регламентованими радіаційними параметрами будівельних виробів є ефективна питома активність  $A_{ef.бв}$ , Бк/кг; питома активності радію-226 і торія-232  $A_{y\delta.Ra(Th)}$ , Бк/кг; швидкість ексхаляції радону  $q_{ексх.Rn}$ , Бк/м<sup>2</sup>хс.

Ефективна питома активність природних радіонуклідів виготовлених будівельних виробів, (конструкцій)  $A_{ef.бв}$ , Бк/кг, визначається по формулі:

$$A_{ef.бв} = \frac{\sum_{i=1}^n m_{cci} \times A_{ef.бс}}{m_{бв}}, \quad (3.2)$$

де  $m_{бс}$ ,  $A_{ef.бс}$  – маса і ефективна питома активність, використовуваного  $i$ -го виду будівельної сировини для виготовлення будівельних виробів (конструкцій), кг, і Бк/кг, відповідно;



$m_{об} = \sum_{i=1}^n m_{bc}$  – маса виготовленого будівельного виробу (конструкції), кг.

Таблиця 3.9

**Компоненти будівельної сировини, необхідні  
для виготовлення основних груп будівельних матеріалів**

Будівельний матеріал	Щільність будівельного матеріалу, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Необхідні компоненти будівельної сировини, їхньої маси, %
Важкий бетон	1800-2500	Цемент - 14%, щебені - 56%, пісок - 22%, вода - 8%
Легкі бетони:	500-1800	
Гіпсобетон	1000	Гіпс – 39%, тирса – 25%, вода – 36%
Шлакобетон	950	Цемент (15-17%), шлак доменний - (74-84%), вода - 9%
Пемзобетон	950	Цемент - 15%, пемза - 52%, пісок - 25%, вода - 8%
Пінобетон	880	Цемент – 22%, відходи цементного виробництва – 68%, піноутворювач – 10%
Пензолобетон	860	Цемент – 30%, зола віднесення – 60%, піноутворювач – 10%
Цегла силікатна	1850	Для виготовлення 1000 силікатних цеглин $m=3607$ кг потрібно (пісок кварцовий – 92-94 %, вапно – 6-8%, вода – 215 л)
Цегла керамічна	1600-1700	Для виготовлення 1000 керамічних цеглин потрібно 2,5 м <sup>3</sup> глини ( $m=4000$ кг), після випалу ( $t^0=1000-1200^0$ С) $m=3240$ кг при вмісті води 22%

Ніздрюватий бетон має властивості з однієї сторони каменю, з іншого боку - дерева, тому він визнаний найсучаснішим будівельним матеріалом.

Ніздрюватий бетон - це штучний камінь із рівномірно розподіленими порами, структура якого визначає високі його фізико-механічні властивості і робить його ефективним будівельним матеріалом. Розрізняють пінобетон і газобетон, що складаються з одних компонентів (кварцового піску, цементу, вапна).

**Сировинні матеріали для виготовлення ніздрюватого бетону**

Сировинний матеріал	Часткова потреба, %
Мелений кварцовий пісок	65-75
Негашене вапно	15-25
Цемент	5-15
Алюмінієва паста	0,01-0,1

Пінобетон - легкий ніздрюватий бетон, отриманий у результаті вспінання за допомогою спеціального піноутворювача цементно-піщаного розчину, у який додатково вводяться прискорювачі твердіння, пластифікатори, армуючі добавки з наступним природним твердінням на повітрі.

В одержанні газобетону ключову роль грає активне негашене вапно, у спеціальних змішувачах вона взаємодіючи з меленим піском синтезується на хімічному рівні при високому тиску і температурі в автоклавах у новий мінерал - силікатний бетон - це кристал, що володіє високою міцністю кристалічних ґрат. Цемент потрібний тільки як добавка, що підвищує міцність сирця матеріалу перші години його життя, що забезпечує процес виготовлення ніздрюватого бетону по реазтельної технології. Набір міцності матеріалів відбувається впродовж довгого періоду часу (дуже повільно), в змішувач у склад бетону також вводять у невеликій кількості алюмінієву пудру, що бере участь у процесі утворення газу-водню, що спучує суміш, збільшуючи її в обсязі до 5 разів. Після чого маса надходить в автоклав, де під тиском водяна пара прискорює процес дозрівання газобетону, набираючи необхідну міцність за 8 годин.

Сучасні технології виробництва автоклавного ніздрюватого бетону (АНБ) у порівнянні з технологіями виробництва інших будівельних матеріалів характеризуються малою витратою сировини і електроенергії через його малу щільність.

Неармовані елементи з АНБ переважно застосовуються для зведення несучих зовнішніх і внутрішніх стін, для стін підвалів, фундаментних стін, перегородок і стін, що заповнюють, а також для різного типу перекриттів, як заповнювачі.

Армовані елементи з АНБ застосовуються в якості панелей перекриття і покриття стінових несучих і не несучих панелей, а також як перемички. Розміри армованих елементів з АНБ тах: довжина - 6 м, ширина - 0,6 м, товщина - 100-300 мм.

Ніздрюватий бетон, маючи унікальні фізико-технічні властивості, такі, як пористість, щільність, теплопровідність, паро- і повітропроникність, забезпечує експлуатаційну комфортність приміщень. У табл. 1, 2, 3 наведені порівняльні характеристики АНБ, керамічної і силікатної цегли.

Основними сировинними матеріалами для виготовлення ніздрюватого бетону є кварцовий мелений пісок, негашене вапно, цемент (табл. 3.11).

За рахунок високої ніздрюватої пористості матеріалу відбувається закономірне зниження середньої щільності силікатбетону і підвищення його теплоізоляційних властивостей.

Залежно від заданої міцності і щільності АНБ має широкий діапазон застосування:

- як конструкційний у несучих стінах малоповерхових будинків, у перекриттях, перемичках;
- як конструкційно-теплоізоляційний, застосовуваний у саме несучих зовнішніх стінах і перегородках;
- як утеплювач у вигляді окремого шару в складі зовнішніх стін.

Таблиця 3.11

**Порівняльні показники одношарових зовнішніх стін будинків з мілкоштучних матеріалів**

Матеріал стінового огороження	Середня щільність, кг/м <sup>3</sup>	Товщина стіни, м
Блок з ніздрюватого бетону	600	0,38
	500	0,32
	450	0,30
	400	0,26
Цегла силікатна	1850	2,02
Цегла керамічна	1800	1,62

Практичний опит впровадження і широкого застосування автокланового ніздрюватого бетону показав, що:

- це універсальний матеріал, що може успішно виконувати різні функції від конструктивних до теплоізолюючих;
- він має дуже високі теплозахисні якості, які зберігають свої властивості і при відхиленні від стабільного вологісного режиму;
- завдяки властивості вологовбирання та вологовіддачі він створює унікальні параметри внутрішнього клімату приміщень, найбільше підходить людині, що дуже важливо в перехідні осінньо-весняні періоди до включення і після відключення опалення;

- цей матеріал має гарні звукоізолюючі властивості;
- він має більшу живучість і довговічність, обмежану тими циклами, які невідривні від інших матеріалів;
- застосування АНБ знижує трудомісткість будівництва, і в цьому є ще резерви;
- малоповерхове будівництво, особливо на селі, без ніздрюватого бетону вже немисливо і не ефективно;
- матеріал ефективний і володіє на відміну від дерева і різних утеплювачів капітальністю і довговічністю в експлуатації.

Узагальнені МКРЗ результати вимірів активності природних радіонуклідів будівельних матеріалів у ряді країн наведені в табл. 3.12.

На основі знання діапазонів варіювання ефективної питомої активності ПРН використовуваних видів будівельної сировини України [13] визначені радіаційні параметри будівельних виробів, що виготовляють, (конструкцій), характеризуючі зовнішню складову ефективної дози опромінення в приміщеннях будинків (табл. 3.13).

Таблиця 3.12

**Питома активність природних радіонуклідів будівельних матеріалів у ряді країн світу**

Будматеріали	Країна	Число зразків	Питома активність, Бк/кг			A <sub>эф.</sub> , Бк/кг
			<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th	<sup>40</sup> K	
1	2	3	4	5	6	7
<b>Б е т о н</b>						
Легкий бетон	Великобританія	10	59	26	370	124
Бетон	США	4	26	18	296	75
Бетон	Норвегія	137	28	36	651	130
Бетон	Угорщина	30	11	15	183	47
Легкий бетон	Фінляндія	2	49	36	370	137
Легкий бетон	Швеція	-	55	18	299	104
Бетон	Німеччина	30	35	32	344	106
Газобетон	Німеччина	1	16	26	377	78
<b>Г л и н я н і в и р о б и</b>						
Цегла	Тайвань	-	47	65	577	181
Черепиця	Тайвань	-	53	60	448	170
Цегла	Великобританія	25	52	44	703	170
Цегла	Норвегія	18	63	74	1136	257
Цегла	Угорщина	15	44-52	44-52	592-629	162

Продовження табл. 3.12

1	2	3	4	5	6	7
Вогнетривка цегла	Угорщина	1	44	78	666	263
Черепиця	Угорщина	1	74	56	777	213
Цегла	Німеччина	109	59	60-67	673-722	203
Шамот	Німеччина	9	59	89	407	205
<b>С и л і к а т н і в и р о б и</b>						
Цегла	Великобританія	13	15	4	333	48
Цегла	Угорщина	26	48	52	629	169
Цегла	Німеччина	22	11-26	6-18	228-270	42-70
Цегла	Фінляндія	3	22	23	577	110

Аналіз величини ефективної питомої активності для основних груп будівельних матеріалів показує, що найбільшою активністю володіють будівельні вироби, що відносяться до важких і легких бетонів.  $A_{\text{еф}}^{\text{мін}} \div A_{\text{еф}}^{\text{доп}}$ , Бк/кг: для важких бетонів 72-237; для легких бетонів 77-264; для силікатної цегли 46-115; для керамічної цегли 121-226. Це порозумівається використанням в якості заповнювачів відходів промисловості, що володіють підвищеним вмістом ПРН. Особливо це видно у виробах з використанням фосфогіпса.

Таблиця 3.13

**Радіаційні параметри будівельних виробів  
(конструкцій), що визначають зовнішню і внутрішню  
складові ефективної дози опромінення**

Будівельні матеріали і вироби	Діапазон варіювання параметрів	
	$A_{\text{еф}}$ , Бк/кг	$q_{\text{ексх.см}}$ , Бк/м <sup>2</sup> хс
1	2	3
<b>Важкі бетони</b>		
Фундаментні блоки	87-232	4,3-6,8
Стінові панелі	72-185	8,9-10,8
Перегородки	88-226	7,9-12,4
Плити перекриття	90-237	5,5-9,3
Рігелі	84-218	6,3-10,3
Колони	79-226	6,1-9,8
<b>Легкі бетони</b>		
Зовнішні стінові панелі з керамзитобетону	77-187	5,1-7,4
Фосфогіпсові (гіпсові) перегородки	140(13) -235 (35)	27,3(2,1) -34,2(2,9)
Шлакобетон	110-185	5,6-5,8

Продовження табл. 3.13

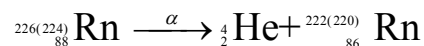
1	2	3
Пінобетон	86-112	3,2-3,9
Пеносилікатбетон	113-149	2,6-3,6
Пензолобетон	124-173	3,7-4,4
Пемзобетон	210-264	4,6-6,0
Пензолосилікатбетон	119-168	2,4-5,1
<b>Цегла</b>		
Силікатна	46-115	5,3-6,9
Керамічна	121-226	1,1-4,1

### 3.3. Ізотопи радону і основні джерела надходження їх у повітря приміщень будинку

Відповідно до оцінки МКРЗ ізотопи радон-222, радон-220 і їхні дочірні продукти розпаду (ДПР) обумовлюють приблизно на (60-70 %) величину ефективної дози опромінення людини. Знання характеристик цих радіонуклідів та їхніх джерел надходження у повітря приміщень будинку необхідно для забезпечення радіаційного захисту людини.

Радон – найважчий елемент нульової (VIII A) групи періодичної системи, єдиний з інертних газів, що не має стабільних ізотопів. У цей час відомо 24 ізотопи радону з атомними (масовими) числами від 202 до 224 і періодом напіврозпаду від  $10^{-6}$  с до 3,8 доби. З них радон-222 і радон-220 є членами радіоактивних рядів розпаду урану-238 і торія-232 та утримуються в навколишній середовищі (літосфері, гідросфері, атмосфері).

Ізотопи радону ( $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{220}\text{Rn}$ ) утворюються при розпаді ізотопів радію, супроводжуваних альфа-випромінюванням ( $^4_2\text{He}$ ):



У нормальних умовах радон (радон-222, радон-220) - це безбарвний, що не має смаку, кольору, важкий, інертний радіоактивний газ.

Радон порівняно легко скраплюється в рідину ( $t_{\text{сжиж}} = -62^\circ\text{C}$ ), а при  $t_{\text{тв}} = 71^\circ\text{C}$  переходить у твердий стан.

Основні характеристики ізотопів радону, необхідні для оцінки їхньої небезпеки для людини, наведені в табл. 3.14.

Аналіз параметрів ізотопів радону показує, що вони є високоенергійними  $\alpha$  - випромінюючими радіонуклідами. Розходження періодів їхнього напіврозпаду визначає відмінність по величині активності розпаду, так і за середнім значенням довжини дифузії в матеріалах.

Таблиця 3.14

## Характеристики ізотопів радону

Радіо- нуклід	Енергія випромінюван- ня $E$ , МеВ (% виходу)	Період напівроз- паду $T_{1/2}$	Постійна розпаду $\lambda_0$ , $\text{с}^{-1}$	Щільніс- ть $\rho$ , $\text{г}\cdot\text{см}^{-3}$	Довжина вільного пробігу $\alpha$ -часток $l_{\text{пр}}$ у повітрі (біоткан- ина)	Коефі- цієнт іонізації $K_{\text{іон}}$ , пара іонів	Середня довжина дифузії в будматері- алах $l_{\text{диф}}$ , м
Радон- 222 $^{222}_{86}\text{Rn}$	$E_{\alpha} = 5,49$ (100)	3,8 доби	$2,1 \cdot 10^{-6}$	$9,67 \cdot 10^{-3}$	3,98 см (19,2 мкм)	$1,62 \cdot 10^5$	0,2
Радон - 220 $^{220}_{86}\text{Tn}$	$E_{\alpha} = 6,29$ (100)	55 с.	$1,26 \cdot 10^{-2}$	$9,67 \cdot 10^{-3}$	4,89 см (22, мкм)	$1,85 \cdot 10^5$	0,0026

Параметри  $\alpha$  - випромінювання ізотопів радону ( $l_{\text{ін}}$ ,  $K_{\text{іон}}$ ) показує, що вони не являють загрозу зовнішнього опромінення організму через шкірний покрив, тому що  $l_{\text{пра}}^{\text{кп}} < d_{\text{кп}} = 70 \text{ мкм}$ , але несуть більшу небезпеку при внутрішнім опроміненні шляхом влучення в організм разом з повітрям, водою, їжею ( $K_{\text{іон}\alpha} \approx 1,6 \cdot 10^5$  пара іонів).

Радон, що надійшов з гірських порід, у повітря створює об'ємну активність  $\Lambda \text{vRn}$ , Бк/м<sup>3</sup>.

При цьому розпад радону веде до збільшення в повітрі числа важких позитивних іонів ( $\frac{1}{2} \text{ He}$ ), порушуючи іонний состав повітря. Радон, будучи інертним газом, не утворює аерозолів у повітрі, але може поширитися на значні відстані по тріщинах, порам гірських порід, ґрунтів, будівельних матеріалів за час до 10 доби ( $3 \cdot T_{1/2}$ ).

Радон вносить основний вклад у радіоактивність атмосферного повітря і рівні опромінення людини та навколишнього середовища за рахунок природних і антропогенних його джерел.

Середня швидкість ексхаляції із ґрунту в повітря становить від 0,6 мБк/м<sup>2</sup>×с до 44 мБк/м<sup>2</sup>×с. У нижніх шарах ґрунту – гірських породах вміст радону помітно збільшується.

Виділення радону із ґрунту зменшується при наявності сніжного покриву, під час зливових дощів.

Вміст радону в природних водах коливається в широкому діапазоні (від 0,37 Бк/л - для озер і рік до (3,7-370) Бк/л - для ґрунтових вод). У звичайних питних і річкових водах утримується близько 3,7 Бк/л, у морській воді 1,11 Бк/л.

У лікувальних цілях при різних, переважно хронічних захворюваннях застосовують радонові ванни, а також зрошення та інгаляції, терапевтичний ефект яких пов'язаний з радіаційним впливом радону, що всмоктався, і його ДПР. По концентрації радону виділяють наступні різновиди вод: дуже слаборадонові (185-740 Бк/л), слаборадонові (744-1480 Бк/л), радонові середньої концентрації (1481-2960 Бк/л), високорадонові (2961-4440 Бк/л), дуже високорадонові (більше 4450 Бк/л). Радонотерапія (різновид альфа-терапії) - один з видів променевої терапії з використанням дуже малих доз випромінювання, основним діючим фактором є  $\alpha$  - випромінювання радону і його ДПР. При лікуванні радоновими ваннами в основному опромінюється шкіра, при вживанні ридини - органи травлення, при інгаляціях - органи подиху.

Джерела утворення радону: родовища урану і торія, уранові шахти, тектонічні розлами гірських порід, нафтові свердловини, підземні виробітки, тунелі, хвостохранилища гірничодобувних підприємств, підвали, льохи, підземні ядерні вибухи, гейзера і вулкани, сховища радіоактивних відходів й ін.

У табл. 3.15 наведені характеристики джерел радононадходження в атмосферне повітря і у повітря приміщень будинків та створювані ними об'ємні активності радону.

Інертний газ радон-222, будучи важче повітря накопичується в повітрі приміщень будинку і може бути виведений в атмосферне повітря тільки за допомогою вентиляції.

Радон, що втримується, у повітря надходить в організм людини за допомогою дихальної системи, важкі частки  $\alpha$  - випромінювань піддають впливу, у першу чергу, органи подиху.

Але більшу небезпеку внутрішнього опромінення організму людини несуть не ізотопи радону, як інертні радіоактивні гази, а їхні дочірні продукти розпаду (ДПР), що перебувають у повітрі приміщень будинків в аерозольному стані (розміром  $\sim 10^{-4}$  мкм). ДПР ізотопів радону включають тверді речовини ізотопів полонію-218 (216), свинцю-214 (212) і вісмуту-214 (212), що представляють ланцюжок короткоживучих високоенергійних  $\alpha$  -,  $\beta$  - випромінюючих радіонуклідів (табл.3.16).



Таблиця 3.15

**Характеристика природних джерел радоновиділення та створюваної об'ємної активності його у повітря**

Джерела надходження радону	Швидкість ексхаляції $q_{\text{ексх}}$ , Бк/м <sup>2</sup> хс		Об'ємна активність $AV_{\text{Rn}}$ , Бк/м <sup>3</sup>	
	середня	діапазон варіювання	середня	діапазон варіювання
Зовнішнє повітря	$5,6 \cdot 10^{-4}$ - $1,4 \cdot 10^{-3}$	$8,3 \cdot 10^{-4}$ - $4,2 \cdot 10^{-3}$	3-4	1-10
Джерела для приміщень будинків				
Ґрунт під будинком	$1,8 \cdot 10^{-4}$ - $1,1 \cdot 10^{-2}$	$3,4 \cdot 10^{-4}$ - $5,5 \cdot 10^{-2}$	2-60	0,5-500
Будівельні матеріали: цегла, бетон деревина	$2,4 \cdot 10^{-4}$ - $5,6 \cdot 10^{-3}$ $2,3 \cdot 10^{-4}$	$6,8 \cdot 10^{-4}$ - $1,4 \cdot 10^{-3}$ $1,4 \cdot 10^{-4}$ - $2,8 \cdot 10^{-4}$	3-28 1	0,2-57 0,3-2
Вода, природний газ	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-6}$ - $2,5 \cdot 10^{-3}$	0,1-3	2-50
Усього	$1,7 \cdot 10^{-3}$ - $1,6 \cdot 10^{-2}$	$5,6 \cdot 10^{-4}$ - $6 \cdot 10^{-2}$	10-96	4-500

Таблиця 3.16

**Характеристика радіонуклідів дочірніх продуктів розпаду радону-222 і радону-220**

Радіонуклід	Період напіврозпаду $T_{1/2}$	Енергія випромінювання, MeV (% виходу)		
		$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
Уранорадієвий ряд				
Уран-238	$4,47 \cdot 10^9$ років	0,103 (21)	-	-
Радій-226	1600 років	4,60 (5) 4,78 (95)	-	0,186 (4)
Радон-222	3,8 доб	5,49(100)	-	-
Полоній-218	3,05 хв	6,00 (100)	0,33 (0,019)	-
Свинець-214	26,8 хв	-	0,65 (50) 0,71(40) 0,69(6)	0,295 (19) 0,352(36)
Вісмут-214	19,9 хв	5,45(0,012) 5,51(0,008)	1,0 (23) 1,51(40) 3,26 (19)	0,609 (47) 1,120 (17) 1,764 (17)
Торієвий ряд				
Торій-232	$1,41 \cdot 10^{10}$ років	3,95 (14)	-	-
Радій-224	3,66 доб	5,45 (6) 5,68(94)	-	0,241 (3,7)
Радон-220	55,6 сек	6,29 (100)	-	-
Полоній-216	0,15 доб	6,78 (100)	-	-
Свинець-212	10,64 год	-	0,346(81) 0,586 (14)	0,239 (47) 0,300 (3,2)
Вісмут-212	60,6 хв	6,05 (25) 6,09 (10)	1,55(5) 2,26(55)	0,040(2) 1,627(7) 1,620(1,8)

Значимість ізотопів радону і їх ДПР на величину дози опромінення порозумівається також тим, що із трьох можливих шляхів надходження в організм (при вдиханні повітря, забрудненого радіонуклідами; через шлунково-кишковий тракт разом з водою і їжею) вони надходять найнебезпечнішим – першим. Підвищена небезпека порозумівається наступними причинами: у перших, більшим обсягом легеневої вентиляції (обсяг вдихуваного повітря дорослою людиною приймається рівним  $7,3 \cdot 10^6$  л/рік, а обсяг води, що входить до складу харчових продуктів або вступника у вигляді рідини – 800 л/рік); у других, більше високими значеннями коефіцієнтами засвоєння, характеризуючими частку радіоактивних речовин, що відклалися в організмі, по відношенню надійшовшої усередину активності; у третіх, постійним у часі впливом на організм людини.

Розглянуті питання показують, що радонова небезпека є великою і непростю комплексною проблемою для людини, тому що радіоекологічні процеси, викликувані радоном, відбуваються на трьох структурних рівнях матерії: ядерного, атомно-молекулярному і макроскопічному, а наслідки впливу на організм основних антропогенних джерел радонovidілення проявляється через тривалий період часу (роки і десятиліття).

Визнання суспільством радону основним дозоутворюючим радіонуклідом з відомих людині порозумівається наступними його властивостями:

- це безбарвний радіоактивний газ, що не має кольору, запаху, смаку на відміну від інших радіонуклідів навколишнього середовища, що представляють тверді елементи, утворюється при розпаді ізотопів радію, що втримуються у всіх сферах навколишнього середовища, і надходить у їхній повітряний простір у результаті еманції і дифузійного процесів;

- щільність його в 7,5 разів більше щільності повітря, що спричиняє здатність нагромадження його в повітря навколишнього середовища;

- розпад його супроводжується корпускулярним альфа-випромінюванням з великою енергією через порівняно малий період його напіврозпаду (3,8 доби) у порівнянні з іншими домінуючими радіонуклідами навколишнього середовища (радій-226, торій-232, калій-40 й ін.);

- у силу інертності він не утворює аерозолів (не приєднується до порошин, важким іонам), а практично миттєво за допомогою дифузії переміщується з повітрям, а також може мігрувати по порах гірських порід, будівельних матеріалів, тріщинам й ін.;

- утворення радону веде до збільшення числа важких позитивно-заряджених іонів у повітрі, порушуючи баланс іонового складу, що негативно позначається на стані здоров'я людини;

- надходження радону в організм людини відбувається за допомогою системи подиху, продуктивність якої в силу необхідності забезпечення потрібної кількості повітря значно більше інших систем (забезпечення їжею і водою). Важкі альфа-частки (ядра  ${}^4\text{He}$ ) при розпаді радону іонізують клітини органів на шляху свого руху в організмі, обумовлюючи внутрішню складову ефективної дози опромінення;

- розпад радону супроводжується утворенням дочірніх продуктів розпаду ізотопів полонію, свинцю, вісмуту, які представляють коротко життєві радіонукліди твердих елементів, що перебувають у повітрі приміщень (атмосфері) в аерозольному стані, надходять в організм разом з повітрям і завдають більшої шкоди на організм людини в силу більшої їхньої активності, обумовленої меншим періодом їхнього напіврозпаду в порівнянні з радоном, і більше тривалим часом перебування в організмі;

- ростом числа антропогенних джерел радононадходження у повітря;

- сучасний спосіб життя людини визначає до 80% часу за добу перебування в приміщеннях будинків де об'ємна активність радону і його ДПР у повітрі приміщень значно вище чим на відкритій місцевості й ін.

Характеристики радіонуклідів цих рядів розпаду, починаючи з елементів радію-226 і радію-224 (джерел утворення радону-222 і радону-220), включаючи дочірні продукти їхнього розпаду, наведені в табл. 3.13.

Вплив ізотопів радону і їх коротко життєвих дочірніх продуктів розпаду (полоній-218, свинець-214, вісмут-214 для радону-222 і полонію-216, свинець-212, вісмут-212 для радону-220) визначає на 80 % величину внутрішньої складової ефективної дози опромінення.

Зміна концентрації ізотопів радону і їхніх дочірніх продуктів розпаду в атмосферному повітрі обумовлено радіоактивним розпадом, приєднанням вільних атомів ДПР до аерозольних часток, рекомбінацією, осадженням і седиментацією, переміщенням у результаті процесів дифузії і інших факторів. Найбільша концентрація інертних газів радону-222 і радону-220 спостерігається в приземному шарі атмосфери, а зі збільшенням висоти вона зменшується (табл. 3.17).

Концентрація радону-222 в атмосферному повітрі для різних крапок земної кулі змінюється в діапазоні від 0,02 до 9,6 Бк/м<sup>3</sup>. Вміст радону-220 в атмосферному повітрі значно менше в порівнянні з радоном (в 10-100 разів), середній рівень 0,2 Бк/м<sup>3</sup>.

Основну складову частину внутрішньої дози опромінення від впливу радону людина одержує, перебуваючи в приміщеннях житлових і виробничих будинків, де спостерігається підвищена його об'ємна активність  $A_{V_{Rn(Tn)прим}}$ , Бк/м<sup>3</sup>. Джерела надходження ізотопів радону і їх ДПР у повітря приміщень будівлі діляться на внутрішні – будівельні матеріали конструкцій, що обгороджують, водопостачання, природний газ, і зовнішні - ґрунт, що підстилає, під будинком та атмосферне повітря. Характеристики основних джерел надходження радону у повітря приміщень будинків наведені в табл. 3.18.

Таблиця 3.17

**Зміна концентрації ізотопів радону в атмосферному повітрі зі збільшенням висоти (стосовно концентрації на рівні землі), %**

Радон-222		Радон-220	
Висота, м	Концентрація, %	Висота, м	Концентрація, %
0/0,1	100	0	100
1	95	5	70
10	87	10	50
100	69	25	20
1000	38	50	5
7000	7	100	0,5

Таблиця 3.18

**Швидкість ексхаляції (надходження)  $q_{ексх}$  і об'ємна активність радону в повітрі приміщень будинків  $A_{V_{Rn}^{ном}}$  від різних джерел при кратності повітрообміну  $\lambda_v=0,7$  год<sup>-1</sup>**

Джерело надходження радону	Швидкість ексхаляції $q_{ексх}$ , Бк/м <sup>2</sup> ×с		Концентрація $A_v$ , Бк/м <sup>3</sup>	
	середня	діапазон варіювання	середня	діапазон варіювання
Будівельні матеріали: цегла, бетон	$2,4 \cdot 10^{-4} - 5,6 \cdot 10^{-3}$	$6,8 \cdot 10^{-4} - 1,4 \cdot 10^{-2}$	3 – 30	0,7 – 10
Деревина	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-6} - 2,8 \cdot 10^{-4}$	1	0,03 – 2
Ґрунт під будинком	$1,8 \cdot 10^{-4} - 1,1 \cdot 10^{-2}$	$3,4 \cdot 10^{-4} - 5,5 \cdot 10^{-2}$	2 – 60	0,5 – 500
Зовнішнє повітря	$5,6 \cdot 10^{-4} - 1,4 \cdot 10^{-3}$	$8,3 \cdot 10^{-4} - 4,2 \cdot 10^{-3}$	3 – 7	1 – 10
Вода, природний газ	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-6} - 2,8 \cdot 10^{-3}$	0,1	2 – 50
Разом:	$1,7 \cdot 10^{-3} - 1,7 \cdot 10^{-2}$	$5,6 \cdot 10^{-4} - 5,6 \cdot 10^{-2}$	10 – 100	2 – 500

Найбільш вагомими джерелами надходження радону в повітря приміщень будинків є ґрунт, що підстилає, під будинком і будівельні матеріали, використовувані для виготовлення конструкцій, що обгороджують будинки. Вони визначають об'ємну концентрацію радону в повітрі приміщень (від 60 до 90 %). Інертний газ радон-222, що втримується в ґрунті, що підстилає, під будинком і у будівельних матеріалах конструкцій, що обгороджують, безупинно надходить у повітря приміщень будинку. У процесі його розпаду утворюються тверді дочірні продукти (полоній-218, свинець-214, вісмут-214), які в повітрі приміщень будинків перебувають в аерозольному стані. Будучи інертним газом, радон і його ДПР залишаються в повітрі приміщення доти, поки це повітря не буде виведене в атмосферу за допомогою вентиляції. Концентрація радону в повітрі приміщення росте пропорційно швидкості його ексхаляції із ґрунту, що підстилає, під будинком і з будівельних матеріалів конструкцій, що обгороджують. Продукт розпаду радону-222 полоній-218 має період напіврозпаду всього 3,05 хв, тому він швидко накопичується із часом, даючи початок наступним коротко життєвим радіонуклідам (свинець-214  $T_{1/2}=26,8$  хв; вісмут-214  $T_{1/2}=19,9$  хв). В аерозольній формі ДПР радону-222 мають тенденцію зберігатися у зваженому стані, і концентрація їх у повітрі приміщення росте згодом. Потужність дози  $\gamma$ -випромінювання при розпаді радону-222 визначають його коротко життєві продукти розпаду (вісмут-214 і свинець-214).

Нагромадження радону-220 і його ДПР у повітрі приміщення підлегло, у принципі, тим самим закономірностям, що і для радону-222, але малий період напіврозпаду радону-220 (55с.) виключає нагромадження його в повітрі приміщення. Основним джерелом надходження торона-220 у повітря приміщення є будівельні матеріали конструкцій, що обгороджують, тому що ексхаляція його із ґрунту, що підстилає, під будинком не вносить істотного внеску в об'ємну концентрацію в повітрі приміщення першого поверху, оскільки за час дифузії навіть через щілини в підлозі він практично повністю розпадається.

Висока радіотоксичність ізотопів радону і їх ДПР порозумівається тим, що їхній розпад супроводжується високоенергійними  $\alpha$ -,  $\beta$ -випромінюваннями.

Значимість радону-222, радону-220 і їх ДПР на величину ефективної дози внутрішнього опромінення порозумівається також тим, що із трьох шляхів надходження радіонуклідів в організм (при вдиханні повітря забрудненого радіоактивними речовинами, через шлунково-

кишковий тракт і шкіру) вони надходять найнебезпечнішими - першими.

Пилові частки, на яких сорбіровані радіоактивні ізотопи радону і його ДПР, при вдиханні повітря проходять через дихальні шляхи та частково осідають у порожнині рота і носоглотці. Звідси пил надходить у травний тракт. Інші частки проникають у легені залежно від їхньої дисперсності.

Частки вдихуваного повітря, розміри яких не перевищують 1 мкм, згідно даним МКРЗ, розподіляються таким чином: видихається 35 %; осаджується у верхніх дихальних шляхах 30 %; осаджується в альвеолах легенів 25 %, з них близько 8 % відкладається в трахеях легенів. При зменшенні розмірів аерозолів число затримуваних часток збільшується.

### 3.4. Радонові параметри в приміщеннях будівель та споруд

Об'ємна активність радону-222 у повітрі приміщень будинку залежить, у першу чергу, від кількості радіоактивного газу, що надходить від основних джерел: ґрунту, що підстилає, під будинком і будівельних матеріалів конструкцій, що обгороджують. Тільки, знаючи радонові характеристики основних джерел надходження його в повітря приміщень, можна говорити про ступінь їхньої радонової небезпеки для людини.

Процес утворення радону-222 (радону-224) при розпаді радію-226 (радію-224), що втримується в іонізуючих джерелах будівельного виробництва (ґрунту, що підстилає під будинком і у будівельних матеріалах конструкцій, що обгороджують), і надходження його в повітря приміщень будинків включає:

- еманацию (утворення проміжного радіоактивного газу при розпаді твердого радіонукліда), оцінювану по величині радоновмісту в матеріалі джерела – ефективної питомої активності радію-226  $A_{\text{еф. Ra}}$ , Бк/кг:

$$A_{\text{еф. Ra}} = A_{\text{уд. Ra}} \times \eta, \quad (3.3)$$

де  $\eta$  - коефіцієнт еманірованія, що характеризує ту частину радону, що надходить із ядра атома радію при його розпаді в пори ґрунту (конструкцій, що обгороджують);

- дифузійний процес надходження радону по порах матеріалу джерела в повітря приміщень визначає величину швидкості ексхаляції (надходження) радону із джерела  $q_{ексх.гр.}$ , Бк/м<sup>2</sup>×с:

$$q_{ексх.гр.} = A_{уд. Ra} \times h_{гр.} \times \rho_{гр.} \times l_{диф.гр.}, \quad (3.4)$$

де  $\rho$  – щільність ґрунту, кг/м<sup>3</sup> (конструкцій, що обгороджують);

$l_{диф.гр.}$  – довжина дифузії радону в ґрунті (конструкціях, що обгороджують).

Довжина дифузії радону  $l_{диф.}$ , м, будівельних матеріалів і ґрунту, що підстилає, характеризує шлях, прохідний радіоактивним газом по порах матеріалів джерела, за період напіврозпаду, і визначається по формулі:

$$l_{диф.}, м = \sqrt{\frac{e_{диф.} \times T_{1/2}(с)}{P}}, \quad (3.5)$$

де  $e_{диф.}$  – коефіцієнт дифузії радону в матеріалі джерела, м<sup>2</sup>/с;

$P$  - пористість матеріалу джерела.

Систематизовані дані про їхні радонові параметри (радоновміст –  $A_{еф. Ra}$  і радонovidілення –  $q_{ексх.см}$ ) по даним МКРЗ наведені в табл. 3.19.

Таблиця 3.19

### Радонові параметри ряду виготовлених будівельних матеріалів

Будівельні матеріали	$A_{еф. Ra}$ , Бк/кг	$q_{ексх.см}$ , мБк/м <sup>2</sup> ×с
Важкий бетон	19-43	3,5-12,4
Легкий бетон	30-66	2,4-6,1
Силікатна цегла	18-35	4,4-5,7
Керамічна цегла	37-56	1,3-1,8

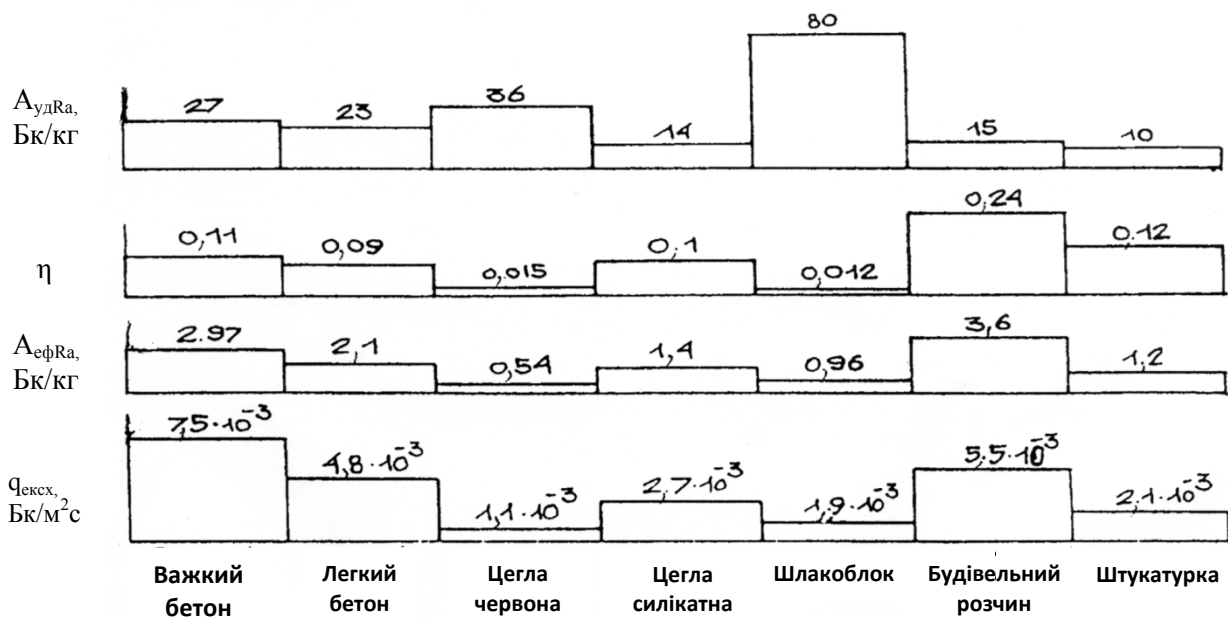
Для дослідження впливу радонових характеристик основних видів використовуваних будівельних матеріалів на величину об'ємної активності радону в повітрі приміщення будинку використовуємо їхні усереднені значення, наведені на мал. 3.2. Так питома активність радіо-

### РОЗДІЛ 3

226  $A_{удRa}$  у розглянутих будівельних матеріалах змінюється в діапазоні від 10 до 80 Бк х кг<sup>-1</sup>. Найбільша питома активність радію-226 характерна для шлакоблока, червоної цегли, бетону. Показник радоновмісту – ефективна питома активність радію-226  $A_{эфRa}$  у будівельному матеріалі залежить не тільки від величини питомої активності радію-226, але й від значення коефіцієнта еманірованія радону  $\eta$ , характеризуючого відсоток виходу радону з атомів радію в пори даного будівельного матеріалу.

Діапазон варіювання коефіцієнта еманірованія радону для розглянутих видів будівельних матеріалів становить від 0,012 до 0,24. Найменше значення коефіцієнта еманірованія характерно для будівельних матеріалів, підлягаючих в процесі виготовлення високотемпературній обробці (червона цегла, шлаки). По радоновмісту на першому місці стоїть будівельний розчин, бетони, силікатна цегла; найменше радононадходження характерно для шлакоблока і червоної цегли.

Основні види будівельних матеріалів



Мал 3.2. Величини, що характеризують радонові властивості будівельних матеріалів (виробів)



У табл. 3.20 дані для порівняння середніх значень радіаційних параметрів будівельних матеріалів України та Росії, що визначають радоновміст в них.

Таблиця 3.20

**Усереднені значення радіаційних параметрів  
будівельних матеріалів України та Росії**

Види гірської породи, будівельного матеріалу	Питома активність $A_{уд}$ , Бк/кг			$A_{эфсм}$ Бк/кг	Коефіцієнт еманірації $\eta$	Ефективна питома активність $A_{эфRa} = A_{удRa} \times \eta$ , Бк/кг	
	Радію-226	Торію-232	Калію-40			Радію-226	Торію-232
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Україна</b>							
Щебінь	36,6	79,3	971	223	0,13	9,8	16,25
Гранітне відсівання	43	118	717	297	0,15	6,45	17,7
Гравій керамзитовий	37	28	658	130	0,19	7,03	5,32
Бетон	25	36	380	106	0,16	4,0	5,76
Гіпс	3,8	8	194	35	0,044	0,17	0,35
Вапно	5,8	44	139	77	0,025	0,13	1,0
Пісок	12	33	165	98	0,18	2,16	5,94
Глина	41	78	578	208	0,25	11,0	19,5
Будматеріали (середнє)	49	53	496	162	-	-	-
<b>Росія</b>							
Щебінь із граніту	27,4	35,9	614	127	0,12	3,29	4,3
Щебінь з доломітів і вапняків	12,6	4,8	40	22	0,19	2,39	0,91
Бетон легкий	21,8	15,2	185	56	0,12	2,61	1,82
Бетон важкий	23,7	16,7	277	71	0,07	1,66	1,17
Пісок	7,8	12,3	192	49	0,18	1,4	2,21
Глина	20,4	33,7	444	102	0,23	4,69	7,75
Будматеріали (середнє)	26,6	25,5	392	93	-	-	-

Для будівельних матеріалів України показник радоновмісту в порівнянні з Росією має більше широкий діапазон варіювання 0,13-11,00 (1,4-4,69) Бк/кг - по радію-226 і 0,35-19,5 (0,91-7,75) Бк/кг - по торію-232. Перевищення радоновмісту в щебені і глині становить 2,3 рази в піску - 1,5 рази, у бетоні - 1,7 рази.

Другим джерелом, що визначає величину об'ємної активності радону в повітрі приміщення, є ґрунт, що підстилає, під будинком.

Ґрунт – це будь-яка гірська порода, а також тверді відходи господарської діяльності людини, що представляють собою багатокомпонентну систему, що використовується як основа, середовище або матеріали для зведення будинків та інженерних споруджень [117].

По походженню і умовам утворення ґрунти підрозділяються на магматичні, метаморфічні, осадові, зцементовані та штучні (перетворені в природному заляганні).

З обліком того, що радон-220 (торон) має малу довжину дифузії (приблизно 0,0026 м.), то практично його надходження із ґрунту навіть при наявності щілин у підлозі приміщення навіть першого поверху незначне. Тому враховується лише вміст радону-222 у ґрунті, що підстилає. Величина радоновмісту в ґрунті залежить від питомої активності радію-226 у ньому і коефіцієнта еманірованія радону. Величина радоновмісту в ґрунті, що підстилає, оцінюється по показнику ефективної питомої активності радію-226 у ґрунті  $A_{\text{efRa}}$  Бк/кг.

По результату широкомасштабних досліджень та узагальнених результатів МКРЗ радіоактивності гірських порід і вимірів їхніх коефіцієнтів еманірованія визначені середні значення ефективної питомої активності радію-226 (показник радоновмісту) в основних гірських породах (табл. 3.21).

Широкий діапазон варіювання показника радоновмісту в ґрунтах  $A_{\text{efRa}}$  від 0,15 до 10,9 Бк/кг показує значимість величини коефіцієнта еманірованія радону із ґрунту, що підстилає, обумовленого, у першу чергу, дисперсністю структури ґрунту. Найбільший радоновміст характерний для глин, сланців, піщаників (5,4 – 10,9 Бк/кг). Для глибинних гранітних порід характерний малий радоновміст, незважаючи на високий рівень вмісту радію-226. Для поверхневих гранітних порід з урахуванням зміни їхньої структури – наявність тріщин, кори вивітрювання – характерний ріст радоновмісту. При рішенні завдань радіаційної безпеки населення необхідне знання геологічних структур ґрунтів, що підстилають.

Таблиця 3.21

**Середні значення характеристик радоновмісту  
у гірських породах**

Гірська порода	Питома активність радію-226 $A_{удRa}$ , Бк/кг	Коефіцієнт еманірованія $\eta$	Ефективна питома активність радію $226 A_{эфRa} = A_{удRa} \times \eta$ , Бк/кг
<b>Вивержені</b>			
граніти	48	0,008	0,38
діорити, сиеніт	25,5	0,021	0,54
діабази, базальти	10,7	0,022	0,25
туф, пемза	51,4	0,02	1,2
<b>Осадочні</b>			
глина	43,7	0,25	10,9
піщаник	25,5	0,21	5,35
вапняк	18,1	0,046	0,83
гіпс	9,3	0,044	0,4
<b>Метаморфічні</b>			
гнейси	46	0,01	0,46
сланці	43,7	0,24	10,4
мармур	14,8	0,043	0,63
кварцит	6,7	0,023	0,15

Грунти, що підстилають, під будинком являють собою природні утворення, що складаються з мінеральної частини - кістяка і пор - порожнеч, замкнутих та заповнених водою в різних видах, станах і газом.

Дифузійні властивості ґрунтів – довжина дифузії радону в них оцінюється на основі знання фізичних характеристик (щільності ґрунту  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>; щільності мінеральних часток ґрунту  $\rho_s$ , кг/м<sup>3</sup>; природної вологості ґрунту  $W$ ), обумовлених шляхом виміру.

Пористість ґрунту  $p$ , як фізичний показник його дифузійних властивостей, визначається як відношення сумарного обсягу пір-порожнеч  $V_2$  до одиниці об'єму зразка матеріалу  $V_1$ :

$$p = V_2 / V_1. \quad (3.6)$$

Серед вулканічних порід найбільшою пористістю володіють глибові ґрунти ( $p > 0,2$ ), серед піщаних – пухкі ( $p > 0,44$ ), серед пилевато-глинистих – глина ( $p > 0,6$ ). Просадні породи відносяться до пилевато-глинистих ґрунтів.

За результатами досліджень, проведених Науковим центром радіаційного захисту АМН України, швидкість ексхаляції радону із ґрунтів для ряду областей країни, розташованих на Українському кристалічному щиті становить від 42 до 109 мБк/м<sup>2</sup>×с, а поза ним від 11 до 39 мБк/м<sup>2</sup>×с.

Таким чином, оцінка основних джерел надходження радону в повітря приміщень, що базується на результатах досліджень питомої активності ПРН у гірських породах, відходах промисловості, у ґрунтах, що підстилають, і усереднених вимірах значень коефіцієнтів еманірованія  $\eta$  (по даним МКРЗ), дозволяє зробити наступні висновки:

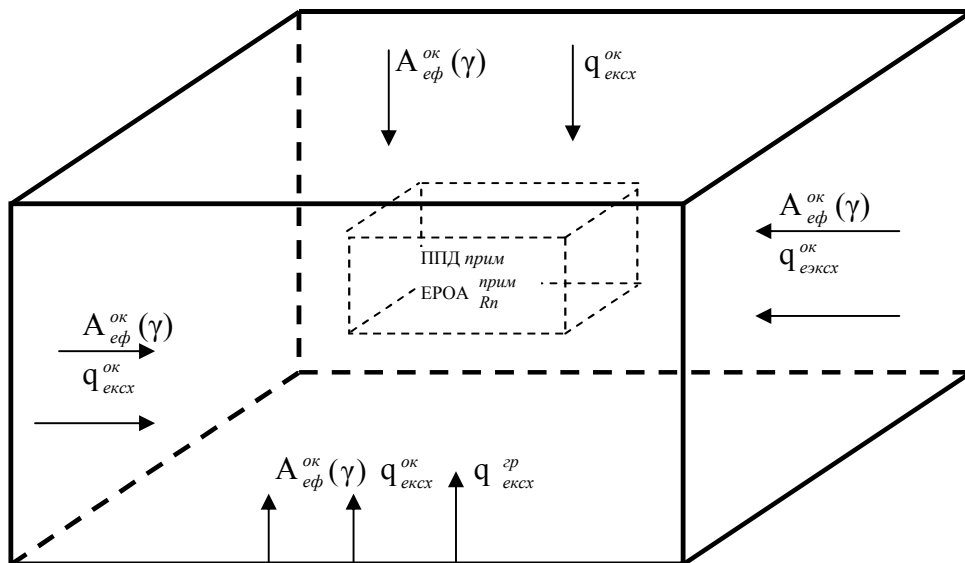
- радоновміст в ґрунтах, що підстилають, вище, ніж у будівельних матеріалах мінерального походження;
- використання відходів промисловості, які підлягають високотемпературній обробці для виробництва будівельних матеріалів, знижує їх радоно- і тороновміст;
- широкий діапазон варіювання радоно- і тороновмісту у ґрунтах, що підстилають, під будинком і у будівельних матеріалах визначає необхідність оцінки їх на регіональному рівні для вибору ефективного захисного заходу.

### **3.5. Регламентовані радіаційно-гігієнічні параметри в приміщеннях будинку, створювані іонізуючими джерелами будівельного виробництва**

Основою для будівельного виробництва служать мінеральні види сировини і використовувані відходи промислового виробництва, для яких характерна певна концентрація природних радіонуклідів. Розходження фізичних властивостей іонізуючих випромінювань, якими супроводжується розпад радіонуклідів будівельних матеріалів конструкцій, що обгороджують, приміщень будинків, обумовлює створену ними зовнішню і внутрішню складові ефективної дози опромінення в приміщеннях будинку. Іонізуючі джерела будівельного виробництва (будівельні матеріали конструкцій, що обгороджують, і ґрунти, що підстилають, під будинком) оцінюються по величині регламентованих радіаційних параметрів: ефективна питома активність  $A_{ef}$ , Бк/кг і швидкість ексхаляції ізотопів радону з них  $q_{ексхгр.(ок)}$ , Бк/м<sup>2</sup>×с.

Радіаційна небезпека впливу іонізуючих випромінювань джерел будівельного виробництва на організм людини залежить як від величини їх регламентованих радіаційних параметрів, так і від конструктивно-планувального рішення будинку.

Радіаційний фон в приміщенні будинку (мал. 3.3), що має форму паралелепіпеда, створюється шістьма відкритими іонізуючими джерелами з рівномірним розподілом ПРН по всьому їхньому обсязі.



**Мал. 3.3. Іонізуючі джерела  $A_{эф.ок}$  Бк/кг;  $q_{ексх.Rn.zp(ок)}$ , Бк/м<sup>2</sup>хс, будівельного виробництва, що створюють радіаційний фон в приміщенні будинку (ППД<sub>прим</sub>, мкГр/ч; ЕРОА<sub>Rn.прим</sub>, Бк/м<sup>3</sup>)**

Створюване поле випромінювання шістьма плоскими джерелами  $\varphi_i (m, n, u)$  у приміщенні  $\varphi_{прим}$  кінцевих розмірів  $(l \times b \times h)$  і товщини  $d$  з урахуванням характеристик їхніх іонізуючих випромінювань розраховується по формулі:

$$\varphi_{прим} = \frac{\Phi_{іс}}{4\pi} \left[ \frac{\pi}{2} \times E_{ід} + \sum_{i=1}^6 \varphi_i(m, n, u_i) \right], \quad (3.7)$$

де  $\Phi_{іс}$  – повний вихід іонізуючих випромінювань із плоского джерела в тілесний кут  $4\pi$  ;

$E_{ід}$  – енергія іонізуючого джерела;

### РОЗДІЛ 3

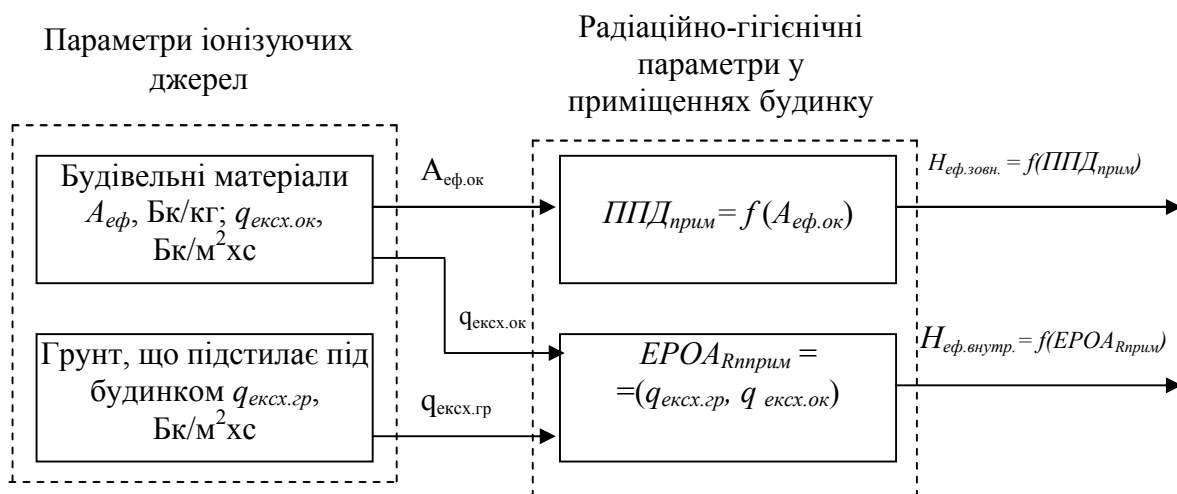
$m, n$  – величини, що залежать від товщини і габаритів конструкцій, що обгороджують;

$u_i$  – радіаційний параметр іонізуючого джерела конструкції, що обгороджує, і параметри, що характеризують потужність зовнішньої і внутрішньої складової ефективної дози опромінення в приміщенні.

Розходження фізичних властивостей іонізуючих джерел випромінювань будівельного виробництва, якими супроводжується розпад їхніх радіонуклідів, обумовлює зовнішню і внутрішню складові ефективної дози опромінення.

Регламентованими радіаційно-гігієнічними параметрами в приміщеннях будинків, що визначають величину створюваної зовнішньої і внутрішньої складової ефективної дози опромінення, є потужність поглиненої дози  $ППД_{прим}$ , мкГр/год, і еквівалентна рівноважна об'ємна активність радону-222 і його дочірніх продуктів розпаду  $ЕРОА_{прим}$ , Бк/м<sup>3</sup>.

Схема визначення ефективної дози опромінення населення (мал. 3.4), створеної іонізуючими джерелами будівельного виробництва, вимагає знання параметрів іонізуючих джерел ( $A_{эф.ок}$ , Бк/кг;  $q_{ексх.гр(ок)}$ , Бк/м<sup>2</sup>хс) і функціональних залежностей радіаційно-гігієнічних параметрів у приміщенні від них. При цьому вірогідність розрахункових моделей повинна бути оцінена за результатами натурних вимірів параметрів.



Мал. 3.4. Структурна схема визначення дозового навантаження опромінення у приміщеннях будинку

### 3.5.1. Потужність поглиненої дози в приміщеннях будинку і зовнішня складова ефективної дози опромінення

Величина потужності поглиненої дози в приміщеннях будинку  $ППД_{прим}$ , мкГр/год, що характеризує зовнішню складову ефективної дози опромінення, залежить від вмісту гама-випромінюючих радіонуклідів у використовуваних видах будівельних матеріалів, що обгороджують, і несучих конструкцій приміщення  $A_{ef.прим}$ , Бк/кг, і визначається по формулі:

$$ППД_{прим} = K_{пер} \times \frac{\sum_{j=1}^6 A_{okj} \times m_{okj}}{\sum_{j=1}^6 m_{okj}}, \quad (3.8)$$

де  $K_{пер}$  – коефіцієнт перерахування ефективної питомої активності ПРН будівельних матеріалів конструкцій, що обгороджують, приміщень у створювану ними ППД, мкГр x кг/год x Бк (табл.3.22);

$A_{efokj}$  і  $m_{okj}$  – ефективна питома активність ПРН, Бк/кг, і маса j-й конструкції, що обгороджує, приміщення, кг;

$\sum_{j=1}^6 m_{okj}$  – сумарна маса конструкцій, що обгороджують, приміщення будинку, кг.

Таблиця 3.22

Значення  $K_{пер}$ , мкГр x кг/год x Бк, залежно від  $A_{ef.ci}$

Величин а	Ефективна питома активність $A_{ef.ci}$ , Бк/кг							
	50	100	150	200	250	300	350	400
$K_{пер},$ $\frac{\text{мкГр} \times \text{кг}}{\text{год} \times \text{Бк}}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$1,55 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1,48 \cdot 10^{-3}$	$1,45 \cdot 10^{-3}$

З урахуванням середнього значення ефективної питомої активності ПРН у будівельних матеріалах конструкцій, що обгороджують, будинки України значення  $K_{пер}, \frac{\text{мкГр} \times \text{кг}}{\text{год} \times \text{Бк}}$ , змінюється від  $1,59 \cdot 10^{-3}$  до  $1,95 \cdot 10^{-3}$ .

Потужність поглиненої дози в приміщеннях будинків ППД, мкГр/год, вимірюється дозиметрами. З урахуванням геологічних

## РОЗДІЛ 3

розходжень територій країн значення гама-фону в приміщеннях будинків ряду країн світу, узагальнені МКРЗ, наведені в табл. 3.23.

Характерно, що діапазон потужності поглиненої дози  $\gamma$ -випромінювання в приміщеннях будинків досить вузький (0,071-0,096 мкГр/год). У більшості країн радіаційний гама-фон в приміщеннях близький до 0,070 мкГр/год, за винятком Скандинавських країн. Середня потужність поглиненої дози  $\gamma$  - випромінювання в приміщеннях будинків різних країн і регіонів залежить переважно від типу будівель і ефективної питомої активності ПРН у будівельних матеріалах місцевого виробництва. Найбільш низька потужність дози спостерігається в приміщеннях дерев'яних і збірних будинків, а найбільш висока - у будинках з бетону і цегли.

Таблиця 3.23

### Потужність поглиненої дози $\gamma$ - випромінювання в приміщеннях будинків ряду країн

Країна	Число обстежених будинків	Тип будинку	Потужність поглиненої дози ППД <sub>прим.</sub> мкГр/год	
			середня	середньозважена по країні
Австрія	1900	Цегельні	0,110	0,071
		Бетонні	0,081	0,071
		Дерев'яні	0,075	0,071
		Кам'яні	0,110	0,071
Великобританія	2000	Різні	0,062	0,062
Данія	82	Цегельні	0,060	0,060
		Бетонні	0,050	0,060
		Дерев'яні	0,030	0,060
Ірландія	223	Різні	0,062	0,062
Італія	600	Різні	0,060	0,060
Нідерланди	399	Різні	0,064	0,064
Норвегія	2026	Цегельні	0,0120	0,095
		Бетонні	0,105	0,095
		Дерев'яні	0,071	0,095
Польща	1951	Збірні зі шлаками	0,077-0,120	0,73
		Цегельні	0,057-0,100	0,073
		Збірні	0,054-0,084	0,073
		Цегляно-дерев'яні	0,060-79	0,073
		Дерев'яні	0,042-0,051	0,073
Німеччина	29996	Кам'яні	0,070	0,070
		Каркасні	0,071	0,070
		Збірні	0,040	0,070
		Дерев'яні	0,045	0,070
Швеція	1189	Цегельні	0,092	0,096
		Бетонні	0,116	0,096
		Легкий бетон	0,172	0,096
		Дерев'яні	0,053	0,096



Величина  $\gamma$  - фона в приміщеннях будинку залежить від багатьох факторів, у тому числі й від  $\gamma$  - фона на прилягаючих територіях.

Про вплив будівельного матеріалу, використовуваного при спорудженні будинку, на величину поглиненої потужності дози  $\gamma$ -випромінювання в приміщеннях можна судити по відношенню потужності поглиненої дози  $\gamma$  - випромінювання в будинках, побудованих з різних будівельних матеріалів  $ППД_{прим.}$ , до потужності дози поза будинками  $ППД_{ул.}$  (табл. 3.24).

Таблиця 3.24

### Відносини потужності поглиненої дози $\gamma$ -випромінювання у будинках і на відкритій місцевості

Будівельний матеріал	$\frac{ППД_{прим}}{ППД_{ул}}$	Будівельний матеріал	$\frac{ППД_{прим}}{ППД_{ул}}$
Пемза	1,5	Вапняк	1,24
Шлаки	1,41	Бетон	1,48
Цегла, камінь	1,55	Роздутий бетон, дерево	0,8

При цьому гама-фон поза приміщеннями (на відкритій місцевості) необхідно виміряти на такому видаленні від будинків, щоб виключити вплив  $\gamma$  - випромінювання ПРН у будівельних матеріалах, використаних при спорудженні будинків (не ближче 10 м від невисотних та 30 м від висотних будинків).

У Росії  $ППД_{прим.}$ , мкГр/год, у приміщеннях будинків найбільше повно вивчений у м. Санкт-Петербурзі, результати наведені в табл. 3.25.

Таблиця 3.25

### Середня потужність поглиненої дози $\gamma$ -випромінювання у приміщеннях будинків $ППД_{прим}$ житлового фонду м. Санкт-Петербурга

Тип будинку по матеріалу стін	$ППД_{прим.}$ , мкГр/год	Число жителів, %
Із червоної цегли (до 1960 р.)	0,071	24,2
Із червоної цегли (після 1960 р.)	0,108	6,2
Із силікатної цегли	0,082	24,9
Блокові	0,104	2,3
Панельні	0,108	39,7
Дерев'яні	0,060	2,7

Середня потужність поглиненої дози  $\gamma$  - випромінювання в приміщеннях нових будинків м. Санкт-Петербурга близька до значення цієї величини в житлових будинках Скандинавських країн. Це порозумівається тим, що радіоактивність більшості гірських порід, що добувають, для будівельних матеріалів країн близькі за геологічною структурою (Балтійський кристалічний щит).

Середнє значення ефективної питомої активності ПРН та окремих радіонуклідів у будівельних матеріалах близькі до середніх значень цих параметрів у ґрунтах. Це порозумівається тим, що середня питома активність ПРН у ґрунтах визначається їх середньою питомою активністю у ґрунтоутворюваних породах, а процес ґрунтоутворення відбувається внаслідок ерозії поверхово розташованих порід. Для виробництва будівельних матеріалів використовуються в основному поверхово розташовані породи.

Значення  $\overline{\text{ППД}}_{\text{прим}}$ , мкГр/год для ряду міст України наведені в табл. 3.26.

*Таблиця 3.26*

**Усереднені значення потужності поглиненої дози  $\gamma$  - випромінювання в приміщеннях житлових будинків ряду міст України**

Місто	$\overline{\text{ППД}}_{\text{прим}}$ , мкГр/год	Місто	$\overline{\text{ППД}}_{\text{прим}}$ , мкГр/год
Київ	0,1	Полтава	0,13
Харків	0,12	Хмельницький	0,07
Дніпропетровськ	0,14	Черкаси	0,08
Львів	0,08	Вінниця	0,04

Розходження величин  $\overline{\text{ППД}}_{\text{прим}}$  будинків обумовлено, у першу чергу, особливостями застосування місцевих видів будівельних матеріалів, що мають у силу особливості геологічних структур гірських порід різний рівень радіоактивності.

Для основних груп застосовуваних видів будівельних матеріалів у табл. 3.27 наведені дані результатів вимірів  $\overline{\text{ППД}}_{\text{прим}}$  в Україні.

Діапазон зміни середньої поглиненої потужності дози  $\gamma$ -випромінювання в приміщеннях житлового фонду України становить 0,02-0,5 мкГр/год. Це порозумівається більшим розкидом ефективної питомої активності ПРН у використовуваних видах будівельних матеріалів. Найменша потужність дози  $\gamma$ -випромінювання спостерігається в приміщеннях дерев'яних будинків, найбільша – у будинках з бетону і панельних будинків. Отримані результати вимірів

потужності дози  $\gamma$  - випромінювання для більшості приміщень житлового фонду не перевищує припустимого рівня радіаційного фону в приміщеннях будинків (не більше 0,26 мкГр/год). Разом з тим для частини житлового фонду країни, особливо панельних і бетонних будинків при веденні їхньої реконструкції і капітального ремонту буде потрібно знизити радіаційний  $\gamma$  - фон в їхніх приміщеннях.

Таблиця 3.27

**Потужність поглиненої дози  $\gamma$ -випромінювання в житлових будинках України на базі місцевих будівельних матеріалів**

Число вимірів	Тип будинку по матеріалу стін	Потужність поглиненої дози у приміщеннях	
		середня мкГр/ч	Діапазон варіацій, мкГр/год
4064	Панельні	0,29	0,10-0,51
3086	З бетону	0,24	0,13-0,33
1396	Зі шлакоблоків	0,1	0,05-0,18
1886	З керамічної цегли	0,11	0,04-0,23
4035	Із силікатної цегли	0,09	0,03-0,17
637	З дерева	0,04	0,02-0,08

Зовнішня складова річної ефективної дози опромінення  $H_{\text{еф.зовн.}}$ , мЗв/рік, визначається по формулі:

$$H_{\text{еф.зовн.}} = 1,3 \times (0,8 \times \text{ППД}_{\text{прим}} + 0,2 \times \text{ППД}_{\text{повітря}}), \quad (3.9)$$

де 1,3 – перехідний коефіцієнт від мкГр/год до мЗв/рік;

0,8, 0,2 - коефіцієнти, що враховують знаходження людини в приміщеннях будинків (80 %) і поза будинками (20 %) протягом року;

$\text{ППД}_{\text{прим}}$ ,  $\text{ППД}_{\text{повітря}}$  – потужність поглиненої дози в приміщеннях і поза будинками.

### 3.5.2. Еквівалентна рівноважна об'ємна активність радону і його дочірніх продуктів розпаду (ДПР) у повітрі приміщень будинку і внутрішня складова ефективної дози опромінення

Джерелами створення об'ємної активності ізотопів радону в повітрі приміщень є ґрунт, що підстилає, під будинком, будівельні матеріали, що обгороджують конструкції і атмосферне повітря.

Об'ємна активність радону-222 у повітрі приміщення будинку  $Av_{Rnприм}$ , Бк  $\times$  м<sup>-3</sup>, визначається співвідношенням:

$$Av_{Rnприм}, \text{ Бк/м}^3 = \frac{q_{ексх}^{ок} \times S_{\Sigma}}{V_{прим} \times (\lambda_{oRn} + \lambda_{\epsilon})} + \frac{q_{ексх}^{зр} \times S_{підлоги}}{V_{прим} \times (\lambda_{oRn} + \lambda_{\epsilon})} + Av_{Rn}^{атм}, \quad (3.10)$$

де  $q_{ексх}^{ок}, q_{ексх}^{зр}$  – швидкість ексхаляції радону з конструкцій, що обгороджують, і ґрунту, що підстилає, відповідно, Бкхм<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup>;

$S_{\Sigma}, S_{підлоги}$  – сумарна площа конструкцій, що обгороджують, і підлоги приміщення, відповідно, м<sup>2</sup>;

$V_{прим}$  – обсяг приміщень, м<sup>3</sup>;

$\lambda_{oRn}$  – постійна розпаду радону, с<sup>-1</sup>;

$\lambda_{\epsilon}$  – кратність повітрообміну в приміщенні, с<sup>-1</sup>;

$Av^{атм}$  – об'ємна активність радону в атмосферному повітрі, Бк $\times$ м<sup>-3</sup>.

Кратність повітрообміну в приміщенні залежить від конструкції приміщення і метеоумов, яка змінюється від декількох десятих до декількох обмінів у годину. При однократному повітрообміні в годину  $\lambda_{\epsilon}=2,78 \cdot 10^{-4}$  с<sup>-1</sup>, що значно перевищує величину  $\lambda_{oRn}=2,1 \cdot 10^{-6}$  с<sup>-1</sup> і співвідношення  $\lambda_{o} + \lambda_{\epsilon} \approx \lambda_{\epsilon}$ .

З обліком цього, вираження (3.10) прийме вид:

$$Av_{Rnприм} = \frac{q_{ексхок} \times S_{ок}}{V_{прим} \times \lambda_{\epsilon}} + \frac{q_{ексхзр} \times S_{підлоги}}{V_{прим} \times \lambda_{o}} + Av_{Rn}^{атм}. \quad (3.11)$$

Об'ємна активність радону в повітрі приміщення залежить прямо пропорційно від швидкості ексхаляції радону з конструкцій, що обгороджують, приміщення (стін, підлоги і стелі), із ґрунту, що підстилає, під будинком і обернено пропорційна кратності

повітрообміну. Для приміщень житлових будинків (табл. 3.28) відношення  $S_{\Sigma}/V_{прим}$  змінюється в діапазоні від 1,5 до 2,06 м<sup>-1</sup>, середнє значення дорівнює 1,66 м<sup>-1</sup>;  $S_{підлоги}/V_{прим}$  має середнє значення 0,37 м<sup>-1</sup>.

В Україні швидкість ексхаляції радону із ґрунтів, що підстилають, під будинками змінюються в межах  $2,4 \cdot 10^{-4}$  до  $4 \cdot 10^{-2}$  Бк/м<sup>2</sup>×с при середнім значенні  $1,57 \cdot 10^{-2}$  Бк/м<sup>2</sup>×с. Швидкість ексхаляції радону з будівельних матеріалів конструкцій, що обгороджують, приміщень нижче, ніж їхніх ґрунтів, що підстилають, під будинками і змінюється в межах  $6,3 \cdot 10^{-5}$  до  $6 \cdot 10^{-3}$  Бк/м<sup>2</sup>×с при середнім значенні  $1,85 \cdot 10^{-3}$  Бк/м<sup>2</sup>×с.

Таблиця 3.28

### Відношення $S_{\Sigma}/V_{прим}$ для різних приміщень, м<sup>-1</sup>

Висота приміщення, м	Площа підлоги, м <sup>2</sup>			
	3 × 3,33=10	4 × 3,75=15	6 × 3=18	6 × 4=24
2,5	2,06	1,83	1,77	1,58
2,7	2,00	1,77	1,69	1,56
3,0	1,93	1,70	1,66	1,5

Величина об'ємної активності радону-222 в атмосферному повітрі  $A_{v^{атм}}$  європейських країн змінюється в межах від 2 до 9,3 Бк/м<sup>3</sup> (для України від 2,6 до 4,5 Бк/м<sup>3</sup>).

При середніх швидкостях ексхаляції радону в повітря приміщення із ґрунту, що підстилає,  $\bar{q}_{ексх}^{ep} = 2,57 \cdot 10^{-2}$  Бк/м<sup>2</sup>·с<sup>-1</sup> і із конструкцій, що обгороджують,  $\bar{q}_{ексх}^{ок} = 0,85 \cdot 10^{-3}$  Бк/м<sup>2</sup>×с і  $\lambda_{\theta} = 1,0$  год<sup>-1</sup> надходження радону із ґрунтів, що підстилають, робить вирішальне значення на величину об'ємної концентрації радону в повітрі приміщень. Зміна кратності повітрообміну в приміщенні  $\lambda_y$  з 0,4 год<sup>-1</sup> до 2,6 год<sup>-1</sup> дозволяє зменшити концентрацію радону в повітрі приміщень майже в 4 рази.

Надходження радону-220 і його дочірніх продуктів розпаду в повітря приміщень будинку описується в принципі, такими ж співвідношеннями, що і для радону-222, але малий період напіврозпаду торона виключає процес нагромадження його в повітрі приміщень, а незначна величина довжини дифузії виключає надходження його із ґрунту, що підстилає, у повітрі приміщень навіть перших поверхів. Отже, об'ємна активність радону-220 у повітрі приміщень залежить тільки від швидкості ексхаляції його з будівельних матеріалів конструкцій, що обгороджують, і надходження їхнього атмосферного повітря та визначається співвідношенням:

$$Av_{R_n^{220}}^{ном}, \text{Бк} / \text{м}^3 = \frac{q_{\text{эксх}}^{OK} \times S_{\Sigma}}{V_{ном} \times \lambda_{oR_n^{220}}} + \frac{\lambda_{\epsilon} \times Av_{Tn}^{атм}}{\lambda_{oR_n^{220}}}. \quad (3.12)$$

Вплив надходження радону-220 з атмосферного повітря сильно послаблене множителем  $\lambda_{\epsilon}/\lambda_{oTn}$ , що при однократному повітрообміні становить 0,022. Практично рівноважна об'ємна активність радону-220 і у його ДПР у повітрі приміщенні встановлюється через кілька хвилин при зміні якого-небудь параметра, що впливає на неї. Мала довжина дифузії торона приводить до того, що його ексхаліяція відбувається тільки із самого поверхневого шару стін, підлоги і стелі приміщень.

Розрахунок об'ємної активності радону-220 у повітрі приміщень ведеться по формулі (3.12) для середніх значень питомої активності торія в будівельних матеріалах  $A_{удTn} = 26$  Бк/кг і коефіцієнта

еманірування  $\eta=0,12$  (для штукатурки). Середнє значення  $Av_{Tn}^{прим} = 18,7$  Бк/м<sup>3</sup> при  $\lambda_{\epsilon} = 1 \text{ год}^{-1}$ ,  $l_{диф}=0,0026$  м. За порівняно короткий строк, після 1982 р., у різних країнах проведені широкомасштабні дослідження з оцінки об'ємної активності радону-222 у повітрі приміщень будинків, результати яких узагальнені МКРЗ і представлені в табл. 3.29.

Таблиця 3.29

**Об'ємна активність радону у повітрі приміщень будинків деяких країн**

Країна	Число вимірів	Об'ємна активність радону у повітрі приміщень $Av_{Rnprim}$ , Бк/м <sup>3</sup>	
		середня	максимальна
Великобританія:			
загальна	2000	13,6	680
регіональна	700	300	8000
Країни європейської співдружності	-	20-50	400
США	30000	133	740
Німеччина	13000	40	300-1350
Австралія	3600	10-53	395
Італія	5000	20-50	3500
Фінляндія	-	200	800
Данія	-	10-50	400
Кувейт	60	41,3	108
Іран	250	80	3200
Швеція:			
дома до 1975р.	315	122	-
дома після 1975р.	96	59	-

Велика кількість вимірів у багатьох країнах (США - 30 000 вимірів, Німеччини - 13000, Італії - 5000 й ін.) і використання для

вимірів інтегральних радонометрів пасивного типу при експозиції протягом декількох місяців забезпечує надійність отриманих результатів і дозволяє виявити загальні закономірності формування об'ємної активності радону у повітрі приміщень будинків.

Широкий діапазон варіацій середніх значень (13.6 - 133 Бк/м<sup>3</sup>) і максимальних їхніх значень (108 - 3500 Бк/м<sup>3</sup>) порозумівається, у першу чергу, геологічними відмінностями місць забудови в країнах і різному вмісті радію-222 у будівельних матеріалах конструкцій, що обгороджують.

Найбільша кількість вимірів виконана в односімейних будинках (одно- або двоповерхових), менша кількість вимірів проведена у квартирах багатопверхових будинків. Порівняння отриманих результатів вимірів у різних країнах дозволило встановити, що основним джерелом надходження радону-222 у повітря приміщення є ґрунт, що підстилає, під будинком (найбільш вагомим). Широкий діапазон варіацій як середніх, так і максимальних величин об'ємної активності радону в повітрі приміщень будинків різних країн говорить про те, що для одержання об'єктивних даних необхідно вести дослідження на рівні окремих регіонів країн.

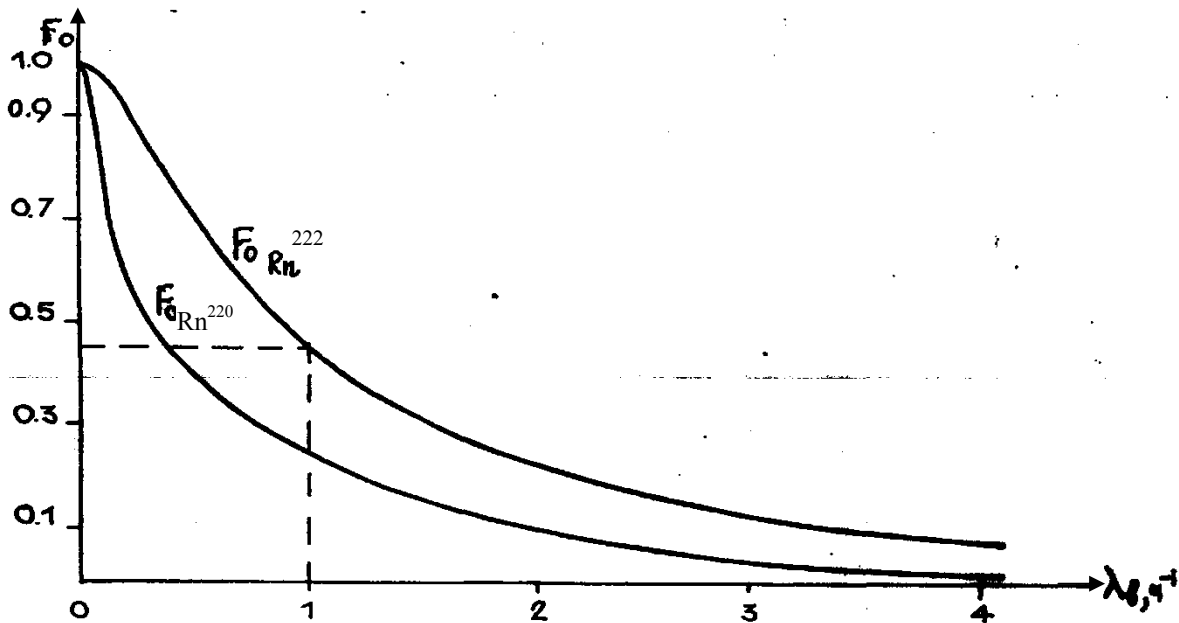
Небезпека внутрішнього опромінення організму людини несуть не тільки ізотопи радону як радіоактивні гази але і їхні дочірні продукти розпаду (ДПР), що перебувають у повітрі приміщень у вигляді радіоерозолей. При цьому ДПР радону більш ніж на 80% визначають величину внутрішньої складової ефективної дози опромінення. Тому регламентованим радіаційним параметром, що визначає величину внутрішньої складової дози, прийнята еквівалентна рівноважна об'ємна активність ізотопів радону ЕРОА - усереднене за рік значення об'ємної активності ізотопів радону в рівновазі з їхніми дочірніми продуктами розпаду, які мають таку потенційну альфа енергію на одиницю об'єму, як і існуюча суміш. ЕРОА ізотопів радону (радон-222 і радон-220) визначають співвідношеннями:

$$\begin{aligned} \text{ЕРОА}_{Rn}^{222} &= A_{vRn} \times F_{oRn} = 0,1046 \times A_{v}^{218}P_{\text{в}} + \\ &+ 0,5161 \times A_{v}^{214}P_{\text{о}} + 0,3793 \times A_{v}^{214}B_{\text{і}}, \end{aligned} \quad (3.13)$$

$$\begin{aligned} \text{ЕРОА}_{Rn}^{220} &= A_{vTn} \times F_{oTn} = 7 \cdot 10^{-6} \times A_{v}^{216}P_{\text{о}} + \\ &+ 0,9133 \times A_{v}^{212}P_{\text{в}} + 0,0867 \times A_{v}^{212}B_{\text{і}}. \end{aligned} \quad (3.14)$$

Об'ємна активність ДПР ізотопів радону у повітрі приміщень і атмосферному повітрі, що визначають еквівалентну дозу легеневої тканини опромінення людини, оцінюється за результатами виміру об'ємної активності ізотопів радону-222 і радону-220 при певних значеннях коефіцієнтів рівноваги  $F_{oRn}^{222}$ ,  $F_{oRn}^{220}$ .

Величина коефіцієнтів рівноваги ізотопів радону характеризує відносини ЕРОА до об'ємної концентрації радону-222 і торона-220 у повітрі приміщення відповідно. Коефіцієнт рівноваги залежить від кратності повітрообміну в приміщенні  $F_o = f(\lambda_0)$  і для визначення використовується графічна залежність (мал. 3.5).



Мал. 3.5. Залежність коефіцієнта рівноваги  $F_o$  від кратності повітрообміну  $\lambda_0$  у приміщенні

Створювана дочірніми продуктами розпаду ізотопів радону об'ємна активність у повітрі приміщення будинку оцінюється внесистемною одиницею - «схована енергія» WL, MeB/л, що визначається по формулі:

$$WL = \sum_{i=1}^3 e E_{a \text{ ДПР}i}, \quad (3.15)$$

де  $E_{a \text{ ДПР}i}$  - енергія альфа-випромінювання  $i$ -го ДПР в одиниці об'єму повітря, MeB/л.



Величина схованої енергії ДПР пропорційна потужності еквівалентної дози опромінення легеневої тканини людини, звідси:

$$EPOA_{Rn(Tn)} = K_{nep} \times WL, \quad (3.16)$$

де  $K_{nep}$  – коефіцієнт перерахування  $WL$  в ЕРОА, Бкхл/м<sup>3</sup>×МеВ.

Знання  $EPOA_{Rn,прим}$ , величина якої пропорційна потужності дози опромінення легеневої тканини людини, дозволяє визначити внутрішню складову ефективної дози опромінення  $H_{ef.внутр}$ , мЗв/рік, обумовлену співвідношенням:

$$H_{ef.внутр} = \sum_{i=1}^n \overline{EPOA_{Rni}} \times K_{nep.i}, \quad (3.17)$$

де  $\overline{EPOA_{Rni}}$  – усереднені річні значення ЕРОА в  $i$ -х умовах перебування людини, Бк/м<sup>3</sup>;

$K_{nep.i}$  - коефіцієнт перекладу радіаційно-гігієнічного параметра  $EPOA_{Rni}$  у дозу опромінення,  $\frac{мЗв \times м^3}{рік \times Бк}$ , рівний 0,061 – у приміщеннях; 0,015 – на відкритому повітрі.

Усереднені річні значення  $\overline{EPOA_{Rn,прим}}$  обумовлені розходженням кліматичних умов протягом року, що позначається на величині показника повітрообміну  $\lambda_{\epsilon}(t)$ .

Значення  $\overline{EPOA_{Rn,прим}}$  визначається по формулі:

$$\overline{EPOA_{Rn,прим}} = EPOA_{Rn,прим}(t_j) \times K_{\lambda_{\epsilon}}(t), \quad (3.18)$$

де:  $EPOA_{Rn,прим}(t_j)$  - значення регламентованого параметра на час виміру  $t_j$ ;

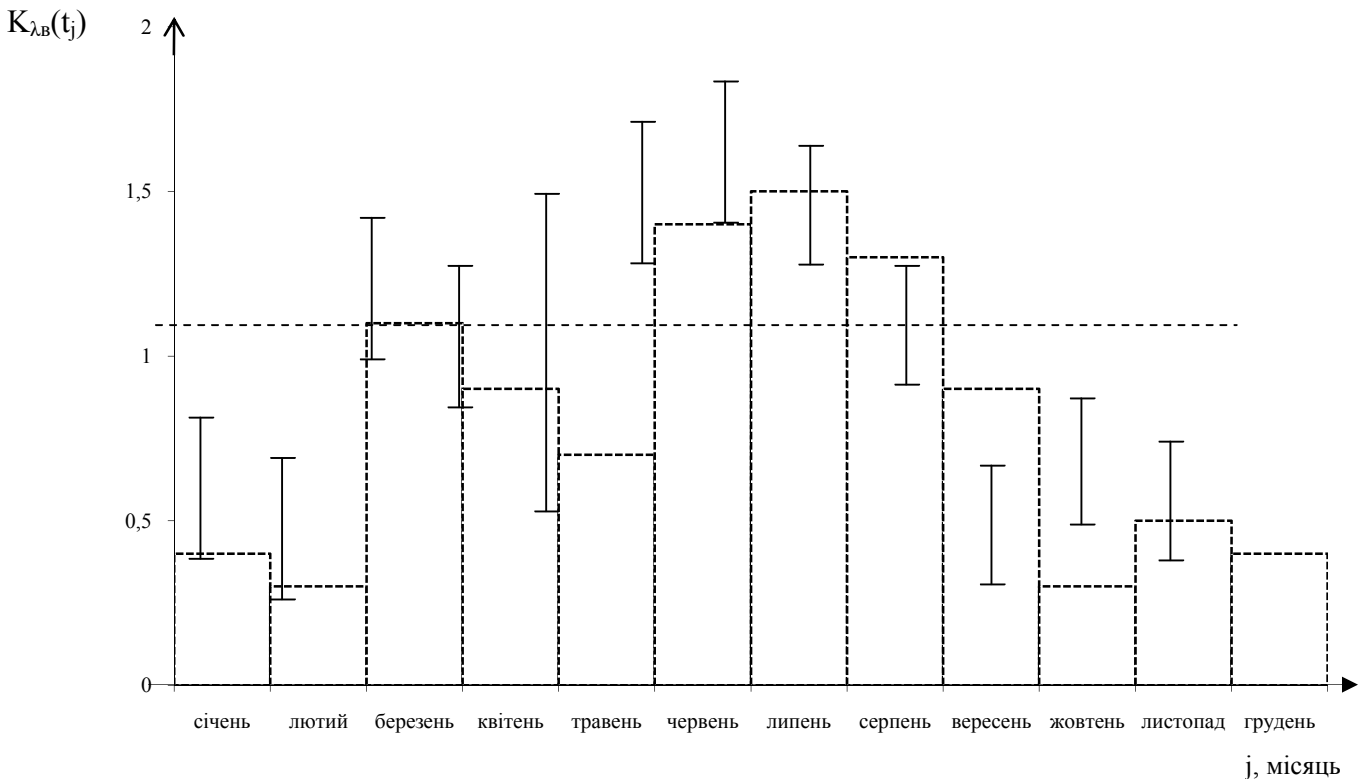
$K_{\lambda_{\epsilon}}(t_j) = \lambda_{\epsilon}(t_j) / \lambda_{\epsilon}$ , – коефіцієнт обліку кратності повітрообміну в приміщеннях будинку на  $j$ -й місяць року (мал. 3.6);

$\lambda_{\epsilon} = \sum_{j=1}^{12} \lambda_{\epsilon j} / 12$  – середнє значення повітрообміну в приміщеннях

будинків за рік на досліджуваній території.

Зменшення  $K_{\lambda_{\epsilon}}(t_j)$  в осінньо-зимовий період, а відповідно і збільшення  $EPOA_{Rn,прим}(t_j)$  обумовлено зменшенням кратності

повітрообміну  $\lambda_e$  у приміщеннях і збільшенням бародифузійної складової швидкості ексхалції радону із ґрунту, що підстилає.



**Мал. 3.6. Величина коефіцієнта повітрообміну в приміщеннях  $K_{lv}(t_{міс})$  житлових будинків міста по місяцях року**

У табл. 3.30 наведені результати досліджень еквівалентної рівноважної об'ємної активності радону і внутрішньої складової ефективною річної дози в житлових будинках різних країн (по даним МКРЗ).

Використовуючи дані табл. 3.30  $EPOA_{Rn}$ , Бк/м<sup>3</sup>, і  $H_{ef}$ , мЗвхрік<sup>-1</sup>, і статистичні дані про перебування людини на рік (у житлових приміщеннях – 6000 годин, в інших приміщеннях -1500 годин, поза приміщення – 1200 годин), визначаємо значення коефіцієнтів переходу  $K_{пер}$  (табл. 3.30).

В Україні фахівці Наукового центра радіаційної медицини АМН провели дослідження  $\overline{EPOA}_{Rn прим}$ , Бк/м<sup>3</sup>, для одноповерхових будинків у ряді областей країни (табл. 3.31).

Таблиця 3.30

**Еквівалентна рівноважна об'ємна активність радону  
ЕРОА<sub>Rn</sub> і річна ефективна доза  $H_{ef}$  у житлових будинках  
різних країн при  $\lambda_0=0,7 \text{ год}^{-1}$**

Країна або район	Будинок, приміщення	ЕРОА <sub>Rn</sub> , Бк/м <sup>3</sup>	$H_{ef}$ , мЗв/рік	Розрахункові значення $K_{nep}$ , мЗв·м <sup>-3</sup> /рік·Бк
Австрія	Порівн. значення для Зальцбурга	12	0,7	0,099
Канада	Типові канадські будинки	17	1,0	0,059
	Підв. приміщ., будів. елементи	4,8	0,3	0,062
Фінляндія	Квартири, крім 1-го поверху	17	1,0	0,059
Німеччина	Середнє для 32 будинків	8,1	0,5	0,061
Норвегія	Квартири, крім 1-го поверху	11	0,7	0,060
	Середнє значення	26	1,6	0,064
Угорщина	Ізольовані	20	1,2	0,06
Польща	Середнє значення	6-17	0,36-1,0	0,061
Швеція	Середнє значення	60	3,7	0,061
Великобританія	Дома на одну родину	15	0,92	0,061
	Середнє значення	13	0,79	0,061
США	Нью-Йорк	15	0,92	0,061
СНД	Квартири, крім 1-го поверху	4,8	0,29	0,061
	Дома на 1 родину і квартири на 1-х поверхах.	16	0,98	0,061

Таблиця 3.31

**Коефіцієнти переходу від ЕРОА ізотопів радону  
до  $H_{ef}$  рік  $K_{nepiRn}(Tn)$  з обліком часу перебування за рік**

Місцезнаходження	Тривалість перебування, год/рік	$K_{nep}$ , мЗв·м <sup>-3</sup> /рік·Бк
Житлові приміщення	6000	0,061
Інші приміщення	1500	0,016
Поза приміщеннями	1260	0,014

**Середньозважені річні значення  $\overline{EPOA}_{Rn прим}$   
для одноповерхових будинків ряду областей України (НЦРМ)**

Область	Середньозважене значення $\overline{EPOA}_{Rn прим}$ , Бк/м <sup>3</sup>	Стандартне відхилення, Бк/м <sup>3</sup>
Вінницька	79	36
Волинська	19	11
Житомирська	70	62
Запорізька	94	63
Київська	45	28
Одеська	115	48
Полтавська	44	26
Рівенська	65	18
Сумська	36	22
Херсонська	156	77
Черкаська	89	74
Чернігівська	38	29

Результати досліджень, наведені в табл. 3.32, ще раз показують, що розходження геологічних структур, гірських порід на території областей розміщених на Українському кристалічному щиті, і поза, значною мірою визначає величину  $\overline{EPOA}_{Rn прим}$  (від 19 до 65 Бк/м<sup>3</sup> – області поза УКЩ і від 70 до 150 Бк/м<sup>3</sup> – області на УКЩ).

### 3.6. Контрольні питання

1. Якими параметрами оцінюється радіоактивність мінеральних видів сировини і відходів промисловості, використовуваних у будівельному виробництві?

2. Як пояснити підвищений вміст радіонуклідів у відходах промисловості в порівнянні з вихідною сировиною?

3. Поясніть необхідність знання регіональних даних радіоактивності будівельних матеріалів при наявності усереднених значень по країні?

4. Чому ізотопи радону і їхні дочірні продукти розпаду визнані основними дозоутворюючими радіонуклідами?

5. Які параметри будівельних матеріалів конструкцій, що обгороджують, і ґрунту, що підстилає, під будинком визначають величину швидкості ексхалації (надходження) ізотопів радону у повітря приміщень будинку?

6. Поясніть більш високий рівень потужності поглиненої дози гама-фона в приміщеннях панельних (блокових) будинків, з керамічної цегли, бетону в порівнянні з іншими використовуваними видами матеріалів?

7. Що характеризує еквівалентна рівноважна об'ємна активність ізотопів радону і їх ДПР у повітрі приміщень будинку і на основі знання яких параметрів вона визначається?

## РОЗДІЛ 4

### Організація і ведення радіаційного контролю будівельного виробництва

#### 4.1. Система радіаційного контролю будівельного виробництва в Україні

Відповідно до рекомендацій Міжнародної комісії з радіологічного захисту (МКРЗ) регулюванню підлягають ті техногенно-підвищені джерела іонізуючого випромінювання, які дають найбільший внесок у сумарну ефективну дозу опромінення і на величину яких людина може впливати (регулювати). Це повною мірою відноситься до іонізуючих джерел будівельного виробництва.

Становлення і розвиток нормативно-правової бази з питань радіаційної безпеки і захисту населення України від впливу джерел іонізуючих випромінювань будівельного виробництва знайшло своє відбиття в прийнятих законодавчих актах і нормативно-правових документах.

Радіаційний контроль входить складовою частиною контролю якості будівельної продукції в Україні по забезпеченню надійності і санітарно-гігієнічних нормативів у будинках і спорудженнях під час їхньої експлуатації та вимог до вишукувань на території, відведеної під будівництво.

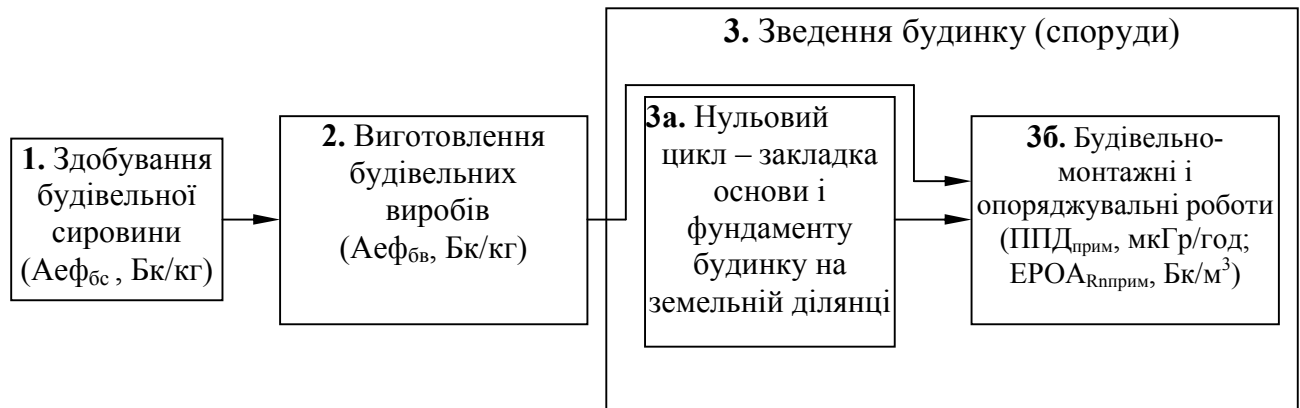
Система радіаційного контролю будівельного виробництва (СРКБВ) включає комплекс взаємозалежних нормативних документів, виконання норм і правил яких забезпечують зниження до нормативних рівнів іонізуючих випромінювань природних радіонуклідів у побудованих об'єктах, джерелами яких є будівельні матеріали, вироби і конструкції, а також навколишнє середовище людини [15].

СРКБВ організована відповідно до Державних будівельних норм України ДБН В.1.4-(0.01-2.01)-97 «Система норм і правил зниження рівня іонізуючих випромінювань природних радіонуклідів у будівництві», які встановлюють:

- норми і правила організаційних робіт із забезпечення зниження рівня іонізуючих джерел випромінювання і організаційно-методичних вимог до нормування радіаційної безпеки в будівництві;

- норми і правила контролю радіаційних параметрів сировини, матеріалів і об'єктів будівництва;
- правила і методи зниження рівня іонізуючого випромінювання ПРН будівельного виробництва;
- правила нормування матеріально-технічних, трудових й економічних витрат, пов'язаних із забезпеченням радіаційної безпеки при зведенні й експлуатації об'єктів будівництва.

Радіаційний контроль охоплює всі етапи технологічного циклу будівництва (мал. 4.1): видобуток будівельної сировини й матеріалів; виготовлення будівельних виробів і конструкцій; зведення будинків і споруджень; нульовий етап робіт - закладка підвалини й фундаменту будинку на території, відведеної під будівництво; виконання будівельно-монтажних робіт зі зведення будинку й опоряджувальних робіт.



Мал. 4.1. Етапи життєвого циклу будівельного виробництва і регламентовані радіаційні параметри (ДБН В.1.4. - 2.01-97)

Організаційно-технологічні основи побудови СРКБВ наведені на мал. 4.2.

Установлено три види радіаційного контролю:

- вхідний (ВРК) сировини, будівельних матеріалів по величині параметра  $A_{efbc}$ , Бк/кг, для мінеральних видів сировини, відходів промислового виробництва, штучних заповнювачів (щебені і в'язкі усіх видів, арматурна і конструкційна сталь);
- контроль у процесі виробництва (РКБВ) будівельних виробів і конструкцій об'єктів будівництва по величині параметра  $A_{efbv}$ , Бк/кг;
- остаточний радіаційний контроль закінчених будівельних об'єктів (ОРКО) по величині параметрів ППД<sub>прим</sub>, мкГр/год, і ЕРОА<sub>Рприм</sub>, Бк/м<sup>3</sup>.



**Мал. 4.2. Організаційно-технологічні основи побудови системи радіаційного контролю будівельного виробництва**

Уведення в експлуатацію об'єктів, зведених (капітально відремонтованих, реконструйованих) без проведення ОРКО вважається незаконним, і будь-які акти, що підтверджують факт уведення об'єкта без радіаційного обстеження, не мають юридичної чинності і не підлягають оплаті в банку.

Залежно від розв'язуваних завдань система радіаційного контролю може бути двох видів:

- система разових радіаційних обстежень (РРО) призначена для здійснення радіаційного контролю окремих об'єктів (будинків, споруджень), партій сировини і будівельних матеріалів і видачі документів, що підтверджують виконання (не виконання) вимог до нормативних рівнів радіаційних параметрів.

Система РРО дозволяє реалізувати принцип неперевищення НРБУ-97 по забезпеченню радіаційної безпеки;

- система систематичних радіаційних обстежень (СРО) призначена для:
  - постійних довгострокових обстежень (об'єктів у межах міста, району, області, регіону; об'єктів будівництва, що споруджують однією організацією; продукції одного підприємства);



- видачі документів, що підтверджують виконання (не виконання) вимог до нормативних або контрольних рівнів радіаційних параметрів;
- постійного поповнення в банку даних виконаних результатів обстежень із використанням ПЕОМ, їхню обробку та аналіз;
- розробку рекомендацій замовникові щодо встановлення або зміни контрольних рівнів радіаційних параметрів.

Система СРО дозволяє реалізувати принцип оптимізації НРБУ-97 по забезпеченню радіаційної безпеки об'єктів будівництва.

Контрольні рівні радіаційних параметрів устанавлюються з метою зниження рівня іонізуючих випромінювань ПРН нижче припустимого з обліком економічних і соціальних факторів, що дозволяє поліпшити радіаційну якість продукції. Вони встановлюються на основі довгострокового систематичного радіаційного моніторингу будівельної продукції та аналізу його результатів.

Установлено наступні ранги служб радіаційного контролю:

- лабораторії радіаційного контролю, що здійснюють систематичні радіаційні обстеження;
- лабораторії радіаційного контролю, що здійснюють разові радіаційні обстеження;
- пости радіаційного контролю.

Всі служби радіаційного контролю повинні в обов'язковому порядку пройти акредитації в Держстандарті і Мінздраві України, а також мати протокол, що забезпечує єдність вимірів регламентованих радіаційних параметрів на території України, який дає їм право на проведення радіаційного контролю.

Право видачі протоколу, що порівнює єдність вимірів параметрів відповідно до «інтервалу прийнятності», мають:

- регіональні лабораторії I<sup>го</sup> рангу – Науковий центр радіаційної медицини (НЦРМ) АМН України або Держстандарт України;
- лабораторії I<sup>го</sup> й II<sup>го</sup> рангів – регіональні лабораторії I<sup>го</sup> рангу;
- пости радіаційного контролю – лабораторії I<sup>го</sup> й II<sup>го</sup> рангів.

Кожна служба радіаційного контролю повинна мати:

- повний затверджений комплект нормативної, методичної, юридичної і інформаційної документації;

- комплект контрольного, вимірювального і дослідницького встаткування та умови для їхнього ефективного розміщення і заощадження, які забезпечують якісне виконання робіт у повному обсязі.

З метою підвищення рівня якості об'єктів будівництва необхідно здійснювати експертизу проектної документації будинків і споруджень житло-цивільного і промислового призначення на виконання вимог норм радіаційної безпеки. Закладка радіаційних захисних заходів у проектну документацію на об'єкт будівництва за світовими даними є більш економічно виправданою, чим при реконструкції, і становить до 3 % від повної вартості будівництва [80].

### **4.2. Регламентовані радіаційні параметри на окремих етапах будівельного виробництва і їхні припустимі рівні**

Згідно НРБУ-97 всі будівельні матеріали України підрозділяються по радіоактивності на три класи, для кожного з яких визначені області можливого використання в будівництві (табл. 4.1).

Система радіаційного контролю будівельного виробництва включає: регламентовані радіаційні параметри на кожному з етапів будівельного виробництва і їхніх припустимих значень, організацію і ведення контролю (хто і які прилади проводить виміри контрольованих параметрів із вказівкою форм звітної документації, апробовані методики виміру контрольованих параметрів). Вхідним контрольованим радіаційним параметром будівельної сировини і вироблених будівельних матеріалів (виробів) є ефективна питома активність домінуючих радіонуклідів (радію-226, торія-232, калію-40) в одиниці маси  $A_{ef}$ , Бк/кг. Всі види будівельної сировини (матеріалів) і виготовлених виробів (конструкцій) по радіоактивності підрозділяються на три класи, для кожного визначені області можливого використання в будівництві.

Таблиця 4.1

**Регламентовані радіаційні параметри  
будівельного виробництва і їхні припустимі рівні**

Регламентований радіаційний параметр	Припустимі рівні для груп будівельних об'єктів			
	1 – побудовані, відремонтовані житлово-цивільного і промислового призначення	2 – житлово-цивільного і промислового призначення, побудовані до 1.01.1992р.	3 – промислового і дорожнього призначення, де виключене тривале перебування людей	4 – промислового і господарського призначення, де виключене перебування людей
Ефективна питома активність ПРН у будівельній сировині, матеріалах, виробках $A_{ef}$ , Бк/кг	$\leq 370$ 1 клас	не нормується	$\leq 740$ 2 клас	$\leq 1350$ 3 клас
Потужність поглиненої (експозиційної) дози в приміщенні ППД <sub>прим</sub> , мкГрхгод <sup>-1</sup> (ЕПД, мкР/год <sup>-1</sup> )	$\leq 0,26$ (30)	$\leq 0,44$ (50)	не нормується	не нормується
Середньорічна еквівалентна рівноважна об'ємна активність радону-222 у повітрі приміщення $EPOA_{Rnприм}$ , Бк/м <sup>3</sup>	$\leq 50$	$\leq 50$	не нормується	не нормується

Матеріали I класу ( $A_{ef} \leq 370$  Бк/кг) можуть застосовуватися для всіх видів будівництва без обмеження.

Матеріали II класу ( $370 \text{ Бк/кг} < A_{ef} \leq 740 \text{ Бк/кг}$ ) – для об'єктів промислового, господарського і дорожнього призначення, де перебування людей менше 1700 годин на рік.

Матеріали III класу ( $740 \text{ Бк/кг} < A_{ef} \leq 1350 \text{ Бк/кг}$ ) – для окремих ізольованих об'єктів і споруджень, об'єктів промислового і дорожнього призначення, які практично не пов'язані з перебуванням людей.

Якщо  $A_{ef} > 1350$  Бк/кг, то питання про можливі сфери використання таких матеріалів вирішується в кожному випадку за узгодженням з МОЗ України.

Наведена класифікація поширюється на всі види будівельної сировини, матеріалів, включаючи відходи промислового виробництва з різною ефективною питомою активністю радіонуклідів. Нормативи по величині ефективної питомої активності ПРН відносяться не тільки до сировини, але і до готової продукції - будівельним матеріалам (цемент, щебені, бетон й ін.).

Контрольовані радіаційні параметри при здачі об'єктів будівництва в експлуатацію, а також після реконструкції або ремонту, наведені в табл. 4.1.

Усередині приміщень проєктованих, споруджуваних і будинків, які підлягають реконструкції, споруджень із постійним перебуванням людей ефективна доза зовнішнього гама-опромінення оцінюється по величині потужності поглиненої дози (ППД), що не повинна перевищувати 0,26 мкГр/год, а в приміщеннях виробничих будинків 0,44 мкГр/год. ППД величиною 0,26 і 0,44 мкГр/год відповідає потужності експозиційної дози (ЕПД) 30 і 50 мкР/год.

Якщо ППД<sub>прим</sub> усередині приміщень експлуатованих будинків і споруджень із постійним перебуванням людей перевищує 0,44 мкГр/год, то в них обов'язкове проведення протирадіаційних захисних заходів, у випадку неможливості зниження ППД<sub>прим</sub> до 0,44 мкГр/год, необхідно змінити призначення приміщень або обмежити час перебування в них людей.

Доза внутрішнього опромінення, обумовлена вмістом ПРН у будівельних матеріалах обгороджувальних конструкцій (стіни, перекриття) приміщень і ґрунті, що підстилає, під будинком, визначається, у першу чергу, надходженням радіоактивних газів - ізотопів радону-222 (продуктів розпаду радію-226 і радію-224) у повітря приміщень будинку.

Вміст ізотопів радону в повітрі приміщень характеризується середньорічною еквівалентною рівноважною об'ємною активністю ізотопів радону і їх ДПР у повітрі приміщень  $EPOA_{Rn}$ , Бк/м<sup>3</sup>. Величина  $EPOA_{Rnприм}$  у повітрі приміщень проєктованих, споруджуваних і будинків, які підлягають реконструкції, споруджень із постійним перебуванням людей не повинна перевищувати 50(3) Бк/м<sup>3</sup> [(100(6) Бк/м<sup>3</sup> – для експлуатованих приміщень будинків, побудованих до 1 січня 1998 р.)]. Якщо  $EPOA_{Rnприм}$  у повітрі приміщень експлуатованих

будинків і споруджень із постійним перебуванням людей перевищує зазначені значення, то в них рекомендується проведення стандартного комплексу протирадонових захисних заходів (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

**Критерії для ухвалення рішення  
про проведення протирадіаційних захисних заходів**

Категорія ухвалення рішення	ППД <sub>прим</sub> , мкГр/год	ЕРОА <sub>Rn(Tn)</sub> , Бк/м <sup>3</sup> (середньорічна)	Рішення
I	0,44	50 (3)	Заходи не обов'язкові
II	0,44	50- 100 (3-6)	Рекомендується проведення стандартного комплексу протирадонових заходів (посилення природної вентиляції приміщення, вентиляція підпільного простору й ін.)
III	0,44 >0,44 >0,44	>100(6) 100 (6) >100 (6)	Проведення протирадонових заходів обов'язково. Проведення комплексу протирадонових заходів: герметизація перекриттів першого поверху в будинку; вентиляція підпільного простору; посилення природної вентиляції квартир, покриття масляними або епоксидними фарбами стін; обклеювання стін шпалерами на полімерній основі; відвід радону з-під будинку за допомогою дренажного пристрою.
IV	0,44 >0,44 >0,44	100 (6) 100 (6) > 100 (6)	Якщо заходи не приводять до зниження ППД, ЕРОА <sub>Rn(Tn)</sub> вирішується питання про зміну призначення приміщення або обмеження часу перебування в ньому людей.

Якщо ЕРОА<sub>Rnприм</sub> у повітрі приміщень експлуатованих будинків і споруджень із постійним перебуванням людей перевищує 100 (6) Бк/м<sup>3</sup>, то проведення протирадонових заходів обов'язково.

У випадку неможливості зниження ЕРОА<sub>Rnприм</sub> нижче 100 (6) Бк/м<sup>3</sup> всіма можливими протирадоновими заходами, необхідно змінити призначення приміщень або обмежити час перебування в них людей.

Аналіз контрольованих радіаційних параметрів показує, що система контролю охоплює основні етапи будівельного виробництва.

Припустимі рівні контрольованих радіаційних параметрів будівельного виробництва в кожній країні встановлюють із урахуванням результатів досліджень вмісту домінуючих ПРН у мінеральних видах використовуваної будівельної сировини, соціально-економічних можливостей і рекомендацій МКРЗ і НКДАР ООН.

У табл. 4.3 наведені припустимі значення контрольованих радіаційних параметрів будівельних матеріалів (виробів) усередині приміщень будинків, прийняті в ряді країн світу.

Таблиця 4.3

**Припустимі рівні радіаційних параметрів будівельних матеріалів  
(виробів) у приміщеннях будинків і критерії на  
обов'язкове проведення захисних заходів  
у ряді країн світу**

Країна	$A_{efcm}(ci)$ , Бк/кг, для житлових промисло- вих будинків	ППД, мкГр/год, у приміщеннях житлових (промислових) будинків	ЕРОА <sub>Rn</sub> , Бк/м <sup>3</sup> , у приміщеннях		Рівні параметрів, що визначають обов'язкове проведення захисних заходів
			проектованих будинків житлових, промислових	експлуатованих будинків	
Великобританія	≤ 370 (740)	0,26 (0,44)	50	200	ППД > 0,44 мкГр /год ЕРОА <sub>Rn</sub> > 200 Бк/м <sup>3</sup>
Німеччина	≤ 370(740)	0,26 (0,44)	50	200	ППД > 0,44 мкГр /год
Канада	≤ 370(740)	0,26	100	400	ППД > 0,44 мкГр /год ЕРОА <sub>Rn</sub> > 400 Бк/м <sup>3</sup>
Росія	≤ 370(740)	0,26 (0,44)	100	200	ППД > 0,44 мкГр /год ЕРОА <sub>Rn</sub> > 200 Бк/м <sup>3</sup>
США	≤ 370(740)	0,26	55	80	ППД > 0,44 мкГр /год
Україна	≤ 370(740)	0,26 (0,44)	<u>50</u> 300	<u>100</u> 300	ППД > 0,44 мкГр /год ЕРОА <sub>Rn</sub> > 100 Бк/м <sup>3</sup>
Фінляндія	≤ 370(740)	0,26 (0,24)	100	400	ППД > 0,44 мкГр /год ЕРОА <sub>Rn</sub> > 400 Бк/м <sup>3</sup>
Швеція	≤ 370(740)	0,26 (0,44)	100	200	ППД > 0,44 мкГр /год ЕРОА <sub>Rn</sub> > 400 Бк/м <sup>3</sup>

Аналіз припустимих значень контрольованих радіаційних параметрів будівельних матеріалів і об'єктів будівництва в ряді країн світу показує, що нормативно-правове поле України відповідає вимогам МКРЗ по забезпеченню радіаційної безпеки людини.

Прийнята система організації і ведення радіаційного контролю будівельного виробництва в Україні дозволяє забезпечити не перевищення встановлених припустимих радіаційно-гігієнічних рівнів контрольованих параметрів, але не містить конкретних рекомендацій з їхнього зниження для реалізації принципу оптимізації НРБУ-97.

### 4.3. Організація і ведення радіаційного контролю будівельних видів сировини (матеріалів), виготовлених виробів і об'єктів будівництва

Радіаційному контролю підлягають всі види будівельної сировини і матеріалів, виготовлені вироби (конструкції) і вихідна продукція будівельного виробництва - здавані в експлуатацію приміщення будинків і споруджень. Структура організації системи радіаційного контролю будівельного виробництва наведена в табл. 4.4.

Таблиця 4.4

#### Організація радіаційного контролю будівельного виробництва

Що, чим і ким контролюється	Етапи будівельного виробництва		
Регламентовані радіаційні параметри	Видобуток будівельної сировини (матеріалів) і виготовлення виробів (конструкцій) $A_{ef. бм(бв)}$ , Бк/кг		Зведення будинку: ПДД <sub>прим</sub> , мкГр/год; ЕРОА <sub>Rn(Tn)прим</sub> , Бк/м <sup>3</sup>
Необхідні вимірювальні прилади	Обов'язкові для прийняття рішень	Гама-спектрометрична установка	-дозиметри типу ДРГ-01Т1, ДБГ-01; -пасивні трекові радонметри (ПТР)
	Можливі для пошукових й оцінних рішень	Гама-радіометри, дозиметри (метод експрес-оцінки)	-дозиметри типу ДРГ-01Т1, ДБГ-01, СРП-88; - ПТР й активні радонметри
Сили для виконання контролю	Відомчого контролю	Пости радіаційного контролю підприємств. Лабораторії радіаційного контролю	Лабораторії радіаційного контролю
	Позавідомчого (державного санітарного контролю)	Радіологічні лабораторії СЕС міста, району, області	Радіологічні лабораторії СЕС міста, району, області

Кожне підприємство, що добуває та робить будівельну сировину і матеріали, повинне контролювати їх ефективну питому активність.

Радіоактивність будівельної сировини і матеріалів вимірюється працівниками постів радіаційного контролю підприємств методом експрес-оцінки за допомогою рекомендованих типів гама-радіометрів і дозиметрів. У випадку перевищення нормативу 1 класу ( $A_{ef} > 370$  Бк/кг), проба сировини або матеріалів зазначеної партії направляється для дослідження на гама-спектрометричний аналіз ПРН у відомчу обласну лабораторію радіаційного контролю, а партія до одержання результату аналізу не відвантажується споживачеві. Незалежно від результату експрес-оцінки, підприємства, які виготовляють будівельну сировину або матеріали, направляють, щотижня, з поточного виходу у відомчу обласну лабораторію радіаційного контролю на гама-спектрометричний аналіз одну-дві проби сировини або матеріалів.

На підставі результатів систематичних аналізів відомчої обласної лабораторії радіаційного контролю і даних експрес-оцінок підприємство-постачальник видає споживачеві сертифікат радіаційної якості будівельної сировини або матеріалу при наявності не менш 30 представницьких проб на даний вид (табл. 4.5).

Позавідомчий (державний санітарний) контроль будівельної сировини, матеріалів виконує вибірково радіологічний відділ (група, лабораторія) територіальної санітарно-епідеміологічної станції на всіх підприємствах-постачальниках будівельної сировини і матеріалів області.

Вихідний радіаційний контроль об'єктів будівництва (контроль потужності поглиненої дози гама-випромінювання і еквівалентної рівноважної об'ємної активності ізотопів радону в повітрі приміщень) виконують працівники відомчої лабораторії радіаційного контролю.

Потужність поглиненої дози (ППД) гама-випромінювання вимірюється в кожному приміщенні будинку, що здається в експлуатацію, до закінчення опоряджувальних робіт. Виміри виконуються працівниками відомчої обласної лабораторії радіаційного контролю з використанням рекомендованих дозиметрів, які мають поріг чутливості не більше 0,09 мкГр/год і максимальний рівень залежності від енергії випромінювання, що не перевищує 30% у діапазоні енергії від 30 кеВ до 3 МеВ. Результати вимірів оформляються у вигляді акту (табл. 4.6) із вказівкою приладу, який використовується, і дати його державної перевірки. Один екземпляр додається до документів приймально-здавальної комісії на приймання будинку в експлуатацію, а іншої, при необхідності, передається в територіальну СЕС.



Таблиця 4.5

Штамп підприємства

**ЗАТВЕРДЖУЮ**Директор \_\_\_\_\_  
(організації, що проводить вимір)(підпис) (ПІБ)  
М.П.**ПАСПОРТ****радіаційної якості речовин і будівельного матеріалу  
(дійсний протягом \_\_\_\_\_ від дня видачі)**

Виданий кому \_\_\_\_\_ адреса \_\_\_\_\_

Виданий ким \_\_\_\_\_ адреса \_\_\_\_\_

(№ ліцензії, дата видачі)

Дата видачі \_\_\_\_\_ Метод виміру \_\_\_\_\_

Тип приладу \_\_\_\_\_ Дата проведення Держперевірки \_\_\_\_\_

№ п/ п	Назва речовини і будматеріалу	Радій- 226, Бк/кг	Торій- 232, Бк/кг	Калій- 40, Бк/кг	$A_{ef}$ , Бк/кг	Клас використан ня
				Середнє		

Класифікація по класах використання:

1 клас ( $A_{ef} \leq 370$  Бк/кг) – всі види будівництва без обмежень.2 клас ( $A_{ef} \leq 740$  Бк/кг) – для об'єктів промислового, цивільного і дорожнього призначення, де присутність людей менше 1700 годин на рік.3 клас ( $A_{ef} \leq 1350$  Бк/кг) – для окремих ізольованих об'єктів або споруджень, об'єктів промислового і дорожнього призначення, які практично не пов'язані із присутністю людей.Зав.лабораторією  
радіаційного контролю \_\_\_\_\_  
(підпис) (П. І. Б.)Інженер-дозиметрист \_\_\_\_\_  
(підпис) (П. І. Б.)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**Директор \_\_\_\_\_  
(організації, що проводить вимір)\_\_\_\_\_  
(підпис) (П.І.Б.)  
М.П.**АКТ****за результатами обстеження потужності поглиненої дози (ППД)  
зовнішнього гама-випромінювання в приміщеннях на об'єкті**\_\_\_\_\_  
(найменування об'єкта обстеження)\_\_\_\_\_  
(найменування організації, що проводила обстеження)

Дата проведення виміру “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ м.

Тип приладу \_\_\_\_\_ Дата проведення Держперевірки \_\_\_\_\_

№ п/п	Місце виміру	ППД, мкГр/год	Примітка

Середнє значення по об'єкту \_\_\_\_\_

**ВИСНОВОК: На об'єкті не треба (треба) рекомендувати проведення**

(непотрібне закреслити)

**протирадіаційних заходів, тому що при обстеженні не виявлені  
(виявлені) рівні гама-випромінювання вище нормативних величин.**Зав.лабораторією  
радіаційного контролю \_\_\_\_\_  
(підпис) (П. І. Б.)Інженер-дозиметрист \_\_\_\_\_  
(підпис) (П. І. Б.)

При виявленні в приміщенні потужності поглиненої дози гама-випромінювання, що перевищує припустимий рівень, рішення про його використання приймається після проведення додаткового дослідження відомчою обласною лабораторією радіаційного контролю, разом з територіальної СЕС, з використанням прецизійних приладів (іонізаційні

камери високого тиску, термолюмінесцентні дозиметри, гама-спектрометри).

Потужність поглиненої дози гама-випромінювання в будинках, які експлуатуються, може бути визначена відомчою обласною лабораторією радіаційного контролю або територіальною лабораторією СЕС по окремому замовленню. Позавідомчий контроль потужності дози гама-випромінювання в приміщеннях будинків, які здаються в експлуатацію, виконується вибірково територіальними СЕС.

Для виміру еквівалентної рівноважної об'ємної активності ізотопів радону в повітрі приміщень будинків рекомендується використати пасивні трекові радонометри.

У приміщеннях житлових будинків, що здаються в експлуатацію, виміри  $EPOA_{Rnprim}$  проводяться при закритих вікнах, входних дверях і включеному опаленні на перших поверхах не менш чим у двох кімнатах кожної квартири міського типу або будинків сільського типу. У виробничих будинках, що здаються в експлуатацію, виміри проводяться у всіх приміщеннях, де є постійні робочі місця. Час експонування  $EPOA_{Rnprim}$  інтегруючими вимірювальними пристроями – пасивними трековими радонометрами повинне бути не менш 7 діб. Допускається використання короточасних вимірників з попередньою витримкою будинку при закритих вікнах, входних дверях і включеному опаленні протягом 7 діб.

Результати вимірів  $EPOA_{Rnprim}$  оформляються у вигляді акту із вказівкою методу, що використовується (табл. 4.7). Один екземпляр додається до документів приймально-здавальної комісії із приймання будинків в експлуатацію, а інший, при необхідності, передається в територіальну СЕС.

В експлуатованих житлових будинках виміру  $EPOA_{Rn}$  рекомендується проводити на перших поверхах не менш, ніж у двох кімнатах квартири або будинку, тільки інтегральними пасивними вимірниками згодом експозиції не менш 7 діб (рекомендований час 2-3 місяця). У випадку перевищення нормативу, необхідно продовжити виміри в протилежні сезони року (листопад-березень і травень-вересень) для одержання середньорічної  $EPOA_{Rn}$ , що не повинна перевищувати встановленого рівня. Виміру об'ємної активності ізотопів радону в повітря приміщень експлуатованих будинків виконує відомча

## РОЗДІЛ 4

обласна лабораторія радіаційного контролю за планом обстеження області або за заявкою домовласників або установ. Всі результати вимірів  $EPOA_{Rn(Tn)прим}$  оформляються відповідно до сертифіката (табл. 4.7).

Таблиця 4.7

### ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор \_\_\_\_\_  
(організації, що проводить вимір)

\_\_\_\_\_ (підпис) \_\_\_\_\_ (П. І. Б.)  
М.П.

### АКТ № \_\_\_\_\_

#### за результатами виміру еквівалентної рівноважної об'ємної активності (ЕРОА) радону в повітрі приміщення на об'єкті будівництва

\_\_\_\_\_ (найменування організації, що проводила обстеження)  
Ліцензія № \_\_\_\_\_ від «\_\_» \_\_\_\_\_ М.  
видана \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ (найменування організації яка видала ліцензію)  
Виміри проведені приладом \_\_\_\_\_ Зав. №. \_\_\_\_\_  
Дата проведення Держперевірки \_\_\_\_\_  
Метод \_\_\_\_\_  
Об'єкт \_\_\_\_\_  
(найменування об'єкта дослідження)  
Адреса \_\_\_\_\_  
Дата проведення виміру “\_\_” \_\_\_\_\_ М.

№ п/п	Місце виміру	ЕРОА радону-222, Бк/м <sup>3</sup>

Кількість вимірів: \_\_\_\_\_

#### ВИСНОВОК:

Під час обстеження не виявлене (виявлено) рівень ЕРОА радону,

(непотрібне закреслити)

що перевищує норматив для побудованих і реконструйованих будинків (50 Бк/м<sup>3</sup>).

Не рекомендується (рекомендується) провести повторне обстеження.

(непотрібне закреслити)

Зав.лабораторією  
радіаційного контролю \_\_\_\_\_ (підпис) \_\_\_\_\_ (П. І. Б.)

Інженер-дозиметрист \_\_\_\_\_ (підпис) \_\_\_\_\_ (П. І. Б.)

#### 4.4. Структура системи радіаційного контролю будівельного виробництва, що відповідає принципам НРБУ-97

Іонізуючі джерела випромінювання (ІДВ) будівельного виробництва, незважаючи на порівняно малий вміст ПРН у них, домінують по внеску у величину сумарної ефективної дози опромінення людини. Отже, діюча система радіаційного контролю будівельного виробництва (СРКБВ) в Україні не повною мірою відповідає міжнародним вимогам системи якості випущеної продукції, по виконуваним функціям (забезпечення, керування, підвищення) і ключовим аспектам її закладки якості на стадіях виробництва (проектування, етапах технологічного циклу будівництва і експлуатації об'єктів будівництва).

Аналіз діючої системи радіаційного контролю відповідно до принципів МКРЗ, НРБУ-97 і ISO-9000 дозволив виявляти наступні недоліки:

- не охоплені безпосереднім контролем джерела радонопостачання у повітря приміщень будинків (основний дозоутворюючий радіонуклід), що утрудняє вибір і застосування необхідних захисних заходів з урахуванням їх ефективності і вартості;
- вихідний контроль радіаційних параметрів у приміщеннях при прийомі будинків (споруджень) в експлуатацію дозволяє лише реєструвати рівень радіаційної якості об'єкта, крім практично застосування захисних заходів щодо зменшення рівня іонізуючих випромінювань джерел;
- у нормативно-правових документах не має рекомендації із установлення контрольних рівнів радіаційних параметрів будівельного виробництва і не розкриті вміст і можливості основних груп захисних заходів;
- основний ресурс радіаційної якості продукції будівельного виробництва повинен закладатися на стадії проектування будинку (спорудження), що передбачено обов'язковим виконанням у проекті розділу «Заходи щодо зниження рівня іонізуючих випромінювань природних радіонуклідів», але не визначений обсяг необхідної апріорної інформації і метод рішення цього завдання.

У нормативних документах по організації і веденню радіаційного контролю будівельного виробництва України для приведення її у

відповідність із міжнародними вимогами системи якості продукції уведені контрольні рівні для регламентованих радіаційних параметрів, установлені на основі реалізації комплексу захисних заходів. Виконання цих положень нормативних документів дозволить СРКБВ у більшій мірі відповідати міжнародним вимогам системи якості продукції ISO-9000, вирішуючи завдання радіаційної безпеки на найбільш продуктивному етапі виробництва - стадії проектування будинку (спорудження). Саме на стадії проектування є можливість вибору найбільш оптимального варіанта рішення за допомогою захисних заходів.

Рішення завдання досягнення радіаційної безпеки об'єктів будівництва, що відповідає міжнародним вимогам системи якості продукції і принципам НРБУ-97, базується на дотриманні сучасних радіаційно-гігієнічних положень концепції радіаційного захисту людини та можливостей захисних заходів щодо зменшення впливу іонізуючих джерел виробництва.

Радіаційна безпека є складовою частиною оцінки екологічного стану навколишнього середовища і метод її рішення базується на мінімізації антропогенної складової радіаційного фону, що досягається шляхом зменшення впливу іонізуючих джерел.

Будівельне виробництво є результатом діяльності людини, що визначило необхідність ведення системи радіаційного контролю будівельного виробництва (СРКБВ) відповідно до Державних будівельних норм ДБН В. 1.4-(0.01 ÷ 2.01)-97 (табл.4.4).

Зменшення інтенсивності впливу іонізуючих випромінювань будівельного виробництва може досягатися тільки проведенням комплексу протирадіаційних захисних заходів.

Структура системи контролю, що забезпечує керування радіаційної якості будівельної продукції на кожній стадії виробництва, наведена в табл. 4.8.

При цьому для радіаційних параметрів установлені порядок із припустимими рівнями  $X_{don}$ , і їхні контрольні рівні  $X^{kp}$ , що відбивають можливості захисних заходів щодо їхнього зменшення. Значення контрольних рівнів параметрів  $X_i^{kp}$  у відповідності з вимогами НРБУ-97 повинні бути нижче їхніх припустимих рівнів:

$$X_i^{kp} < X_i^{don}. \quad (4.1)$$

Якщо виконання умови – значення радіаційного параметра менше припустимого рівня  $X_i \leq X_i^{don}$  є необхідною умовою для дотримання

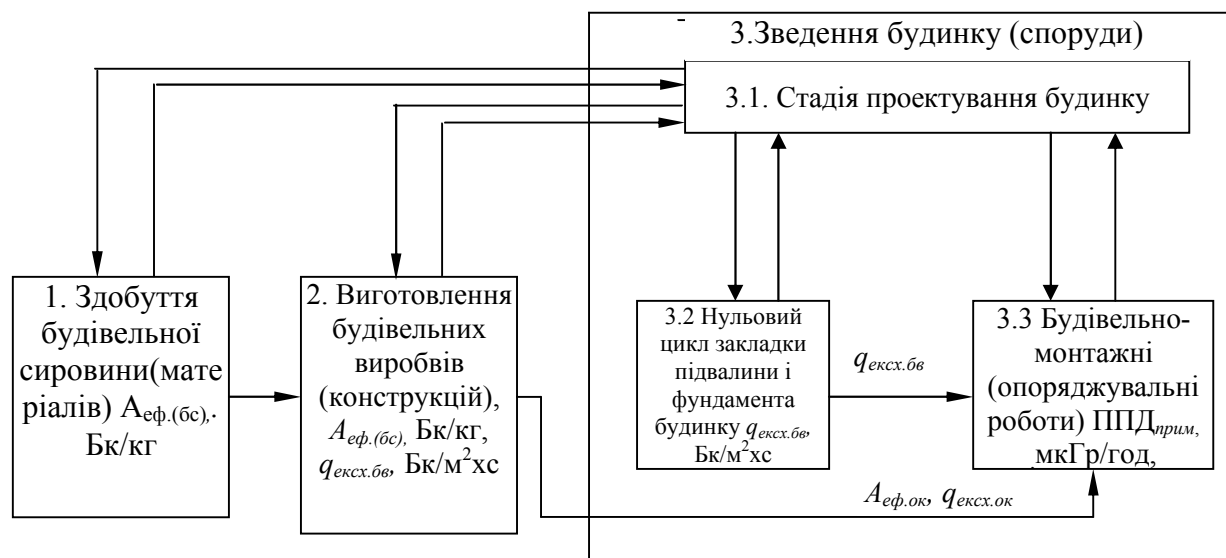
радіаційно-гігієнічних вимог, то виконання умови – значення радіаційного параметра повинно бути менше встановленого його контрольного рівня відбиває умову достатності по мінімізації впливу іонізуючого джерела на основі реалізації захисних заходів:

$$X_i < X_i^{kp} \quad (4.2)$$

Таким чином, дотримання необхідної умови дозволяє виконувати системою контролю тільки функцію забезпечення якості, а виконання функції керування якістю можливо тільки при дотриманні умови достатності (формула 4.2). Виконання умови достатності відповідає принципу оптимізації по зниженню дози опромінення в приміщеннях будинків до мінімально можливого рівня.

Встановлені контрольні рівні радіаційних параметрів будівельного виробництва повинні відбивати реальні можливості протирадіаційних захисних заходів щодо зменшення впливу іонізуючих джерел будівельного виробництва. (табл.4.8)

Структурна схема керованої системи радіаційного контролю будівельного виробництва, що відповідає вимогам системи якості продукції ISO-9000 і НРБУ-97, наведена на мал. 4.3.



**Мал. 4.3. Блок-схема закладки радіаційної якості на всіх етапах циклу будівельного виробництва**

**Регламентовані радіаційні параметри будівельного виробництва та необхідні для керування радіаційною якістю продукції**

Етапи циклу будівельного виробництва	Регламентовані радіаційні параметри (ДБН В.1.4)	Припустимі рівні параметрів	СРКБВ, що задовольняє вимогам МКРЗ, НРБУ-97		
			забезпечувати	керувати	підвищувати якість
1. Видобуток будівельної сировини й матеріалів	Ефективна питома активність $A_{\text{ефбс(бв)}}$ , Бк/кг	$\leq 370$	$A_{\text{ефбс}} \leq 370$	$A_{\text{ефбс}} < A_{\text{еф.бс}}^{\text{кр}}$	$\downarrow A_{\text{еф.бс}}^{\text{кр}} (t)$
2. Виготовлення будівельних виробів (конструкцій)			$A_{\text{ефбв}} \leq 370;$ $q_{\text{ексх.ок}} < q_{\text{ексх.ок}}^{\text{доп}}$ (Бк/м <sup>2</sup> ×с)	$A_{\text{ефбв}} \leq A_{\text{еф.бв}}^{\text{кр}}$ $q_{\text{ексх.ок}} < q_{\text{ексх.бв}}^{\text{кр}}$	$\downarrow A_{\text{еф.бв}}^{\text{кр}} (t);$ $\downarrow q_{\text{ексх.бв}}^{\text{кр}} (t)$
3. Зведення будинків і споруджень	Потужність поглиненої дози в приміщенні ППД <sub>прим</sub> , мкГр/год	$\leq 0,26$	ППД <sub>прим</sub> $\leq 0,26$	ППД <sub>прим</sub> $< \text{ППД}_{\text{прим}}^{\text{кр}}$	$\downarrow \text{ППД}_{\text{прим}}^{\text{кр}} (t)$
3а. Закладка основи і фундаменту будинку на ділянці, відведеній під будівництво	_____	_____	$q_{\text{ексх.гр}} \leq q_{\text{ексх.гр}}^{\text{доп}};$ (Бк/м <sup>2</sup> ×с)	$q_{\text{ексх.гр}} \leq q_{\text{ексх.гр}}^{\text{кр}};$ (Бк/м <sup>2</sup> ×с)	$\downarrow q_{\text{ексх.гр}}^{\text{кр}} (t)$
3б. Будівельно-монтажні і оздоблювальні роботи	Еквівалентна рівноважна об'ємна активність радону ЕРОА <sub>прим</sub> , Бк/м <sup>3</sup>	$\leq 50$	ЕРОА <sub>Рп</sub> $\leq 50$	ЕРОА <sub>прим</sub> $\leq \text{ЕРОА}_{\text{прим}}^{\text{кр}}$	$\downarrow \text{ЕРОА}_{\text{прим}}^{\text{кр}} (t)$

Реалізація принципу оптимізації радіаційної безпеки можлива тільки при веденні радіаційного контролю об'єктів будівництва на керованій основі, коли вже на стадії проектування будинку визначили не тільки очікуваний радіаційний фон в приміщеннях майбутнього будинку, але й обраний варіант реалізації захисних заходів щодо зменшення впливу радіаційних параметрів іонізуючих джерел до мінімально можливого рівня.

Встановлені контрольні рівні радіаційних параметрів будівельного виробництва повинні відбивати реальні можливості протирадіаційних захисних заходів щодо зменшення впливу іонізуючих джерел будівельного виробництва.



Особливості ІДВ будівельного виробництва по радіонуклідному составу і створюваному радіаційному фоні в приміщеннях будинку в порівнянні з індустріальними ІДВ вимагають розробки «свого» комплексу протирадіаційних захисних заходів, основою якого служать нормативні документи і аналіз виконаних досліджень по захисних заходах.

Для виконання системою радіаційного контролю будівельного виробництва функції керування радіаційною якістю випускаємої продукції, необхідно:

- охопити безпосереднім контролем всі іонізуючі джерела будівельного виробництва, визначивши регламентовані параметри і установивши їхні припустимі рівні;
- розробити прогностичні розрахунково-експериментальні моделі визначення радіаційних параметрів виготовлених будівельних виробів (конструкцій) і в приміщеннях будинку на основі кількісного зв'язку з параметрами іонізуючих джерел будівельного виробництва;
- провести аналіз кількісних показників застосовуваних і захисних заходів, що рекомендують, і на цій базі розробити методикау установки регіональних контрольних рівнів радіаційних параметрів для кожного етапу циклу будівельного виробництва;
- з урахуванням значимості стадії проектування будівельного виробництва для одержання радіаційно-якісної продукції визначити необхідний обсяг вхідних проектних даних для рішення завдання радіаційної безпеки.

#### 4.5. Контрольні питання

1. Поясніть призначення системи радіаційного контролю будівельного виробництва і які функції вона виконує?

2. Що характеризують припустимі і контрольні рівні регламентованих радіаційних параметрів будівельного виробництва?

3. Поясніть, чому в приміщеннях будинків, здаваних в експлуатацію, необхідно вимірювати два параметри ( $ППД_{прим}$ ,  $мкГр/год$ , і  $ЕРОА_{прим}$ ,  $Бк/м^3$ )?

4. Які вимоги пред'являються до приладів метрологічного забезпечення системи радіаційного контролю будівництва?

5. Якими елементами необхідно доповнити діючу систему радіаційного контролю будівельного виробництва, щоб вона виконувала функцію керування рівнем радіаційних параметрів?

## РОЗДІЛ 5

Технічні засоби ведення радіаційного контролю  
будівельного виробництва5.1. Методи реєстрації і вимірів іонізуючих  
випромінювань джерел

У людини немає спеціального органа почуттів, що виявив би наявність джерел іонізуючого випромінювання і ступінь їхньої радіаційної небезпеки. Разом з тим всі види іонізуючих випромінювань прямо або побічно взаємодіють із тим середовищем, у яке вони проникають і змінюють її фізичні та хімічні властивості. Ці властивості ДІВ і беруться за основу при розробці методів реєстрації та вимірі їхніх параметрів. Відповідно розрізняють наступні методи реєстрації та виміру іонізуючих випромінювань: іонізаційний, сцинтиляційний, фотометричний, хімічний, калориметричний й інші.

Елементом, що сприймає вплив джерел іонізуючого випромінювання та перетворює їхню енергію в електричний сигнал, є *детектор*. Саме цей елемент прибору забезпечує виконання функції - виявлення та виміру параметрів іонізуючого випромінювання. Принцип роботи детектора значною мірою визначається характером ефекту, викликаного взаємодією іонізуючого випромінювання з речовиною (середовищем).

Іонізаційний метод реєстрації та виміру заснований на здатності іонізуючих випромінювань викликати іонізацію молекул й атомів газу, рідини й твердих речовин. Якщо іонізація відбувається в шарі газу двома електродами, що мають різні потенціали, то утворені іони будуть рухатися до відповідних електродів й у ланцюзі виникає електричний струм.

Властивості іонізаційного методу розглянемо на основі аналізу вольт амперної характеристики іонізаційної камери, що представляє залежність струму, що протікає через неї, від прикладеної до її електродів різниці потенціалів електричного джерела живлення.

При низькій напрузі на електродах іонізаційної камери електрони й іони, утворені впливом іонізуючого випромінювання, будуть рухатися до відповідних електродів й у ланцюзі виникає струм. З ростом напруги на електродах камери струм через камеру росте за законом Ома й,

нарешті, різниця потенціалів досягає такої величини, при якій практично всі іони, утворені іонізуючим випромінюванням у камері, досягають її електродів, струм дорівнює  $I_{нас}$ . Подальше збільшення різниці потенціалів практично не викликає росту струму через камеру, при незмінних характеристиках поля випромінювання. Припускаючи рівномірну іонізацію в обсязі камери  $V_{кам}$ , струм насичення  $I_{нас}$  визначається співвідношенням:

$$I_{нас} = K_i \times q_e \times V_{кам}, \quad (5.1)$$

де:  $K_i$  – число пар іонів, що утворюються в одиниці об'єму камери за секунду;

$q_e$  – заряд одного іона;

Якщо  $P_e$  – потужність дози іонізуючого випромінювання в повітрі, то в одиницю часу буде створюватися  $P_e/E_{y\delta}$  пара іонів на одиницю маси повітря, а струм в обсязі камери визначається:

$$I_{нас} = \frac{q_e \times V_{к\text{лм}} \times \rho_e}{E_{y\delta}}, \quad (5.2)$$

де:  $E_{y\delta} = 33,85$  еВ/пар іонів – питома енергія іоноутворення;

$\rho_e$  – щільність повітря ( $1,29 \cdot 10^{-3}$  г/см<sup>3</sup>).

Помноживши обидві частини співвідношення 5.2 на час  $t$ , одержимо,

$$Q_n = \frac{q_e \times V_{к\text{лм}} \times \rho_e}{E_{y\delta}} \times D_e, \quad (5.3)$$

де  $Q_n$  – повна кількість електрики, яка утворена в камері за час  $t$ ;

$D_e = P_e \times t$  – доза іонізуючого випромінювання в повітрі.

Зі співвідношень 5.2 й 5.3 виходить, що струм в іонізаційній камері пропорційний потужності дози, а повна кількість електрики, яка утворена в камері за якийсь час, пропорційно дозі випромінювання за той самий час.

Ціль виміру – визначення поглиненої дози в тканинах організму людини. З обліком того, що ефективний атомний номер цих тканин  $Z_{ef}=7,42$  близький до ефективного номера повітря  $Z_{ef}=7,64$ , то можна визначити поглинену енергію в тканинах організму людини за результатами виміру струму іонізації, створюваного розглянутим випромінюванням у повітрі. Щоб чутливість іонізаційної камери не залежала від енергії випромінювання, стіни камери виготовляють із речовини, що має ефективний атомний номер, близький до ефективного атомного номера повітря (це плексиглас, полістирол). Але виготовлення стінок із цих матеріалів утруднено, частіше використовуються алюмінієві камери. Іонізаційні камери дозволяють розрізнити вид іонізуючого випромінювання, але мають порівняно низьку чутливість. Так, у камері з обсягом в  $100 \text{ см}^3$  при потужності дози  $P=\text{мкГр/год}$  створюється струм  $I < 10^{-13} \text{ А}$ , що важко зареєструвати в умовах повсякденного дозиметричного контролю (потужність дози в повсякденних умовах не перевищує десятих часток цього значення –  $0,28 \text{ мкГр/год}$ ). Низька чутливість обмежує область застосування іонізаційних камер.

Подальше збільшення напруги електричного поля іонізаційного детектора веде до росту швидкості руху іонів, утворених впливом іонізуючого джерела і рухаючих до збираючих електродів.

При визначенні різниці потенціалів кінетична енергія прискорених в електричному полі іонів на ділянці між двома зіткненнями досягне величини, при якій наступить ударна іонізація. Знову утворені іони також будуть прискорюватися в електричному полі, і робити іонізацію атомів газу-заповнювача.

Іонізаційні детектори, у яких використовується принцип газового посилення, називаються газорозрядними лічильниками. Коефіцієнт газового посилення  $K_{газ.нос.}$  – це відношення кількості іонів, що прийшли на електрод, який збирає, до загального числа спочатку утворених іонів ( $K_{газ.нос.}=10^6-10^7$ ). Ефект газового посилення різко збільшує чутливість газорозрядних лічильників у порівнянні з іонізаційними камерами і дозволяє реєструвати окремі види випромінювань. По конструктивному рішенню газорозрядні лічильники, як і іонізаційні камери, підрозділяються на циліндричні і торцеві. Лічильник являє собою циліндр із нержавіючої сталі (катод), усередині якого натягнута нитка товщиною  $0,05-0,1 \text{ мм}$  (анод). Режим роботи лічильника визначається прикладеною напругою. Для пропорційних лічильників характерна пропорційність між кількістю імпульсів і початковою іонізацією. Вони використовуються для

реєстрації виду випромінювання (альфа і бета), ґрунтуючись на аналізі амплітуди і форми імпульсів.

Подальше підвищення напруги приводять до того, що коефіцієнт газового посилення стає залежним від кількості іонів у лавині, причому він буде різним для часток з різною щільністю іонізації. Ця область обмеженої пропорційності дозволяє ще розрізнити вид іонізуючого випромінювання (різне число іонів, створюваних альфа- і бета- частками, ще значніше).

За цією областю лічильник переходить в область самостійного розряду, при якому створюваний імпульс не залежить від початкової іонізації. У процесі розвитку самостійного розряду лічильник стає нечутливим до впливу нових іонізуючих часток і для його повернення в робочий стан розряд треба погасити. Залежно від використовуваного методу гасіння лічильники Гейгера-Мюлера підрозділяються на ті, які самі гасяться (із внутрішнім гасінням) і які не самі гасяться (із зовнішнім гасінням). Для лічильників Гейгера-Мюлера характерна більша амплітуда вихідного сигналу при високій чутливості, але не можна ідентифікувати вид іонізуючого випромінювання.

Газорозрядні лічильники в силу їхньої переваги перед іонізаційною камерою широко використовуються для виміру гама-випромінювання. При цьому постійність чутливості в діапазоні енергії гама-випромінювання 0,09-1,5 МеВ досягається застосуванням багатошарових фільтрів.

Напівпровідниковий детектор є аналогом іонізаційної камери із чутливим твердо тілним елементом. Густина речовини чутливого елемента в напівпровіднику приблизно на три порядки вище щільності газу в іонізаційній камері, а енергія, затрачувана на утворення пари носіїв на порядок нижче, що дає збільшення поглиненої енергії в одиниці об'єму напівпровідника в 100 разів. Висока чутливість при невеликих розмірах - основна перевага напівпровідникових детекторів.

Сцинтиляційний метод реєстрації іонізуючих випромінювань заснований на реєстрації спалахів світла, що виникають у сцинтиляторі (детекторі) під дією іонізуючого випромінювання. Реєстрація світлових спалахів виробляється фотоелектронним примножувачем (ФЕП). Вимірювані величини анодний струм ФЕП (струмовий режим) або швидкість рахунку імпульсів (рахунковий режим) пропорційні потужності дози випромінювання.

Іонізуюче випромінювання, взаємодіючи з речовиною сцинтилятора, створює в ньому спалах світла. Деяка частина фотонів світла через світлопровід попадає на фотокатод ФЕП і вириває з нього фотоелектрони. Фотоелектрони проходять через фокусуєчу діафрагму і прискорюються електричним полем, що існує між примножуючими електродами (динодами). Кожен прискорений електрон, гальмуючись у диноді, вибиває з нього кілька вторинних електронів, які, завдяки спеціальній геометрії динода, направляються на наступний динод. Потік електронів збирається на останньому диноді, називаний анодом. Живлення ФЕП здійснюється за допомогою джерела високої стабілізованої напруги з дільником. У ланцюг анода ФЕП включається опір навантаження, на якому виділяється імпульс напруги. Виготовлені промисловістю ФЕП мають коефіцієнт множення  $M$  у межах  $10^5$ - $10^6$ .

Середній струм на аноді ФЕП  $I_\phi$  визначається співвідношенням:

$$I_\phi = e \times \frac{\eta_k \times E_n \times K_{\phi e} \times M}{E} \quad (5.4)$$

де:  $e$  – заряд електрона;

$\eta_k$  – конверсійна ефективність (відношення енергії світлових фотонів  $E_\phi$  до енергії зарядженої частки  $E_n$  поглиненої в сцинтиляторі);

$K_{\phi e}$  – число фотоелектронів на один випущений світловий фотон;

$E$  – середня енергія фотона.

Чутливість сцинтиляційного детектора описується вираженням:

$$\frac{I_\phi}{D} = \frac{e \times \eta_k \times K_{\phi e} \times M \times V \times \rho_z}{\bar{E}} \times \frac{1 - \exp(-\mu_z \times h)}{\mu_z \times h} \times \frac{\mu_{en,m,z}}{\mu_{en,m,b}}, \quad (5.5)$$

де  $V, \rho_z$  – обсяг, щільність сцинтилятора відповідно;

$\bar{E}$  – середня енергія фотона;

$h$  – висота сцинтилятора;

$\mu_z$  – лінійний коефіцієнт ослаблення фотонів у сцинтиляторі;

$\mu_{en,m,b}; \mu_{en,m,z}$  – масовий коефіцієнт поглинання енергії в повітрі і у речовині сцинтилятора відповідно.

Сцинтиляційний детектор має високу чутливість, але в області низьких енергій (нижче 100 - 200 кеВ) чутливість змінюється, що обмежує область їхнього застосування.

Фотометричний метод реєстрації заснований на властивості іонізуючих випромінювань впливати на чутливий шар фотоматеріалів аналогічно видимому світлу. Під впливом іонізуючого випромінювання в кристалах чутливого шару утворюються центри прояву, що складаються із груп атомів металевого срібла. У процесі прояву відбувається відновлення металевого срібла в тих кристалах, де утворилися центри схованого зображення, що приводить до почорніння фотоемульсії. Наступне закріплення (фіксування) виводить із емульсії залишки невідновленого срібла, і вони стають нечутливими до випромінювання.

Ступінь почорніння фотоемульсії характеризується оптичною щільністю почорніння  $S$ :

$$S = \lg\left(\frac{I_0}{I}\right), \quad (5.6)$$

де:  $I_0$  – інтенсивність світлового пучка, що падає на плівку;

$I$  – інтенсивність світла, що пройшло через плівку.

Ступінь почорніння плівки пропорційна експозиційній дозі. Щільність почорніння вимірюють за допомогою денситометрів. Фотографічний метод реєстрації іонізуючих випромінювань має ряд переваг у порівнянні з іншими методами: дешевизна, можливість тривалого зберігання інформації, несприйнятливості до ударів, зміни температури. До недоліків методу варто віднести невисоку чутливість, неможливість безпосередньо вимірювати дозу опромінення, залежність показань від умови обробки плівки.

Хімічний метод реєстрації іонізуючих випромінювань заснований на зміні виходу радіаційно-хімічних реакцій, що протікають у рідкій або твердій хімічній системах під дією іонізуючих випромінювань.

Радіаційно-хімічний вихід пропорційний поглиненій дозі випромінювання  $D$ :

$$D = \frac{K \times C}{G \times \rho}, \quad (5.7)$$

де:  $K$  – коефіцієнт пропорційності;

$C$  – концентрація продукту;

$G$  – вихід одного із продуктів радіаційно-хімічної реакції;

$\rho$  – густина речовини, що підверглася опроміненню.

Даний метод використовують при реєстрації значних рівнів радіації, тому що він має невисоку чутливість.

Калориметричний метод реєстрації іонізуючих випромінювань заснований на вимірі кількості теплоти, виділеної в детекторі при поглинанні енергії іонізуючих випромінювань. Співвідношення між зміною температури  $\Delta T$  і дозою випромінювання  $D_g$  має вигляд:

$$\Delta T = 8,8 \cdot 10^{-6} \times \frac{\mu_{k,t,z}}{C_m \times \mu_{k,t,b}} \times \frac{1 - e^{-\mu_z \times h}}{\mu_z \times h} \times D_g, \quad (5.8)$$

де  $\mu_{k,t,z}, \mu_{k,t,b}$  – масовий коефіцієнт передачі енергії для  $Z$  – речовини і для повітря відповідно;

$C_m$  – питома теплоємність;

$\mu_z$  – лінійний коефіцієнт ослаблення пучка для речовини ослаблювача;

$h$  – висота циліндра поглинача.



Нагрівання тіла пропорційне дозі випромінювання. Для тканино-еквівалентного поглинача при  $\mu_z \times h \ll 1$  и  $\frac{\mu_{k,t,z}}{\mu_{k,t,b}} = 0$ ,  $C_m = 4,2u\Delta T = 2 \cdot 10^{-6}$  Дв, тобто доза 500Р підвищить температуру всього на  $10^{-3}$  градуса. Метод застосовується в основному для дослідницьких цілей, коли прямим абсолютним методом вимірюється інтенсивність випромінювання або активність радіоактивного препарату.

На базі розглянутих методів виявлення і реєстрації ДВ будуються прилади радіаційного контролю будівельного виробництва, які як би відіграють роль додаткового органа почуттів для людини по визначенню наявності джерела радіації і виміри їхніх параметрів.

## 5.2. Метрологічне забезпечення ведення радіаційного контролю на всіх етапах будівельного виробництва

Вміст регламентованих ПРН у будівельних матеріалах, застосовуваних для виготовлення несучих і конструкцій, що обгороджують, будинку, і в ґрунті, що підстилає, незначно відрізняється від вмісту їх у навколишнім середовищі. Тому при вимірі їхньої активності - число імпульсів рахунку показання радіометричних приладів незначно перевищує число фонових імпульсів. Це визначає необхідність мати високочутливі прилади для ведення радіаційного контролю будівельного виробництва.

Знання видів іонізуючих випромінювань, якими супроводжується розпад домінуючих радіонуклідів будівельного виробництва, їхніх енергетичних характеристик і параметрів, а також створеного ними радіаційного фону в приміщеннях будинків визначає вимоги до методів виміру. Для вибору методу виміру мало задатися мінімальною концентрацією домінуючих радіонуклідів в іонізуючих джерелах виробництва, треба задати максимальну погрішність вимірів, припустиму при рішенні поставленого завдання.

Метрологічним показником конкретної радонометричної установки для оцінки її застосовності для виміру малих активностей є мінімально детектирована активність МДА, величина якої залежить від прийнятої довірчої погрішності результату виміру  $\delta_x$ ; тривалості виміру  $\tau$ ; значення фонові швидкості  $n_\phi$ ,  $\text{с}^{-1}$ ; радіометра та інших факторів.

## РОЗДІЛ 5

Активність радіонукліда в зразку А, Бк, визначається як різниця рахунку радіометром при вимірі зразка  $n$ ,  $\text{с}^{-1}$ , і фона  $n_{\phi}$ ,  $\text{с}^{-1}$ , ділена на чутливість приладу  $\varepsilon$ ,  $\text{Бк}^{-1} \times \text{с}^{-1}$ :

$$A = \frac{n - n_{\phi}}{\varepsilon}. \quad (5.9)$$

Довірча погрішність (статична)  $\delta_x$  виміру визначається співвідношенням:

$$\delta_x = P_t \times \frac{\sqrt{\frac{n}{\tau} + \frac{n_{\phi}}{\tau}}}{n - n_{\phi}}, \quad (5.10)$$

де  $P_t$  – коефіцієнт, що приводить результат до довірчої ймовірності  $P$ .

Стандартні умови завдання МДА характеризуються  $P = 0,95$  ( $P_{1-} = 1,96$ );  $\delta_x = 50\%$  (0,5) і  $\tau = 1$  год. (3600с). При цьому  $n_x(1,50) = 0,1 \sqrt{n_{\phi}}$  визначається співвідношенням:

$$A(1,50) = 0,1 \times \frac{0,5 \times \sqrt{n_{\phi}}}{\varepsilon}. \quad (5.11)$$

Величина МДА у свідченні на радіометр означає величину активності зразка, що може бути обмірювана даним радіометром за 1 годину зі статичною погрішністю 50% при довірчій ймовірності 0,95:

$$A(\tau, \delta) = A(1,50) / \delta \times \tau. \quad (5.12)$$

Необхідна тривалість виміру  $\tau$  зразка з активністю  $A_x$ , при статичній погрішності  $\delta_x = 50\%$  визначається співвідношенням:

$$\tau = \frac{2500}{\delta_x^2} \times \left[ \left( \frac{A(1,50)}{A_x} \right)^2 \times \left( 1 + \frac{\frac{A_x}{A(1,50)} - 1}{1 + 200 \times A(1,50) \times \varepsilon} \right) \right]. \quad (5.13)$$

Визначення вмісту радіонукліда в будівельних матеріалах, характеризується величиною активності, що приходить на одиницю

маси мінімально детектированої концентрації (МДК). Величина МДК визначається співвідношенням:

$$МДК = \frac{A(\tau, \delta)}{m} = \frac{A(1,50)}{\delta_x \times \sqrt{\tau} \times m}, \quad (5.14)$$

де:  $m$  – маса, відібраної проби матеріалу.

Зменшити величину МДК приладу можна за рахунок збільшення часу виміру  $\tau$  і маси проби матеріалу  $m$ , що і використовується в приладах радіаційного контролю будівельного виробництва.

Результати виміру регламентованих радіаційних параметрів іонізуючих джерел виробництва ( $A_{\text{удРа(Th, K)}}$ , Бк/кг, і  $q_{\text{ексRn}}$ , Бк/м<sup>2</sup>×с) і в приміщеннях будинку (ППД<sub>прим</sub>, мкГр/год, і ЕРОА<sub>Рприм</sub>, Бк/м<sup>3</sup>) носять імовірнісний характер і оцінюються величинами:

- середнє арифметичне  $\bar{x}$ :

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (5.15)$$

де  $x_i$  – результат  $i$ -го виміру параметра;

$n$  – число вимірів;

- середнє квадратичне відхилення  $\sigma_x$ :

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}. \quad (5.16)$$

Величину  $\sigma_x$  можна визначити також по розмаху результатів вимірів за  $n$  спостережень ( $x_{\min}$  і  $x_{\max}$ ) по співвідношенню стандартної погрішності:

$$\sigma_x = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{K}, \quad (5.17)$$

де  $K$  – коефіцієнт, пов'язаний із числом вимірів  $n$  (табл. 5.1).

Значення  $K = f(n)$ 

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	-	1,13	1,69	2,06	2,33	2,53	2,70	2,88	2,97
10	3,08	3,17	3,26	3,34	3,41	3,47	3,53	3,59	3,64	3,69
20	3,73	3,75	3,82	3,86	3,90	3,93	3,96	4,00	4,03	4,06

Величини стандартної погрішності (форм.5.17) відповідає довірча ймовірність, рівна 0.68, тобто приблизно в 7 випадках з 10 обмірювана величина буде відрізняться від середнього арифметичного значення менше, ніж значення стандартної погрішності.

Розподілом стандартної погрішності  $\sigma_x$  на обмірюване значення параметра  $x$  визначаємо відносну погрішність  $\sigma$ :

$$\sigma = \frac{\sigma_x}{x}. \quad (5.18)$$

Для виміру регламентованих радіаційних параметрів будівельного виробництва використовується комплекс вимірювальних приладів, технічні характеристики яких дозволяють вимірювати їхні мінімальні рівні, не перевищуючи максимально припустиму погрішність. Вміст ПРН у будівельних видах сировини і матеріалах оцінюється тільки на гама-вимір [15]. Виміри параметрів ведуться як у стаціонарних, так і у польових умовах.

### 5.3. Прилади, необхідні для ведення радіаційного контролю будівельного виробництва

Радіаційний контроль будівельного виробництва відповідно до НРБУ-97 включає виконання дозиметричних, радіометричних, радонметричних і гамма-спектрометричних вимірів. Відповідно з цим і всю апаратуру по своєму призначенню умовно підрозділяють на наступні групи:

Дозиметричні прилади призначені для виміру дози випромінювання або потужності дози (рівнів радіації). До цієї групи відносять індикатори-сигналізатори, що забезпечують виявлення іонізуючих випромінювань і видають сигналізацію про перевищення встановленого, заданого порога радіації.

Радіометричні прилади призначені для виміру активності радіоактивного джерела, питомої, об'ємної активності, потоку іонізуючих часток квантів, радіоактивного забруднення поверхні.

Радонометричні прилади – для виміру об'ємної активності радіоактивних газів у повітрі.

Спектриметричні прилади дозволяють установити спектр (вміст) радіонуклідів у будь-якому радіоактивно-забрудненому об'єкті (пробі).

Для рішення завдань радіаційного контролю на об'єктах використовуються конкретні типи приладів з великого числа випускаємих промисловістю. Відповідно до вимог по організації радіаційного контролю будівельного виробництва в ДБН В.1.4 - 97 конкретизовані рекомендовані типи приладів для виміру контрольованих радіаційних параметрів будівельних матеріалів і об'єктів будівництва (табл.5.2).

Таблиця 5.2

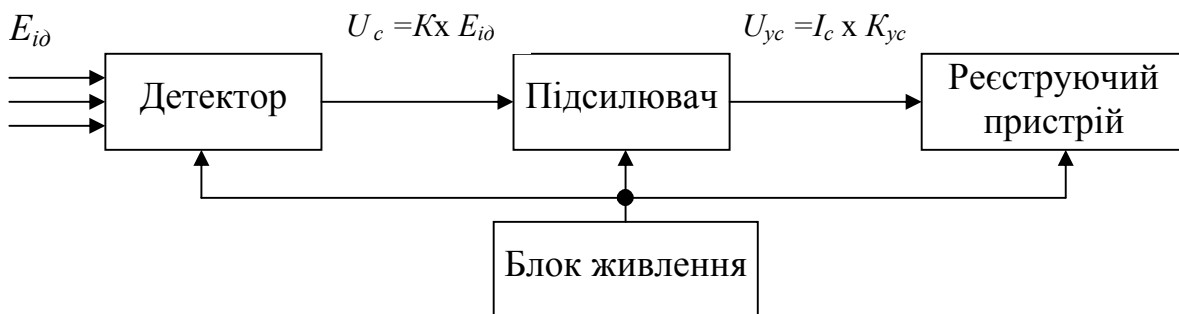
**Необхідні вимірювальні прилади для ведення  
радіаційного контролю будівельного виробництва**

Що і чим контролюється		Етапи будівельного виробництва		
		Виробництво будівельної сировини і матеріалів	Виробництво будівельних виробів і конструкцій	Зведення житлових і виробничих будинків
Контрольовані параметри	радіаційні	Сумарна ефективна питома активність $Ae\phi_{\text{бс(бв)}}$ , Бк/кг		Потужність поглиненої дози, у приміщеннях і поза їх ППД <sub>прим(повітря)</sub> мкГр/год. середньорічна еквівалентна об'ємна активність ізотопів радону і їх ДПР у повітрі приміщень $EPOA_{Rn(Tn)}$ , Бк/м <sup>3</sup>
Вимірювальні прилади	Обов'язкові для ухвалення рішення	Гама-спектрометрична установка		Дозиметри типу ДРГ-01Т1, ДБГ-01, «Прип'ять». Пасивні трекові радонометри. Методи виміру ізотопів радону і їх ДПР із короткочасним відбором і експозицією повітря
	Можливі для пошукових і оцінних вимірів	Методи експрес-оцінки на основі гама-радіометрів		Всі типи дозиметрів, включаючи гама-радіометри типу СРП. Пасивні трекові радонометри. Методи виміру ізотопів радону і їх ДПР із короткочасним відбором і експозицією повітря

Розглянемо пристрій, принцип дії та технічні характеристики основних груп вимірювальних приладів, звернувши особливу увагу на прилади, використовувані при веденні радіаційного контролю будівельного виробництва.

### 5.3.1. Дозиметри

Дозиметри призначені для виміру потужності поглиненої дози, створюваної гама-випромінюваннями при розпаді радіонуклідів, ППД, мкГр/год, у приміщеннях будинків і на відкритій місцевості. Блок-схема дозиметра наведена на мал. 5.1.



Мал. 5.1. Блок-схема пристрою дозиметра

З великого числа випускаємих промисловістю типів дозиметрів для ведення радіаційного контролю будівельного виробництва рекомендується використовувати лише ті, які задовольняють вимогам:

- поріг чутливості повинен бути не більше 10 мкР/год;
- рівень залежності ефективності реєстрації від енергії випромінювання не повинен перевищувати 30% у діапазоні енергії від 30 кеВ до 3,0 МеВ.

Для ведення радіаційного контролю будівельного виробництва відповідно до ДБН В.1.4 - 97 рекомендується використовувати дозиметри типу ДБГ-01Н, ДРГ-01Т1, «Прип'ять», у яких установлені газорозрядні детектори.

Розглянемо принцип дії дозиметрів з газорозрядним детектором. У газорозрядному лічильнику під впливом гама-випромінювання джерела генеруються електричні імпульси струму, які перетворюються в імпульси напруги з амплітудою, достатньої для їхньої реєстрації.

Імпульси напруги через дільник частоти надходять на лічильник імпульсів. Накопичена інформація за цикл виміру надходить на жидкокристалічний індикатор.

### Дозиметр ДБГ-01Н

Дозиметр ДБГ-01Н призначений для виміру потужності еквівалентної дози фотонного іонізуючого випромінювання. Застосовується в промисловості, лабораторіях, на об'єктах будівництва для контролю радіаційної обстановки.

Як детектор іонізуючих випромінювань у дозиметрі використовуються два газорозрядних лічильники типу СБМ-20. Цифрова інформація про потужності еквівалентної дози виводиться на жидкокристалічний індикатор. Живлення дозиметра здійснюється від батареї типу «Корунд» напругою 9В.

Технічні характеристики:

Діапазон виміру, мкЗв/год (мР/год)

на піддіапазонах

- 99,9 0,1 – 99,99 (0,02 – 9,99)

- 999,9 1 – 999,9 (0,1 – 99,99)

Припускаєма основна погрішність виміру на піддіапазонах:

- 99,9  $\pm (20+7/N)$

- 999,9  $\pm (26+70/N)$ ,

де:

.

$N$  – обмірювана потужність дози, мкЗв/год.

Діапазон енергій фотонів, що реєструються Дж (МеВ).

8-483 (0,05 – 3,0)

Залежність чутливості від енергії в діапазоні енергії фотонів від 0,05 до 3,0 МеВ 25%.

Час виміру, сек., на піддіапазонах:

- 99,9 до 35

- 999,9 до 4

### Дозиметр ДРГ-01Т

Дозиметр ДРГ-01Т призначений для виміру потужності експозиційної дози (ПЕД).

Дозиметр складається з детектора (два газорозрядних лічильники типу СБМ - 20 і СІ-34Г), електронного вузла (підсилювача імпульсів, дільника частоти і лічильника імпульсів) і пристрою, що реєструє (жидкокристалічний індикатор).

Керування дозиметром здійснюється за допомогою двох перемикачів («Режим роботи», «Діапазон виміру») і кнопки «Скидання».

Дозиметр працює від автономного джерела живлення (гальванічний елемент «Корунд») 9В.

Технічні характеристики.

Діапазон виміру ПЕД у режимах роботи:

«вимір»            7,16 ( $10^{-13}$ - $10^{-7}$ ) 0,010 мР/год – 9,999 Р/год

«пошук»            7,16 ( $10^{-12}$  –  $10^{-6}$ ) 0,10 мР/год – 99,99 Р/год

Основна погрішність виміру, що допускається, у режимах роботи, %:

«вимір»             $\pm (10+0,5/x)$

«пошук»             $\pm (15+1,0/x)$

$x$  – вимірювана величина ПЕД, мР/год.

Залежність чутливості від енергії в діапазоні від 0,05 до 3,0 МеВ, %  $\pm 25$ .

Прилади сцинтиляційні геологорозвідувальні СРП-68-01, СРП-68-03.

Призначені для виявлення, виміру і реєстрації ПРН при геологічному розведенні виміром ПЕД  $\gamma$  – випромінювання на поверхні ґрунту і на різних глибинах від поверхні земної кори.

Принцип роботи приладів заснований на реєстрації імпульсів, що надходять зі сцинтиляційних блоків детектування.

У блоках детектування використовуються монокристали *NaJ*.

Технічні і експлуатаційні характеристики приладів наступні.



Час виміру, с, у режимах роботи:

«вимір» 25

«пошук» 2,5

Основні технічні характеристики:

Вимірюють потік гама-випромінювання в межах від 0 до 10000 с<sup>-1</sup> і потужність експозиційної дози гама-випромінювання в межах від 0 до 3000 мкР/год.

Піддіапазони виміру потоку гама-випромінювання: 0-100; 0-300; 0-3000; 0-10000 (чорна верхня шкала приладу, с).

Піддіапазони виміру потужності поглиненої дози 0-30; 0-100; 0-300; 0-1000; 0-3000 (нижня червона шкала приладу, мкР/год).

Основна погрішність виміру приладу не перевищує ± 20%. Постійна часу виміру 2,5 сек. або 5 сек. Для перевірки працездатності приладу в його комплект входить і контрольне радіоактивне джерело на основі кобальту-60.

Питому активність об'єктів навколишнього середовища за допомогою приладу СРП визначають по спеціально розробленій методиці з використанням свинцевого будиночка (Запорізького заводу) або посудин типу Маринелі.

Недоліком приладу типу СРП є нелінійна залежність сцинтиляційних детекторів від енергії вимірюваного джерела випромінювання (завищення показань в області м'яких малих енергій). Тому прилади типу СРП є не вимірниками, а індикаторами ПЕД при контролі будівельних матеріалів і об'єктів будівництва (ДБН В.1.4 - 97).

Регламентований радіаційний параметр у приміщеннях будинку – потужність поглиненої дози ППД, мкГр/год, вимірюється дозиметрами, які повинні мати поріг чутливості не більше чим 0,088 мкГр/год (або 10 мкР/год), максимальний рівень залежності реєстрації від енергії випромінювання не повинен перевищувати 30% у діапазоні енергії від 3 кеВ до 3 МеВ. Результат виміру ППД<sub>прим</sub>, мкГр/год, визначається за результатами трьох вимірів тим самим приладом:

$$\text{РОЗДІЛ 5} \quad \text{ППД}_{\text{прим.ср}} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n n \text{ППД}_{\text{прими}} \cdot \quad (5.19)$$

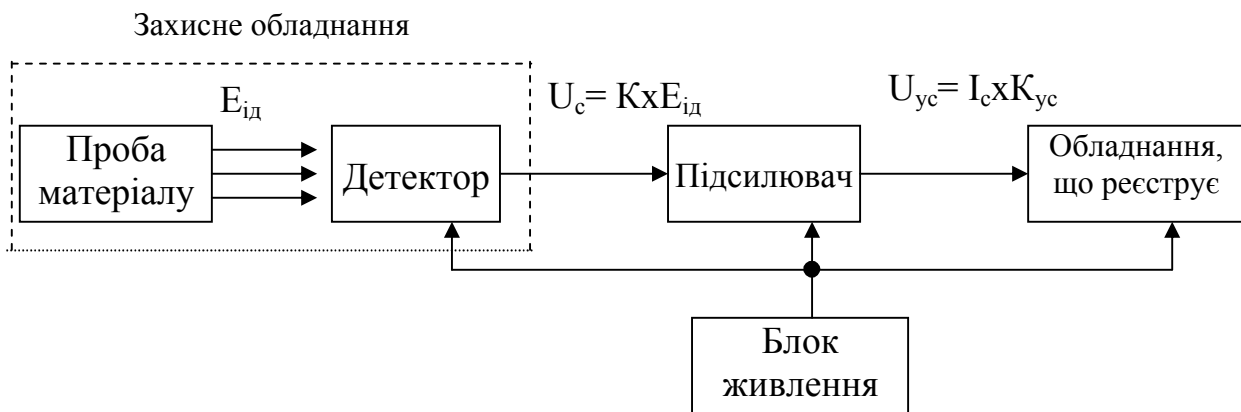
Погрішність вимірів ППД<sub>прим</sub> рекомендованими типами дозиметрів не перевищує ± (10-12 %).

### 5.3.2. Радіометри

Радіометри призначені для виміру ефективної питомої активності ПРН у досліджуваній пробі матеріалу.

Вимоги до гама-радіометрів, застосовуваним для виміру ефективної питомої активності ПРН у будівельних матеріалах, ґрунтуються на необхідності реєстрації малих значень параметрів радіонуклідів у будівельних матеріалах.

Блок-схема пристрою радіометра дана на мал. 5.2.



Мал. 5.2. Блок-схема радіометра

Захисне обладнання у радіометрі призначено для ослаблення впливу на детектор приладу всіх видів іонізуючих випромінювань навколишнього середовища, крім досліджуваної проби, і виготовляється з матеріалів з великою щільністю (свинець, чавун), а товщина пристрою вибирається такою, щоб повністю виключити проникнення  $\alpha$ -,  $\beta$  - випромінювань навколишнього середовища і значною мірою послабити  $\gamma$ -випромінювання.

Використовувані гама радіометри в будівельному виробництві повинні задовольняти наступним вимогам:

- мати високу чутливість, що забезпечує вимір питомої і об'ємної активності ПРН будівельних матеріалів на рівні нижче припустимих концентрацій;
- малу погрішність вимірів;
- забезпечувати експертність при підготовці проб і вимірів;
- можливість контролю працездатності всього вимірювального тракту і його складових частин окремо (блоку детектування і вимірювального пристрою);
- можливість використання для живлення автономних джерел або підключення до електричної мережі;

- 
- мати високу механічну стабільність і міцність до зовнішніх впливів.

Найбільшою мірою всім цим вимогам задовольняють радіометри сцинтиляційного типу.

Принцип роботи гама радіометрів з використанням сцинтиляційних детекторів заснований на перетворенні фізичної інформації енергії випромінювання в електричні сигнали з наступним виміром їхніх параметрів. Функцію перетворювача виконує сцинтиляційний детектор, що складається із кристалу-сцинтилятора і фотоелектронного примножувача (ФЕП). Імпульсні сигнали з ФЕП після посилення і селекції по амплітуді диференціальним дискримінатором перетворюються в послідовність логічних імпульсів, середня частота повторення яких пропорційна вимірюваній фізичній величині. Ці сигнали надходять на лічильник імпульсів. Час заповнення лічильника фіксується таймерним пристроєм, величина, зворотна часу заповнення лічильника, виводиться на пристрій, що реєструє. Шкала приладу, що показує, отградуєвана в одиницях питомої (об'ємної) активності.

### **Гама-радіометр КРГ-05П**

Гама-радіометр КРГ-05П призначений для виміру об'ємної і питомої активності гама випромінюючих нуклідів у пробах різної продукції. Радіометр складається з пульта вимірювального і блоку сигналізації БСР-19П (для радіометрів газів РГБ-06), блоку детектування БДЕГ-13Т, розміщеного у свинцевому захисті. Пульт вимірювальний виконаний у настільно-щитовому виконанні. На передній панелі розташовані прилад, що показує, звуковий сигналізатор, перемикачі режимів роботи і світлових сигналізаторів до них. На задній панелі встановлені рознімання для підключення блоку детектування, блоку сигналізації, мережного живлення, потенціометра самописного і рознімання для контролю сигналу із блоку детектування (виміру частоти імпульсів, що надходять) і перемикачі коефіцієнтів нормування зміни порога спрацьовування сигналізації й ін.

Блок сигналізації ВСР-19П використовується для відбраковування проб. Він являє собою «світлофор», що складається з вузла живлення і керування (лампи зеленого, жовтого і червоного кольорів). Зелені кольори настраюються на питому (об'ємну) активність проб у межах природного фону, жовтий - на питому (об'ємну) активність проб у межах припустимої концентрації і червоний - вище гранично припустимої концентрації.

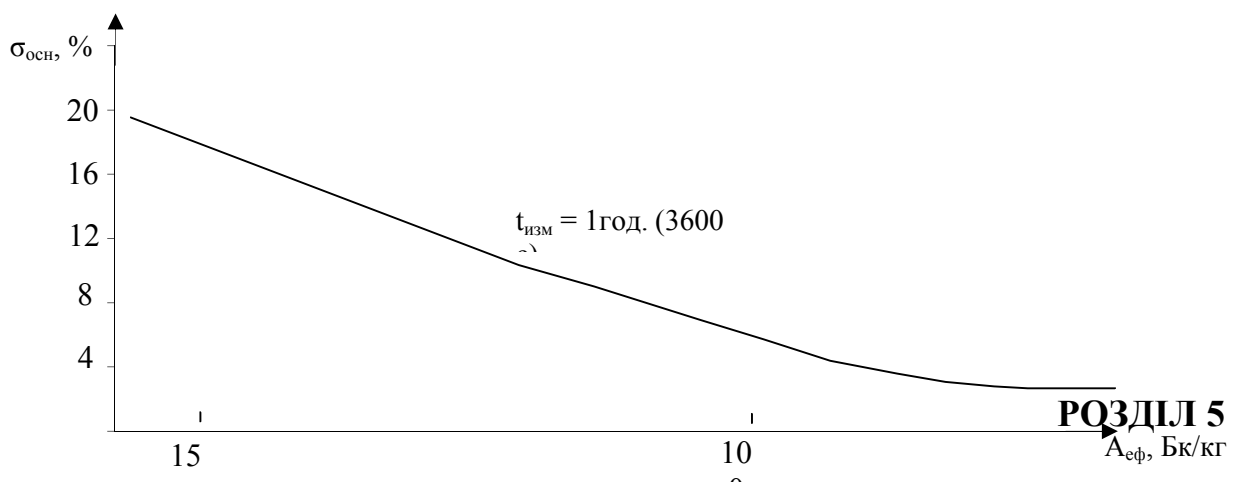
Блок детектування БДЕГ-13П являє собою циліндр змінного перетину, у верхній частині якого розміщується сцинтиляційний індикатор на основі монокристалу розміром 63х63мм із убудованим контрольним джерелом. У нижній частині циліндра розміщені елементи вимірювальної частини.

Вміст ПРН у будівельних видах сировини і матеріалах оцінюється тільки на гама-вимір. Виміри параметрів ведуться в стаціонарних, так і у польових умовах.

У стаціонарних умовах для виміру  $A_{уд Ra (Th, K)}$ , Бк/кг, будівельних видів сировини і матеріалів використовуються гама-спектрометричні комплекси (АМА-0394, АІ-1024-98, гама-плюс й ін.), що мають пороги чутливості ( $A_{уд.Ra}^{min} = 6$  Бк/кг,  $A_{уд.Th}^{min} = 2$  Бк/кг,  $A_{уд.K}^{min} = 20$  Бк/кг), що значно нижче мінімального змісту їх у гірських породах і ґрунтах. Час виміру (20-30 хв) забезпечує одержання результатів з погрішністю, що не перевищує максимально припустиму.

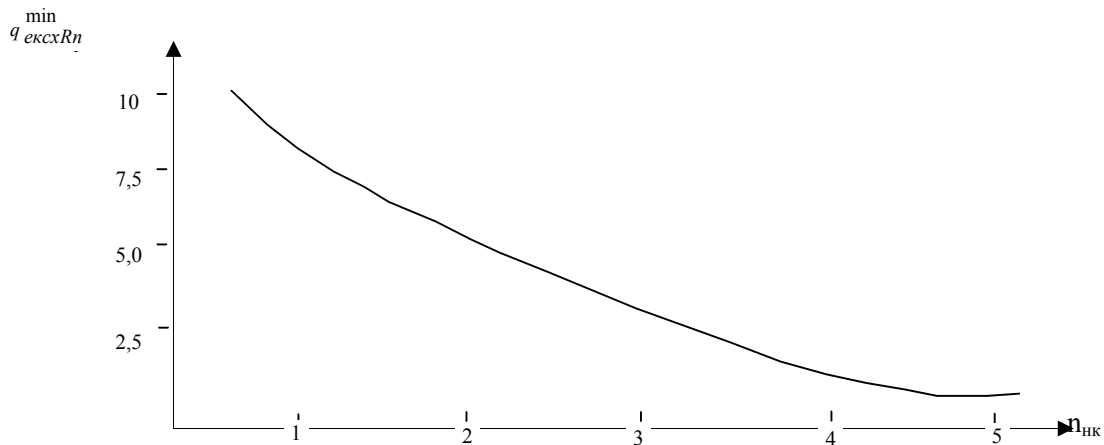
У польових умовах вимір  $A_{уд Ra (Th, K)}$  і  $A_{эф}$  проводиться за допомогою гама-радіометра РУГ-91-М, границі припустимої основної погрішності якого при  $t_{вим} = 1$  година наведені на мал. 5.3.

Регламентований радіаційний параметр радононадходження із іонізуючих джерел (ґрунту, будівельних матеріалів конструкцій, що обгороджують) у повітря приміщень будинків - швидкість ексхалції радону  $q_{ексх.гр}$ , мБк/м<sup>2</sup>хс, вимірюється за допомогою гама-, бета-спектрометрів, радіометрів типу РГА-20П, РУБ-01П6, їхніх аналогів і накопичувальних камер (НК) з активованим вугіллям. Час експонування від 5 до 10 годин, час виміру активності проби не більше 3600 с. Межа відносної погрішності, що допускає,  $\pm (25 \div 30) \%$ .



Мал. 5.3. Залежність припустимої погрішності РУГ-91М від вимірюваної величини  $A_{эф}$ , Бк/кг

Підвищення чутливості виміру  $q_{ексх}^{min} = f(n_{нк})$  забезпечується збільшенням числа одночасно експонуємих накопичувальних камер  $n_{нк}$  (мал. 5.4).



Мал. 5.4. Залежність  $q_{ексх}^{min} = f(n_{нк})$

Інтервал між часом закінчення експонування і часом початку вимірів повинен перебувати в межах від 3 до 24 годин, при вимірі  $q_{ексх} > 100$  мБк/м<sup>2</sup>хс тимчасова границя може бути збільшена до (48-72 годин).

Величина швидкості ексхаляції радону з досліджуваної поверхні іонізуючого джерела визначається по формулі:

$$q_{ексх} \cdot \frac{Бк}{м^2 \times с} = \frac{A \times \exp(\lambda_{oRn} \times t)}{1,34 \times n \times [1 - \exp(-0,774 \times t_{ексн})]}, \quad (5.20)$$

де  $A$  – активність сорбенту, Бк;

$t$  – інтервал між часом закінчення експонування і часом початку вимірів, год;

$t_{ексн}$  – тривалість експонування накопичувальної камери, год;

$n$  – кількість накопичувальних камер, що одночасно експонувалися;

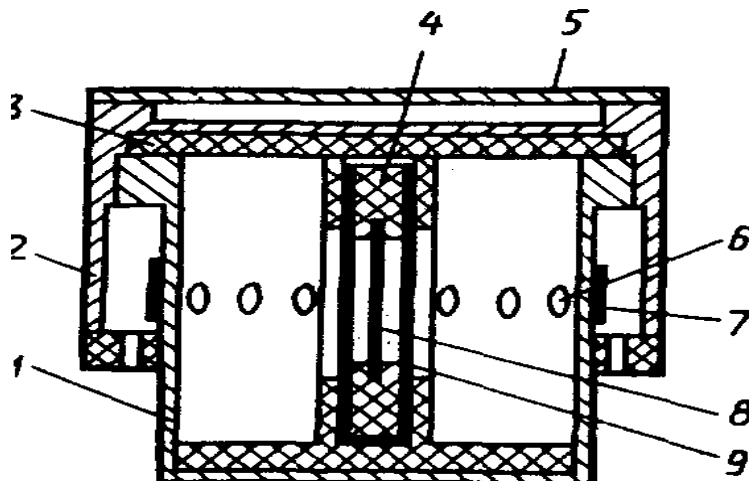
**РОЗДІЛ 5** постійна розпаду радону ( $0,00755$  год<sup>-1</sup>).

### 5.3.3. Радонометри

По величині об'ємної активності радону-222 і його дочірніх продуктів розпаду в повітря приміщень будинку судять про дозу внутрішнього опромінення людини. Оскільки, радон і його ДПР є альфа-випромінюючими радіонуклідами, то для їхньої радіометрії застосовуються альфа-лічильники. Доза опромінення легеневої тканини залежить від об'ємної середньорічної об'ємної активності радону і його ДПР у повітрі приміщення, що вимірюється інтегральними методами протягом тривалого проміжку часу (тиждень, місяць, квартал). Прилади інтегрального типу підрозділяються на: активні і пасивні.

Активні прилади призначені для визначення об'ємних інтегральних активностей дочірніх продуктів розпаду радону. У них здійснюється безперервне прокачування повітря через фільтр, напроти якого розташований детектор  $\alpha$ -випромінювання, що реєструє його і запам'ятовує інформацію протягом усього часу експозиції, використовуються в системі радіаційного моніторингу.

Пасивні прилади інтегрального типу значно простіше по своїй конструкції, не вимагають джерел живлення. Найбільш широке поширення одержали пасивні трекові радонометри (ПТР), конструкція якого показана на мал. 5.5.



Мал. 5.5. Пасивний трековий радонометр (ПТР): **РОЗДІЛ 5**

1 - корпус; 2-кришка; 3 - ущільнювач; 4 - тримач детектора; 5 - тримач радонометра; 6 - отвори; 7 - мембрана; 8 - детектор; 9 - сповільнювач

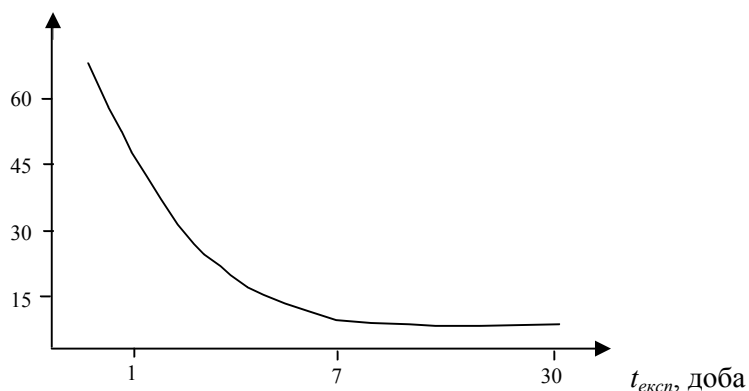
ПТР являє собою циліндричну склянку 1 з кришкою 2, що нагвинчується. Між кришкою і склянкою встановлений ущільнювач із вакуумної гуми 3. У бічній стінці склянки є 15 отворів діаметром 5 – 6 мм,

щільно закритих мембраною із силіконового каучуку 7. Усередині склянки розташовується детектор 8, закріплений у тримачі 4. Для збільшення ефективності реєстрації  $\alpha$  - випромінювання детектором покритий із двох сторін сповільнювачем 9 – лавсановою плівкою товщиною 20 мкм ( $2,8 \text{ мг}\cdot\text{см}^{-2}$ ). На кришці радонметра є тримач 5, який дозволяє носити його на ремні або підвішувати у потрібному місці. Товщину мембрани (50 мкм) підбирають так, щоб час дифузії через неї радону-222 було значно менше його періоду полурозпаду (3.8 доби) і значно більше періоду полурозпаду торона-220 (55 с.). При дотримуванні цих умов торон-220 не буде поступати у внутрішній об'єм радіометра, тоді, як радон-222 буде повільно проникати в нього. Альфа-випромінювання радону-222 реєструється детектором із нітроцелюлозної плівки. При проходженні  $\alpha$ -часток через трековий детектор (нітроцелюлозну плівку) порушується внутрішня структура матеріалу детектора. Після закінчення експозиції при протравлюванні детектора в цих місцях утворюються наскрізні отвори – треки. Кількість зареєстрованих треків пропорційно інтегральній об'ємній активності на час експозиції. Для оцінки середньорічної концентрації проти радонових заходів, необхідно використовувати інтегруючі методи з використанням пасивних трекових радонметрів або методу з експозицією у декілька днів (не менш 7 діб), з обов'язковим повторенням вимірювань у різні сезони року. Допускається використання короткочасних вимірювачів об'ємної концентрації радону у повітрі приміщення з обов'язковою попередньою витримкою будинку при зачинених вікнах, вхідних дверях і включеному опаленні протягом 7 діб.

Нижній поріг виміру  $Av_{\text{прим}}^{\text{min}}$ , Бк/м<sup>3</sup>, пасивними трековими радонметрами може бути знижений, за рахунок збільшення часу експонування (мал. 5.6).

$$Av_{\text{Рпприм}, \text{Бк/м}^3}^{\text{min}}$$

## РОЗДІЛ 5



Мал. 5.6. Залежність виміру ПТР  $Av_{\text{Рпприм}}^{\text{min}}$  від часу експонування

Визначення  $EPOA_{Rnnpрим}$ , Бк/м<sup>3</sup>, також можливо на основі виміру  $Av_{Rnnpрим}$ , Бк/м<sup>3</sup>, за допомогою гама-, бета-спектрометрів, радіометрів типу РГА-20П, РУБ-01П6 і пасивних дифузійно-сорбційних колонок (СК-13) при  $F_0=0,5$ .

Зменшення нижнього порогу виміру  $Av^{min}_{Rnnpрим}$  досягають за рахунок збільшення числа колонок типу СК-13 (мал. 5.7).

Межа основної відносної погрішності допускається не більше  $\pm 30\%$ .

Вимір  $Av_{Rnnpрим}$  здійснюється у два етапи:

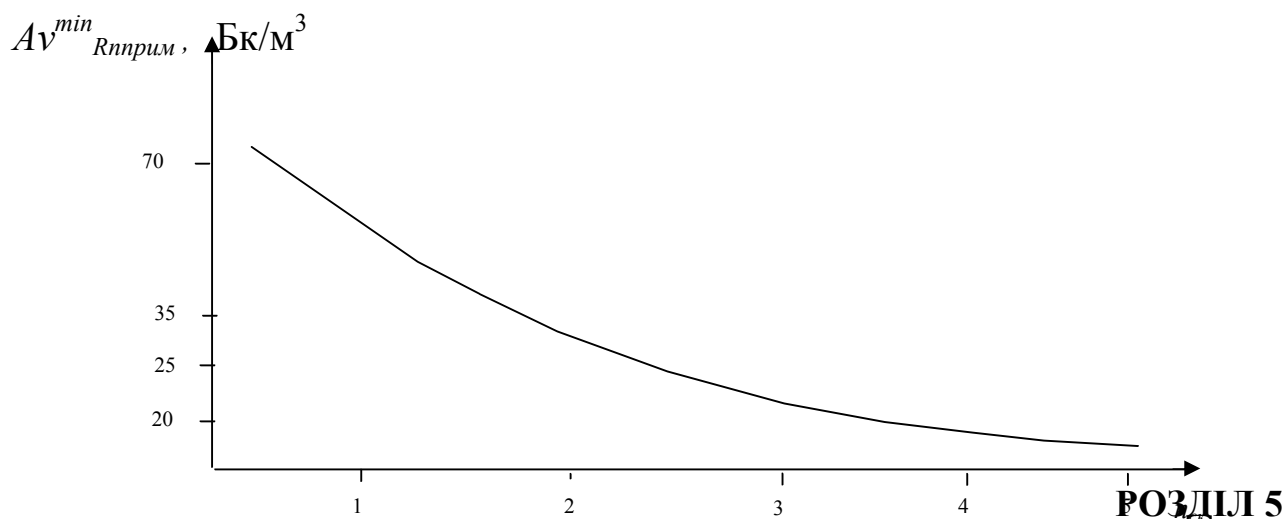
- експонуванням у досліджуваному приміщенні відкритого з одного кінця адсорбера протягом 2-7 діб;
- проведенні вимірів, що полягають у визначенні збільшення до маси адсорбера за час експозиції і активності сорбенту по  $\gamma$  ( $\beta$ ) - випромінюванню короткожиттєвих ДПР.

Середнє збільшення до маси адсорберів (приріст ваги)  $M$ , г, за час експонування визначається по формулі:

$$M = \frac{1}{n} \times \sum_{j=1}^n (M_{kj} - M_{nj}), \quad (5.21)$$

де  $M_n$  і  $M_k$  – маса адсорбера перед і після експонування;

$n$  – число адсорберів, що одночасно експонуються в одному приміщенні.



Мал. 5.7. Залежність  $Av^{min}_{Rnnpрим} = f(n_{ск})$



Об'ємна активність радону в повітрі досліджуваного приміщення визначається по формулі:

$$Av_{Rnприм}^{\min} = \frac{10^3 \times Av \times \exp(\lambda_{oRn} \times t)}{n \times \exp[1,58 + 0,307 \times \ln(t_{екс}) - 0,923 \times \sqrt{M} - 2,04\sqrt{M} \times \exp(0,0438 \times t_{екс})]} \quad (5.22)$$

Радиометр «Alpha GUARD» призначений для виміру об'ємної активності радону-222 у повітрі і у приміщеннях будинків. Діапазон виміру  $Av_{Rn}$  становить від 3 до 30000 Бк/м<sup>3</sup>, межа основної погрішності  $\sigma_{осн}$ , %, при вимірі об'ємної активності радону з довірчою ймовірністю 0,95 розраховується по формулі:

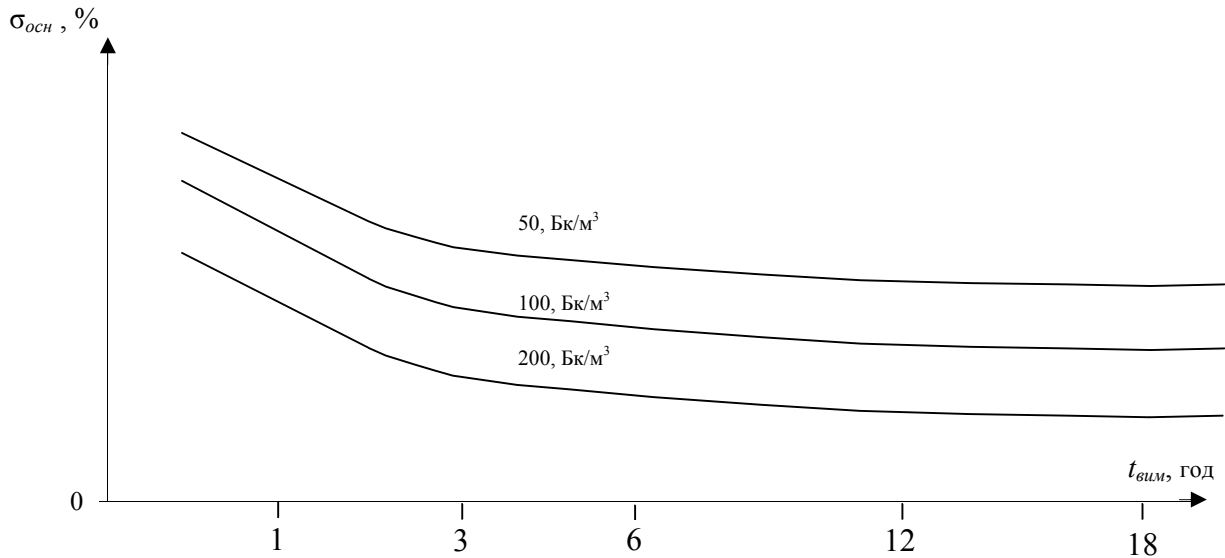
$$\sigma_{осн} = \sqrt{\left( \frac{200}{P \times \frac{t_{вим}}{20}} \right)^2 + K^2 + M^2 + \left( \frac{200}{P} \right)^2}, \quad (5.23)$$

де  $P$  – середнє значення показань за час виміру  $t_{вим}$ , хв;

$K$  – погрішність калібрування, %, рівна 2 %;

$M$  - погрішність зразкових засобів виміру використовуваних при перевірці, %, (3-4 %) .

Залежність  $\sigma_{осн}$ , %, від часу виміру  $t_{вим}$ , год, при вимірі  $Av_{Rnприм}$  в інтервалі від 50 до 200 Бк/м<sup>3</sup> представлена на мал. 5.8.



Мал. 5.8. Залежність  $\sigma_{осн} = f(t_{вим})$

Визначення  $ЕРОА_{Rнприм}$ , Бк/м<sup>3</sup>, можливо також одночасним виміром об'ємної активності кожного з дочірніх продуктів розпаду радону аспіраційним методом шляхом прокачування повітря з досліджуваного приміщення. При цьому відбувається нагромадження дочірніх продуктів розпаду радону на фільтрі. Вимірюючи активність ДПР, що осіли на фільтрі, можна визначити об'ємну активність кожного із ДПР.

Радіометр РГА-09 М має наступні технічні характеристики:

- діапазон ЕРОА радону-222  $5 \div 10^5$  Бк/м<sup>3</sup>;
- погрішність  $\pm 30\%$ ;
- об'ємна швидкість прокачування не менш 20л х хв;
- час одного виміру  $ЕРОА_{Rн}$  15 (20) хв.

Від правильного вибору приладів і методу їхнього використання для виміру регламентованих радіаційних параметрів будівельного виробництва багато в чому залежить вірогідність отриманих результатів вимірів.

## 5.4. Методики виміру регламентованих радіаційних параметрів будівельного виробництва

### 5.4.1. Пробоотбір і пробопідготовка

Для одержання порівнянних результатів вимірів необхідно мати однакову методику відбору проб, їхньої підготовки до виміру і обробки отриманих даних. Відбір проб для радіометричних вимірів виробляється по стандартній методиці. Проби для визначення питомої активності ПРН у сипучих матеріалах роблять у навісах, відібраних із представницьких проб. Для відбору проб сипучих матеріалів на складі вибираються контрольні крапки:

- на конусах або штабелях - по периметрах горизонтальних перетинів з інтервалом не більше 10 м, висота нижнього перетину від підшви конуса або штабеля повинна бути не менш 1 м;
- на карті наживу - у вузлах прямокутної сітки 10 x 10м.

При вхідному контролі сипучих будівельних матеріалів контрольні крапки вибирають у кожному транспортному засобі на відстані не менш 1 м від бортової стінки:

- у залізничному транспорті - одну крапку в центрі платформи, вагона;
- на водному транспорті (на біржі або бункерних судах) - не менш двох крапок, розташованих уздовж осі судна.

Представницьку пробу одержують шляхом перемішування і квантування не менш 10 крапкових проб, відібраних з контрольних крапок. Представницьку пробу подрібнюють до розмірів зерен менш 2 мм. Залежно від обсягу застосовуваного в радіометричній установці контейнера пробу масою від 2,5 до 10 кг упаковують у подвійний мішок, і між стінками якого поміщають паспорт проби з найменуванням матеріалу, адреси підприємства відправника проби, місця і дати відбору проби. Визначення питомих активностей ПРН у будівельних виробках і лицювальних матеріалах із природного каменю проводять на тих самих навісах, відібраних із представницької проби. Представницьку пробу масою від 2,5 до 10 кг одержують шляхом здрібнювання виробів (цегли, плит, сколів природного каменю, отриманих при виробництві лицювальних матеріалів), відібраних при прийманні партії. Допускається використання матеріалу, отриманого при визначенні межі

міцності при стиску, розтяганні або вигині виробів, або спеціально приготовлених зразків.

Для визначення питомих активностей ПРН отримані представницькі проби висушують до постійної маси.

Аналізована проба повинна бути в повітряно-сухому стані розміром не більше 2 мм. Вона насипається в контейнер ємністю 200 см, закривається кришкою і герметизується клеєм ПВА. Контейнери зважують із погрішністю не більше 1 %. Виміри проб виконуються не раніше, ніж через 14 діб після їхньої герметизації для встановлення радіоактивної рівноваги ПРН.

Розглянемо стандартні і експериментальні методики визначення радіаційних параметрів будівельних матеріалів, виробів, ґрунтів, що підстилають, і об'єктів будівництва, необхідних для рішення завдань дослідження роботи.

### ***5.4.2. Методика виміру питомої активності природних радіонуклідів у будівельних матеріалах і ґрунті, що підстилає, під будинком гама-спектрометрами***

Спектрометричний метод визначення питомої активності радію-226, торія-232 і калію-40 у будівельних матеріалах заснований на вимірах розподілу амплітуд імпульсів від досліджуваних радіонуклідів у фіксованих енергетичних інтервалах. Межами енергетичних інтервалів для сцинтиляційних детекторів є наступні ділянки, що містять піки повного поглинання, MeV:

для калію-40	- 1,40 $\varnothing$ 1,54,
для радію-226	- 1,69 $\varnothing$ 1,94,
для торія-232	- 2,45 $\varnothing$ 1,54.

Для визначення питомої активності ПРН у будівельних матеріалах використовуються гама-спектрометри найчастіше зі сцинтиляційними детекторами NaJ, які мають достатню чутливість, щоб вимірювати питому активність нижче середнього значення в будівельних матеріалах.

Питома активність ПРН у будівельних матеріалах визначається порівнянням швидкості рахунку досліджуваного і каліброваного зразків при вимірах розподілу амплітуд імпульсів у фіксованих енергетичних інтервалах.

До складу будь-якого гама-спектрометра входить блок детектування, аналізатор імпульсів, захисний пристрій для блоку

детектування, блок стабілізованої напруги, контейнери для проб, стандартні зразки (калію-40, радію-226, торія-232), ваги, реактиви і матеріали.

Вимір і розрахунок питомої активності ПРН у будівельних матеріалах за допомогою гама-спектрометра включає наступні етапи:

- Підготовка проб і стандартних зразків

Пробу будівельної сировини (матеріалу), як і стандартні зразки, у повітряно-сухому стані розміром не більше 2 мм щільно насипають у контейнер, закривають кришкою і герметизують клеєм ПВА.

Контейнери зважують із погрішністю не більше 1 %. Маса проби в контейнері повинна мати насипну щільність, близьку до щільності використовуваних для градування стандартних зразків. Якщо це розходження перевищує 10 %, то в результат вимірів уводять виправлення на щільність.

Вимір проб виконують не менш, ніж через 14 днів після їхньої герметизації для встановлення рівноваги продуктів розпаду радію-226.

- Підготовка апаратур гама-спектрометра

Включити гама-спектрометричну установку відповідно до вказівок Інструкції для експлуатації і перевірити її працездатність.

- Калібрування приладу за допомогою стандартного зразка

Установити в колодязі детектора об'ємне джерело стандартного зразка. Вибрати коефіцієнт підсилення, виміряти розподіл амплітуд імпульсів від джерела гама-випромінювання і вивести зони, що містять піки повного поглинання, на цифро друкуювальний пристрій. Тривалість виміру повинна бути такою, щоб число імпульсів у піку повного поглинання було не менш 10. Побудувати в лінійному масштабі графік залежності номера каналу аналізатора, що містить максимальне число імпульсів піка повного поглинання від відповідної енергії гама-випромінювання. На отриманій каліброваній кривій визначити положення піків повного поглинання енергії гама-випромінювання та лінійність апаратур, що аналізують.

Для кожного розподілу амплітуд вибрати границі інтервалів, рівні на півширині фото-піка, помножені на коефіцієнт 3,0 і розташувати їх симетрично щодо положення максимуму фото-піка.

У кожному розподілі амплітуд підрахувати число імпульсів  $n_i$ , попередньо виведених на цифро друкуювальний пристрій.

Виміряти гама-фон спектрометром протягом 60 хвилин. Для обраних інтервалів підрахувати число зареєстрованих імпульсів  $n_{if}$ .

## РОЗДІЛ 5

Вимір фону варто проводити не рідше одного разу на тиждень. У випадку збільшення фону датчики спектрометра і внутрішню поверхню захисного пристрою необхідно дезактивувати.

Розрахунок градирувальних (каліброваних) коефіцієнтів  $K_i$  і відносних внесків  $B_i$  проводити по формулах:

$$K_i = \frac{A_{ol}}{n_i - n_{i\phi}}, \text{ Ки} \times \text{імп}^{-1} \times \text{хв}, \quad (5.24)$$

де  $A_{ol}$  – активність калію-40 у стандартному зразку,  $K_i$  (Бк);

$n_i$  – швидкість відліку імпульсів у піку повного поглинання енергії гама-випромінювання від  $i$ -го зразка,  $\text{імп} \times \text{хв}^{-1}$ ;

$n_{i\phi}$  – швидкість рахунку імпульсів у піку повного поглинання радіонукліда,  $\text{імп} \times \text{хв}^{-1}$ ;

$$B_{ik} = \frac{n_{ik} - n_{k\phi}}{n_i - n_{i\phi}}, \quad (5.25)$$

де  $n_{ik}$  – число імпульсів від градирувального зразка  $i$ -го нукліда в піку повного поглинання енергії гама-випромінювання  $i$ -го нукліда,  $\text{імп} \times \text{хв}^{-1}$ .

- Вимір проб будівельних матеріалів і розрахунок  $A_{y\partial Th}$ ,  $A_{y\partial Ra}$ ,  $A_{y\partial n}$

Установити пробу будівельного матеріалу, загерметизованого в контейнері, у колодязь сцинтиляційного детектора. Тривалість гама-вимірювання проб повинна бути не менш 20 хвилин. Обчислити площі під піками повного поглинання енергії гама-випромінювання аналізованих проб і розрахувати питомі активності ПРН у пробі по формулах:

$$A_{y\partial Th} = \frac{(n_1 - n_{1\phi}) \times K_1}{m} = \frac{n_{01} \times K_1}{m}, \quad (5.26)$$

$$A_{y\partial Ra} = \frac{[(n_2 - n_{2\phi} - B_{12} \times (n_1 - n_{1\phi}))] \times K_2}{m} = \frac{n_{02} \times K_2}{m}, \quad (5.27)$$

$$A_{y\partial K} = \frac{[(n_3 - n_{3\phi} - B_{13} \times (n_1 - n_{1\phi})) - B_{23} \times [n_2 - n_{2\phi} - B_{12} \times (n_1 - n_{1\phi})]] \times K_2}{m} =$$

$$= \frac{n_{03} \times K_3}{m}, \quad (5.28)$$

де  $n_1, n_2, n_3$  – швидкість рахунку імпульсів проби в піку повного поглинання енергії гама-випромінювання, обумовленої 1-м нуклідом, імп х хв<sup>-1</sup>;

$m$  – маса проби, кг.

Ефективна питома активність ПРН у пробі визначається по формулі:

$$A_{ef} = A_{y\partial Ra} + 1,31 \times A_{y\partial Th} + 0,085 \times A_{y\partial K} \quad (5.29)$$

#### ***5.4.3. Методика експрес-оцінки ефективної питомої активності природних радіонуклідів у будівельних матеріалах і ґрунті, що підстилає за допомогою гама-радіометрів і дозиметрів***

Вимір ефективної питомої активності ПРН у будівельних матеріалах експрес методом виробляється на місці залягання будівельної сировини, матеріалів, ґрунту, що підстилає, і у ємностях для транспортування до об'єкта будівництва (вагон, контейнер, кузов автомашини й ін.), а також на підприємствах буд.індустрії та будматеріалів.

Метод експрес-оцінки радіоактивності будівельних матеріалів включає виконання операцій:

- відбір і підготовка проб досліджуваного матеріалу до вимірів;
- підготовка гама-радіометра або іншого використовуваного приладу до роботи;
- вимір фону;
- вимір проб будівельних матеріалів;
- розрахунок ефективної питомої активності будівельних матеріалів і порівняння із припустимою нормою по класах їхнього використання.

Експрес-оцінка радіоактивності будівельних матеріалів по класах використання виробляється за допомогою гама-радіометрів і

## РОЗДІЛ 5

---

дозиметрів, каліброваних по даним гама-спектрометрії проб у лабораторних умовах.

Проби варто брати по діагоналі ємності для транспортування будівельної сировини або на місці їхнього залягання. Об'єднана проба повинна включати 8-10 крапкових проб. Середню пробу для аналізу виділяють із об'єднаної маси, що повинна бути не менш 1 кг.

Підготовка гама-радіометра або дозиметра до роботи виробляється відповідно до Інструкції по експлуатації приладу.

Фон вимірюють перед початком дослідження проб будівельних матеріалів і по його закінченню. Якщо ж проб багато і виміри проводяться тривалий час, то повторні виміри фону проводять через кожну друга годину роботи. Потім всі виміри фону підсумують і визначають його середнє значення.

Підготовлену до дослідження пробу вставляють у захисний пристрій гама-радіометра і при таких самих умовах, як вимірявся фон (однаковий час виміру, число вимірів і відстань до детектора) роблять вимір.

Значення ефективної питомої активності ПРН проби досліджуваного будівельного матеріалу визначається по формулі:

$$A_{\text{еф}} = (\bar{n}_{\text{пр}} - \bar{n}_{\text{ф}}) \times K_{\text{кал}}, \quad (5.30)$$

де  $\bar{n}_{\text{пр}}, \bar{n}_{\text{ф}}$  – середня швидкість рахунку числа імпульсів проби, фону, імп./хв;

$K_{\text{кал}}$  – калібрований коефіцієнт, Бк х хв/кг × імп.

При використанні експрес-оцінки необхідне періодичне калібрування кожного приладу по ефективній питомій активності для даної геометрії вимірів і виду сировини.

Оскільки експрес-оцінка класу будівельної сировини (матеріалу) є орієнтованою, то у випадку перевищення нормативу для першого класу (<370 Бк/кг) партія сировини не відвантажується замовникові, а представницькі проби сировини (не менш п'яти) направляються для гама-спектрометричних досліджень у відомчу лабораторію радіаційного контролю будівельних матеріалів для точного визначення класу будівельної сировини.



#### ***5.4.4. Методика виміру потужності поглиненої дози гама-випромінювання в приміщеннях будинку і на відкритому повітрі***

Природні радіонукліди, що втримуються в будівельних матеріалах, створюють у приміщеннях будинків і споруджень відносно рівномірне гама-випромінювання.

Для виміру потужності поглиненої дози (ППД) гама-випромінювання (гама-фон) у приміщеннях будинку і на відкритій місцевості повинні використовуватися дозиметричні прилади, які мають поріг чутливості не більше 0,08 мкГр/год і максимальний рівень залежності реєстрації від енергії випромінювання, що не перевищує 30 % у діапазоні енергії від 30 кеВ до 3 МеВ. Не рекомендується використовувати для виміру ППД прилади, що мають в якості детектора сцинтиляційні камери. Це пов'язане з нелінійною залежністю чутливості сцинтиляційних детекторів від енергії випромінювання (завищення показань в області м'яких енергій). Тому прилади типу СРП зі сцинтиляційним детектором використовуються як індикатори ППД, а при виявленні в результатах вимірів яких-небудь аномалій вимір ППД необхідно провести рекомендованими приладами або використати прецизійні засоби виміру (іонізаційні камери високого тиску, термолюмінесцентні дозиметри, гама-спектрометри).

Всі використовувані прилади повинні мати атестат Держперевірки поточного року, про що вказується в акті обстеження.

У середньому на території України ППД гама-випромінювання поза приміщенням становить 0,05-0,12 мкГр/год (нормальний радіаційний фон), у приміщеннях - у середньому від 0,09 й 0,24 мкГр/год для цегельних і панельних будинків відповідно.

Виміри ППД гама-випромінювань поза приміщеннями варто проводити в місцях з рівним рельєфом на висоті 1 м від поверхні ґрунту і на видаленні не менш 10 м від невисотних будинків й 30 м від висотних.

У приміщеннях виміри проводяться в центрі приміщення на висоті 1 м від підлоги (один вимір на кожні 50 м<sup>2</sup> площі обстежуваного приміщення). Результати вимірів (не менш трьох вимірів в одній крапці) повинні оформлятися в спеціальному журналі довільної форми, але з обов'язковою вказівкою типу приладу та дати його Держперевірки.

#### 5.4.5. Експериментальна методика виміру швидкості ексхаляції радону-222 із джерела в повітря приміщень будинку

Малі рівні радононадходження з поверхонь джерел (будівельних матеріалів конструкцій, що обгороджують, приміщень і ґрунтів, що підстилають, під будинками) у повітря приміщень вимірюються за допомогою радіометрів типу РГА-20П, РУБ-01П6 і накопичувальних камер з активованим вугіллям типу НК-32 з наступними характеристиками:

- площа збору ( $32 \pm 1$ ) см<sup>2</sup>,
- висота шару вугілля ( $0,4 \pm 0,1$ ) см,
- повна маса збірника, кг, не більше 0,12,
- марка активованого вугілля СКТ-3С.

Технічні можливості даної установки по виміру швидкості ексхаляції радону-222: виробляються при температурі повітря в діапазоні від 5 до 30°C і вологості не більше 95%.

Нижня крапка діапазону виміру  $q_{ексх}$ , Бк/м<sup>2</sup>хс, залежить від числа одночасно використовуваних камер і становить:

- одна камера  $- 1 \cdot 10^{-2}$  Бк/м<sup>2</sup> × с;
- дві камери  $- 5 \cdot 10^{-2}$  Бк/м<sup>2</sup> × с;
- три камери  $- 3,3 \cdot 10^{-2}$  Бк/м<sup>2</sup> × с;
- чотири камери  $- 2,5 \cdot 10^{-2}$  Бк/м<sup>2</sup> × с;
- п'ять камер  $- 2 \cdot 10^{-2}$  Бк/м<sup>2</sup> × с.

Межа відносної погрішності, що допускається:

- при часі експонування  $\tau$  до 5 годин не більше  $\pm 30$  %;
- при часі експонування  $\tau$  від 5 до 10 годин не більше  $\pm 40$  %.

Підготовка накопичувальних камер і вимір  $q_{ексх}$ , Бк/м<sup>2</sup>×с, радону-222 джерел включає три етапи:

- підготовка накопичувальної камери;
- установка і експонування накопичувальної камери на поверхні джерела надходження радону-222;
- проведення вимірів активності адсорбованого радону-222 по  $\alpha$ -,  $\beta$ -випромінюванню його короткожиттєвих продуктів розпаду.

#### Підготовка накопичувальної камери.

Засипають у ємність адсорбера регенероване вугілля і щільно закривають адсорбер кришками. Для кожної накопичувальної камери підготувати по два адсорбера.

Для регенерації активованого вугілля використовується метод термічної десорбції при температурі нагрівання 160-180°C протягом 1 години, що може вироблятися на побутовій електроплитці або в сушильній шафі в плоскому металевому кюветі. По закінченню десорбції регенероване вугілля варто пересипати в термостійку ємність, що герметично закривається, обсягом не більше 1 л, для зберігання і охолодження. Герметичність закривання ємності забезпечується підтримкою в ній вакууму, що виникає в результаті остигання регенерованого вугілля.

Порядок установки і експонування накопичувальних камер  
Визначають потрібну кількість накопичувальних камер, що підлягають одночасній установці з обліком можливих середніх значень  $d_{ексх}$  досліджуваного джерела. Поверхню досліджуваного джерела підготовляють до установки камер, очищаючи її від сторонніх речовин. Для підготовки камери беруть два адсорбери, з одного пересипають активоване вугілля в збірник, рівномірно розподіляючи його по поверхні сітки, а на інший адсорбер («захисний») надягають на запобіжну кришку і вставляють його в горловину камери. Підготовлену камеру встановлюють на досліджувану поверхню джерела, вдавлюючи до упору. При необхідності нижній край камери треба загерметизувати із досліджуваною поверхнею. Записують дату і час (з точністю до хвилини) початку експонування, місце установки камер і номери адсорберів, з яких було пересипане активоване вугілля. Максимальна тривалість експонування накопичувальної камери – 10 годин. По закінченню експонування від'єднують від накопичувальної камери «захисний» адсорбер і на його місце встановлюють адсорбер, з якого було пересипане активоване вугілля при підготовці накопичувальної камери. Потім знімають накопичувальну камеру з досліджуваної поверхні і пересипають активоване вугілля назад в адсорбер, який щільно закривають кришками. Аналогічно знімають всі встановлені накопичувальні камери. Всі операції варто виконувати швидко і акуратно. Записують дату і час (з точністю до хвилини) закінчення експонування кожного номера використовуюваного адсорбера.

Проведення вимірів адсорбованого радону по  $\alpha$ -,  $\beta$ -випромінюванню його короткожиттєвих дочірніх продуктів розпаду

Вимір активності сорбенту проводиться на радіометрі, що пройшов щорічну Держперевірку, відповідно до його технічного опису.

Інтервал часу між закінченням експонування і початком вимірів повинен перебувати в межах від 3 до 24 годин.

Величина швидкості ексхаляції радону-222 з поверхні досліджуваного джерела  $q_{ексх}$  Бк/м<sup>2</sup>хс, визначається по формулі:

$$q_{ексх} = \frac{A \times \exp(\lambda_{oRn} \times t)}{K \times n \times [1 - \exp(\lambda_{oRn} \times \tau)]} \quad (5.31)$$

де  $A$  – активність сорбенту, Бк;

$t$  – інтервал між часом закінчення експонування і часом початку вимірів, год;

$\tau$  – тривалість експонування накопичувальної камери (визначається з точністю до хвилини), год;

$\lambda_{oRn}$  - постійна розпаду радону-222 ( $\lambda_{oRn} = 7,55 \cdot 10^{-3}$  год), год<sup>-1</sup>;

$n$  – число камер, що одночасно експонували на досліджуваній поверхні;

$K$  – поправочний коефіцієнт, м<sup>2</sup>хс, обумовлений для накопичувальної камери НК-32 співвідношенням:

$$K = 1,38 - 0,025 \times \tau + 0,141 \times \exp(-0,774 \times \tau) \quad (5.32)$$

#### **5.4.6. Вимір об'ємної активності радону-222 у повітрі приміщень будинку за допомогою пасивного трекового радонометра**

По величині об'ємної концентрації радону-222 і його дочірніх продуктів розпаду судять про ефективну дозу внутрішнього опромінення людини. Оскільки, розпад радону і його дочірніх продуктів супроводжується альфа-випромінюваннями, то для їхньої радіометрії застосовуються альфа-лічильники.

Доза опромінення легеневої тканини залежить від середньорічної об'ємної активності радону і його ДПР у повітрі приміщення, що вимірюється інтегральними методами. Прилади інтегрального типу підрозділяються на: активні та пасивні.

Активні прилади призначені для визначення інтегральних об'ємних активностей радону і дочірніх продуктів його розпаду. У них здійснюється безперервне прокачування повітря через фільтр, напроти якого розташований детектор  $\alpha$ -випромінювання, що реєструє і запам'ятовує інформацію протягом усього часу експозиції. Вони використовуються в системі радіаційного моніторингу.

Пасивні прилади інтегрального типу значно простіші по своїй конструкції, не вимагають джерел живлення. Найбільш широке поширення одержали пасивні трекові радонometri (ПТР).

Об'ємна концентрація альфа-випромінювання радону-222 у повітрі реєструється в ПТР детектором з нітроцелюлозної плівки. При проходженні **часток** через трековий детектор (нітроцелюлозну плівку) порушується внутрішня структура матеріалу детектора. Після закінчення експозиції при підбуренні детектора в цих місцях утворюються наскрізні отвори – треки. Кількість зареєстрованих треків пропорційно інтегральній об'ємній активності за час експозиції. Мінімально детектирована об'ємна концентрація радону-222 ПТР при експозиції 30 діб становить  $2 \text{ Бк} \times \text{м}^{-3}$ , 7 діб –  $9 \text{ Бк} \times \text{м}^{-3}$ , 1 доба –  $60 \text{ Бк} \times \text{м}^{-3}$ .

Для оцінки середньорічної концентрації радону необхідно використати інтегруючі методи з використанням пасивних трекових радонometri з експозицією в кілька днів (не менш 7 діб). Допускається використання короточасних вимірників об'ємної концентрації радону в повітрі приміщення з обов'язковою попередньою витримкою будинку при закритих вікнах, вхідних дверях і включеному опаленні протягом 7 діб.

### 5.5. Контрольні питання

1. *Яка властивість іонізуючих випромінювань використовується для реєстрації і вимірів параметрів іонізуючих джерел?*
2. *Яким вимогам повинні задовольняти дозиметри при вимірі потужності поглиненої дози гама-випромінювання в приміщеннях будинку ( $\text{ППД}_{\text{прим}}$ )?*
3. *Яку функцію виконує захисний пристрій у гама-радіометрі?*
4. *Для рішення яких завдань використовується гама-спектрометр?*
5. *На чому базуються принципи дії пасивного та активного радонometri?*

## РОЗДІЛ 6

## Розрахунково-експериментальні методи визначення регламентованих радіаційних параметрів будівельного виробництва

Зміст природних радіонуклідів в іонізуючих джерелах будівельного виробництва (будівельні матеріали конструкцій, що обгороджують, і ґрунт, що підстиляє, під будинком) оцінюють величиною регламентованих параметрів  $A_{\text{еф.ок.}}$ , Бк/кг, і  $q_{\text{екс.Рп.гр(ок)}}$ , Бк/м<sup>2</sup>хс, які створюють радіаційний фон у приміщеннях будинків.

Регламентованими радіаційно-гігієнічними параметрами в приміщеннях будинків, що визначають величину зовнішньої й внутрішньої складової ефективної дози опромінення, є потужність поглиненої дози ППД<sub>прим</sub>, мкГр/год, і еквівалентна рівноважна об'ємна активність радону-222 і його дочірніх продуктів ЕРОА<sub>прим</sub>, Бк/м<sup>3</sup>.

Знання методів визначення регламентованих радіаційних параметрів будівельного виробництва необхідно при рішенні завдання забезпечення радіаційної якості житлових будинків.

### 6.1. Методи виміру ефективної питомої активності радіонуклідів будівельних видів сировини (матеріалів) і визначення радіаційних параметрів будівельних виробів, що виготовляють, (конструкцій)

Радіоактивність гірських порід, які є основою сировини для будівельного виробництва, визначається змістом радіоактивних ізотопів хімічних елементів, що виникли в період формування й розвитку планети. Безперервний вплив деструктивних процесів метеорологічного, гідрологічного, геохімічного й вулканічного характеру на структуру гірських порід привело до широкого розсіювання радіоактивних речовин. У будь-якій земній речовині втримується в неухваленому стані кілька десятків хімічних елементів, включаючи і їх природних радіоактивних ізотопів. Для гірських порід, що утворюють товщу земної кори, характерно найбільше вміст у них калію-40 (0,3-2,5 %), торія-232 ( $1,3 \cdot 10^{-4}$ - $12 \cdot 10^{-4}$ ), урану-238 ( $6,3 \cdot 10^{-3}$  -  $4 \cdot 10^{-4}$ ), радію-226 ( $0,5 \cdot 10^{-10}$ - $1,3 \cdot 10^{-10}$ ) [9].

Радіоактивність будівельних матеріалів оцінюється змістом у них природних радіонуклідів (ПРН) радію-226, торія-232 і калію-40 по величині їхньої питомої активності  $A_{\text{γRa(Th, K)}}$ , Бк/кг (табл. 6.1).

Таблиця 6.1

**Характеристика домінуючих природних радіонуклідів  
у будівельній сировині й матеріалах**

Радіонуклід	Період напіврозпаду	Енергія випромінювання $E$ , MeV (% вмісту)	Вміст у гірських породах, %	Гама-постійна радіонукліда $K_\gamma$ , $R \times \text{см}^2/\text{год} \times \text{мКи}$
Радій-226	1600 років	$E_\alpha = 4,8(96)$ $E_\gamma = 0,186(4)$	$(0,5-12) \cdot 10^{-10}$	9,36
Торій-232	$1,4 \cdot 10^{10}$ років	$E_\alpha = 4,08(99)$ $E_\gamma = 0,09(1)$	$(1,3-12) \cdot 10^{-4}$	12,24
Калій-40	$1,28 \cdot 10^9$ років	$E_\beta = 1,3(89)$ $E_\gamma = 1,46(11)$	0,3-2,6	0,77

При масових радіометричних вимірах, виконуваних з метою контролю радіоактивності будівельної сировини, матеріалів і виробів, а також радіоекологічного моніторингу навколишнього середовища, необхідно вимірювати малі величини ефективної питомої активності, для яких швидкості рахунку (показання) радіометричних установок незначно перевищують фонові значення.

Існує велика кількість приладів для визначення питомої активності ПРН у матеріалах. Ефективна питома активність ПРН у будівельних матеріалах є регламентованим параметром, що визначає рівень  $\gamma$ -фону в приміщеннях будинку. Державні будівельні норми встановлюють експресний і лабораторний методи виміру питомої ефективної активності ПРН у будівельних матеріалах і виробих (мал. 6.1).

Експресний метод призначений для проведення:

- періодичного й вхідного контролю сипучих будівельних матеріалів і відходів промислового виробництва, а також будівельних виробів відповідно до діючих нормативних документів;
- попередньої оцінки розроблювальних порід у кар'єрі.

Умовою застосування експресного методу є відсутність забруднення матеріалів і виробів техногенними радіонуклідами понад припустимий рівня



Мал. 6.1. Методи виміру питомої й ефективної питомої активності ПРН у будівельних матеріалах і виробих

Лабораторний метод призначений для:

- установлення класу будівельного матеріалу (виробу) і у випадку перевищення припустимих рівнів експресним методом;
- сертифікації продукції.

Найбільше поширення для виміру питомої активності ПРН одержали гама-спектрометричні пристрої. Це обумовлено їхньою малою трудомісткістю, високою чутливістю й точністю.

Сумарний рівень радіоактивності різних типів гірських порід значно змінюється через варіації у вмісті радіоактивних елементів. Гама-спектрометричний метод можна використати практично в будь-яких умовах, що спричиняє його широке поширення.

У природних зразках, як правило, одночасно є присутнім велике число  $\gamma$ -випромінювачів, що входять у ряди розпаду урану-232, торія-232, і калію-40. Кожний з них має свій енергетичний спектр. Виміри проводять на тих ділянках спектра, де найбільше різко виділяються лінії досліджуваних ізотопів на загальному фоні. У кожному обраному інтервалі енергій ураховують внесок випромінювання й інших ізотопів. Із цією метою становлять систему рівнянь, число яких дорівнює числу шуканих ізотопів.

При аналізі гірських порід визначають  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  й  $^{40}\text{K}$ . Для перших трьох використають фото-піки їхніх найближчих продуктів розпаду, наприклад  $^{238}\text{U}$  – 0,093 МеВ,  $^{226}\text{Ra}$  – 0,35 МеВ,  $^{232}\text{Th}$  – 0,24 МеВ,  $^{40}\text{K}$  – 0,76 МеВ.



Відповідна система рівнянь має вигляд:

$$\begin{aligned} N_1 &= a_1 q_u + b_1 q_{Th} + c_1 q_{Ra} + d_1 q, \\ N_2 &= a_2 q_u + b_2 q_{Th} + c_2 q_{Ra} + d_2 q, \\ N_3 &= a_3 q_u + b_3 q_{Th} + c_3 q_{Ra} + d_3 q, \\ N_4 &= a_4 q_u + b_4 q_{Th} + c_4 q_{Ra} + d_4 q, \end{aligned} \quad (6.1)$$

де  $N_1, N_2, N_3, N_4$  – швидкість рахунку на досліджуваних ділянках спектра;

$q_U, q_{Th}, q_{Ra}$  і  $q_K$  – концентрації  $^{238}U, ^{232}Th, ^{226}Ra, ^{40}K$  відповідно;

$a_1, a_2, a_3$  і  $a_4$  – внесок  $\gamma$ -випромінювання урану і його найближчих продуктів розпаду на досліджуваних ділянках спектра;

$b_1, b_2, b_3$  і  $b_4$  – внесок  $\gamma$ -випромінювання торія і його продуктів розпаду на досліджуваних ділянках спектрів;

$c_1, c_2, c_3$  і  $c_4$  – внесок  $\gamma$ -випромінювання радю і його найближчих продуктів розпаду на досліджуваних ділянках спектра;

$d_1, d_2, d_3$  і  $d_4$  – внесок  $\gamma$ -випромінювання  $^{40}K$  на досліджуваних ділянках спектра.

Коефіцієнти  $a_i, b_i, c_i$  й  $d_i$  визначають експериментально шляхом виміру еталонних проб урану ( $U_3O_8$ ) у рівновазі із продуктами розпаду, торія в рівновазі із продуктами його розпаду й калію. Знаючи величини коефіцієнтів, можна розрахувати концентрації ізотопів.

Точність спектрометричного методу  $\pm 10-15$  %. Поріг чутливості  $\gamma$ -спектрального залежить від розміру кристала, фона, використовуваних областей спектра, ваги проб, геометрії вимірів і має порядок:  $n \times 10^{-5}$  % для  $U$  й  $Th$  і соті долі відсотка для калію.

Визначення питомої активності проб проводиться таким способом:

1. Протягом певного часу  $\tau$  проводиться набір спектра  $\gamma$ -випромінювання, що втримуються в зразку радіоактивних елементів.

2. Проводиться пошук піків енергій  $\gamma$ -випромінювань у досліджуваній пробі матеріалу. Визначають які з піків утворені імпульсами від  $\gamma$ -квантів однієї енергії, а які від  $\gamma$ -квантів декількох енергій. Це можна зробити, зрівнявши ширини піків на пів висоті з відомою величиною енергетичного дозволу для сцинтиляційних детекторів.

3. Визначаються характеристики піків. По місцю розташування піка (центр ваги) за допомогою попереднього проведення енергетичного калібрування визначаються енергії  $\gamma$ -квантів випромінюваних нуклідами проби й обчислюються площі піків.

4. Визначення нуклідного складу проводиться шляхом порівняльного аналізу характеристик випромінювання радіоактивних ізотопів, наведених у довідкових таблицях, і характеристик реєстрованого випромінювання проби (енергія  $E$ , період напіврозпаду  $T_{1/2}$ , квантові виходи  $K_\gamma$ ), а також з урахуванням радіологічної обстановки, у якій відбиралася проба.

5. У випадках піків, що перекриваються, виникає завдання їхнього поділу й визначення площ піків кожної з  $\gamma$ -ліній. Це завдання можна вирішити тільки у випадку, якщо із двох піків, що перекриваються, один належить радіонукліду, що володіє хоча б ще однією інтенсивною  $\gamma$ -лінією в обмірюваному спектрі, що не перекривається з іншими лініями.

6. Визначаються питома активність кожного радіонукліда, виявленого в пробі і їх ефективна питома активність  $A_{ef,cc}$ , Бк/кг (форм. 6.1).

Зміст ПРН у будівельних видах сировини й матеріалах оцінюється тільки на гама-випромінювання. Виміри параметрів ведуться як у стаціонарних, так й у польових умовах.

У стаціонарних умовах для виміру  $A_{уд Ra (Th, K)}$  будівельних видів сировини й матеріалів використовуються гама-спектрометричні комплекси (АМА-0394, АІ-1024-98, Гама-плюс й ін.), що мають пороги чутливості ( $A_{уд.Ra}^{min} = 6$  Бк/кг,  $A_{уд.Th}^{min} = 2$  Бк/кг,  $A_{уд.K}^{min} = 20$  Бк/кг), що значно нижче мінімального вмісту їх у гірських породах і ґрунтах. Час виміру (20-30 хв) забезпечує одержання результатів з погрішністю, що не перевищує максимально припустиму.

У польових умовах вимір  $A_{уд Ra (Th, K)}$  і  $A_{ef}$  проводиться за допомогою гама-радіометра РУГ-91-М, границі основної погрішності якого при часі виміру, рівна 1 годині, становлять від 5 до 35 % залежно від вимірюваної величини  $A_{ef}$ , Бк/кг.

Знання активності ПРН у будівельних видах сировини (матеріалах), які необхідні для виготовлення будівельного виробу (конструкції), дозволяє одержати розрахункове значення його ефективної питомої активності  $A_{ef,ci}$ , Бк/кг, на етапі підготовки виробництва до їхнього випуску.

## 6.2. Методи визначення швидкості ексхаляції радону із ґрунту, що підстилає, під будинком

Радіонукліди, що попадають в організм разом з повітрям, водою і їжею, обумовлюють внутрішню складову ефективної дози опромінення людини. Найбільший внесок у її величину  $H_{\text{еф.внутр.}}$ , мЗв/рік, вносять альфа- і бета-випромінюючі радіонукліди.

При цьому найбільший внесок у величину  $H_{\text{еф.внутр.}}$  дають радон-222 і його дочірні продукти розпаду (ДПР) більше 63 %, радон-220 і його ДПР - 15%, калій-40 - 11 %, полоній-210 - 7 % й ін.

Домінуюча роль ізотопів радону (радону-222 і радону-220), які є продуктами розпаду ізотопів радію (радій-226 і радій-224), порозумівається тим, що це високотоксичні, невидимі, що не мають смаку й запаху інертні радіоактивні гази.

Дифузійний процес надходження радону по порах матеріалу джерела в повітря приміщень, обумовлений різницею концентрацій газу в них, оцінюється величиною швидкості ексхаляції (надходження) радону із джерела  $q_{\text{ексх.гр.}}$ , Бк/м<sup>2</sup>хс:

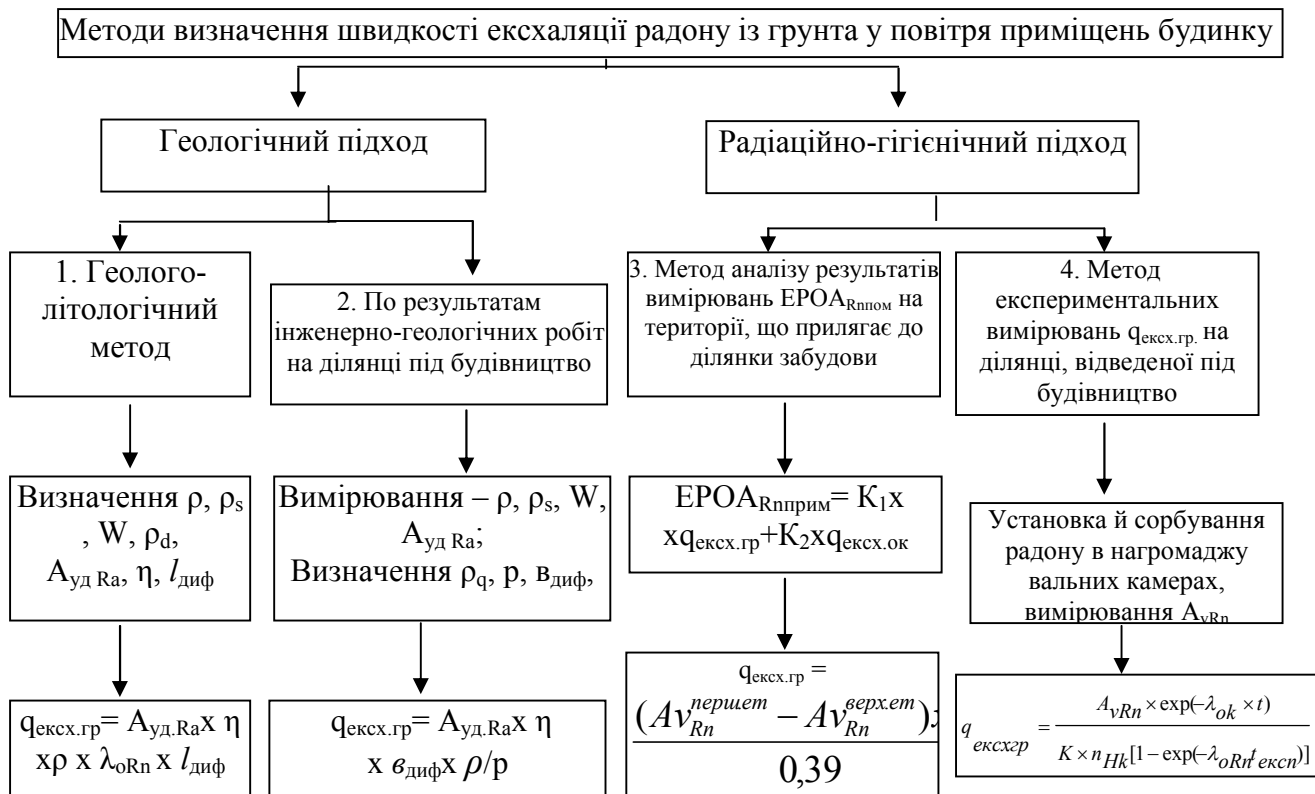
$$q_{\text{ексх.гр.}} = A_{\text{уд. Ra}} \times h_{\text{гр}} \times \rho_{\text{гр}} \times l_0 \text{ Rn} \times l_{\text{диф.гр.}}, \quad (6.2)$$

де  $\rho_{\text{гр}}$  – щільність ґрунту, кг/м<sup>3</sup>;

$l_{\text{диф.гр.}}$  – довжина дифузії радону в ґрунті, м.

Завдання визначення радононадходження із ґрунту, що підстилає, у повітря приміщень будинку є найбільш важкою з обліком як характеру вимірюваної величини, так і можливостей метрологічного встаткування. Рішення можливо різними методами залежно від рівня апріорної інформації про фізико-механічні й радіаційні параметри ґрунтів, наявності метрологічного забезпечення (мал. 6.2) і базується на загальноприйнятих геологічних і радіаційно-гігієнічних підходах.

Геологічний підхід передбачає знання фізико-механічних і радіаційних параметрів ґрунтів і використовується на перших кроках рішення радонової програми при дослідженні території. Він покладений в основу двох методів визначення радононадходження із ґрунтів, що підстилають: геолого-літологічного й при виконанні обов'язкових інженерно-геологічних робіт на земельній ділянці, виділеної для будівництва.



Мал. 6.2. Методи визначення величини радононадходження із ґрунтів, що підстилають, залежно від рівня апріорної інформації про ґрунти й метрологічне забезпечення

Геолого-літологічний метод визначення радононадходження заснований на використанні систематизованих даних про фізико-механічні параметри ґрунтів на досліджуваній території для вибору оптимальних фундаментів будинків (споруджень). Виготовлення мап досліджуваної території по радоновиділенню опирається на структурно-речовинний аналіз состава гірських порід, що дозволяє визначити границі типових ділянок на досліджуваній території. Накопичений рівень інформації про фізико-механічні параметри ґрунтів ( $\rho_s, \rho, W, \rho_d, \rho$ ), доповнений знанням рівня вмісту питомої активності радію-226  $A_{уд Ra, гр}$  і коефіцієнта еманування радону  $\eta$ , забезпечує визначення величини радононадходження із ґрунту. Через одиницю площі ґрунту, що підстилає, за одиницю часу проходить дифузійний потік радону  $j_{Rn}$ , Бк/м<sup>2</sup>хс, що дорівнює зменшенню його концентрації на одиницю  $\nabla A_{v гр-прим}$  довжини, Бк/м<sup>4</sup>:

$$j_{Rn} = -\epsilon_{диф} \times \nabla A_{v гр-прим}, \quad (6.3)$$

де  $\epsilon_{диф}$  – коефіцієнт дифузії радону в ґрунті, м<sup>2</sup>/с (табл. 6.2);

$$\nabla A_{v гр-прим} = A_{уд Ra гр} \times h \times \rho_{гр} \times l/h_{один}, \quad \text{Бк/м}^4. \quad (6.4)$$

Таблиця 6.2

## Величина коефіцієнта дифузії радону для ряду ґрунтів

Характер ґрунтів	Коефіцієнт дифузії радону в ґрунті $\nu_{\text{диф.}}$ , $\text{м}^2 \times \text{с}^{-1}$
Роздроблені й змінені гранодіоріти у природних умовах	$5 \cdot 10^{-7}$
Щільні незмінні гранодіоріти	$0,8 \cdot 10^{-4}$
Пісок річковий $p=0,43$ , $W=0,005$	$(1,17-1,23) \cdot 10^{-6}$
Глина біла $W=0,046$ , $p=0,6$	$1,5 \cdot 10^{-6}$
Суглинок $W=0,057$ , $p=0,4$	$1,1 \cdot 10^{-6}$
Елювіальні гранодіоріт	$5 \cdot 10^{-7}$
Глинистий пісок, утрамбований при засипанні	$2,6 \cdot 10^{-6}$
Глинистий пісок, не втрамбований при засипанні	$3,3 \cdot 10^{-6}$
Сухий кварцовий пісок	$6,5 \cdot 10^{-6}$
Суглинний ґрунт	$6,8 \cdot 10^{-6}$
Делювіальні злегка вологі відкладення	$7,4 \cdot 10^{-8}$

Знання радононадходження із ґрунтів, що підстиляють, на досліджуваній території даним методом дозволяє оцінити ступінь їх радоннебезпеки, що є основою, для рішення завдання забезпечення радіаційної безпеки об'єктів будівництва на початковій стадії їхнього проектування.

Метод визначення швидкості ексхаляції радону із ґрунту, що підстиляє, проводиться за результатами виконання обов'язкових інженерно-геологічних робіт на земельній ділянці, відведеній під будівництво. Він дозволяє забезпечити підвищення вірогідності даних як про фізико-механічні ( $\rho_s$ ,  $\rho$ ,  $W$ ,  $\rho_d$ ,  $\rho$ ) і радіаційні ( $A_{\text{уд.Ра}}$ ,  $\eta$ ,  $\nu_{\text{диф}}$ ) характеристики ґрунту на розглянутій земельній ділянці, так і швидкості ексхаляції радону із ґрунту в повітрі приміщень будинку (форм. 6.2).

Радіаційно-гігієнічний підхід забезпечення радонової безпеки об'єктів будівництва базується на результатах вимірів об'ємної активності радону і його ДПР у повітрі приміщень будинків  $\text{ЕРОА}_{\text{Рприм}}$ , що використовується для визначення границі даної швидкості ексхаляції радону  $q_{\text{ексх.гр}}$  на досліджуваній території.

За результатами вимірів об'ємної активності радону і його ДПР у повітрі приміщень, здаваних в експлуатацію будинків, можна изначити,

величину швидкості ексхаляції із ґрунту, що підстилає, у межах границі зони даної структури ґрунтів:

$$q_{ексх.зр} = \frac{(Av_{Rn}^{перш.ем} - Av_{Rn}^{верх.ем}) \times \lambda_в}{0,37}, \quad (6.5)$$

де  $Av_{Rn}^{перш.ем}$ ,  $Av_{Rn}^{верх.ем}$  – результати вимірів об'ємної активності радону в повітрі приміщень першого й верхніх поверхів будинку, Бк/м<sup>3</sup>;

0,37 – середнє значення відносини  $S_{підлоги}/v_{прим}$ , м<sup>-1</sup>;

$\lambda_в$  – кратність повітрообміну в приміщенні, с<sup>-1</sup>.

З урахуванням розрахункових значень  $q_{ексх.зр}$  робимо уточнення значень радону небезпеки ґрунтів для однотипних конструкцій будинків, а також границі території з даної радононебезпекою.

Метод виміру радононадходження на території земельної ділянки, виділеної під будівництво, виконуваного за допомогою накопичувальних камер з активованим вугіллям і використанням радіометрів забезпечує найбільшу вірогідність визначення швидкості ексхаляції радону із ґрунту, що підстилає. Значення швидкості ексхаляції  $q_{ексх.зр}$ , мБк/м<sup>2</sup>хс, з досліджуваної поверхні ділянки визначається по формулі:

$$q_{ексх} = \frac{A \times e^{-\frac{0,693 \times t}{T_{1/2}}}}{K_{норп} \times n_{н.к} \times (1 - e^{-\frac{0,693 \times t_{експ}}{T_{1/2}}})}, \quad (6.6)$$

де  $A$  – активність сорбенту, Бк;

$t$  – інтервал часу між закінченням експонування й часом початку виміру, год;

$t_{експ}$  – час експонування, год;

$n_{н.до}$  – число одночасно використовуваних накопичувальних камер.

Регламентований радіаційний параметр радононадходження із іонізуючих джерел (ґрунту, будівельних матеріалів конструкцій, що обгороджують) у повітря приміщень будинків - швидкість ексхаляції радону  $q_{ексх.зр}$ , мБк/м<sup>2</sup>хс, виміряється за допомогою гама-, бета-спектрометрів, радіометрів типу РГА-20П, РУБ-01П6, їхніх аналогів і накопичувальних камер (НК) з активованим вугіллям. Час експонування від 5 до 10 годин, час виміру активності проби не більше 3600 с. Межа відносної погрішності, що допускає,  $\pm (20 \div 30) \%$ .

Підвищення чутливості виміру  $q_{ексх}^{min} = f(n_{нк})$  забезпечується збільшенням числа одночасно експонованих накопичувальних камер  $n_{нк}$ . Так при збільшенні числа накопичувальних камер з однієї до п'яти порогів чутливості змінюється від 8 до 2 мБк/м<sup>2</sup>хс.

Джерелом радононадходження будівельного виробництва в повітря приміщень будинків також є будівельні матеріали конструкцій, що обгороджують, величини їхніх радонових параметрах (радоновмісту -  $A_{эф.Ра}$  і радоновиділення  $q_{ексх.см}$ ) по даним МКРЗ наведені в табл. 6.3.

Таблиця 6.3

### Радонові параметри будівельних матеріалів, що виготовляють

Будівельні матеріали	$A_{эф.Ра}$ , Бк/кг	$q_{ексх.см}$ , мБк/м <sup>2</sup> хс
Силікатна цегла	18-35	4,4-5,7
Легкий бетон	30-76	2,4-6,1
Керамічна цегла	37-56	1,3-1,8
Важкий бетон	19-43	3,5-12,4

Аналіз діапазонів варіювання швидкості ексхаляції радону-222  $q_{ексх.Рпсм}$ , мБк/м<sup>2</sup>хс, для основних груп будівельних матеріалів, що виготовляють, показує, що найбільше радононадходження характерно для важких бетонів.

### 6.3. Метод визначення потужності поглиненої дози гама-випромінювання ПРН у приміщенні будинку

Потужність поглиненої дози в приміщеннях будинків ППД<sub>прим</sub>, мкГр/год, створюється гама-випромінюваннями радіонуклідів будівельних матеріалів конструкцій, що обгороджують:

$$ППД_{прим} = f(A_{эф.ок.прим}), \quad (6.7)$$

При проектуванні величина ППД<sub>прим</sub> визначається на основі знання обраного конструктивного рішення будинку й видів використовуваної будівельної сировини й матеріалів по формулі:

$$\text{ППД}_{\text{прим}}, \text{ мкГр/год.} = K_{\text{Аэф}} \times \frac{\sum_{i=1}^6 A_{\text{оки}} \times m_{\text{оки}}}{\sum_{i=1}^6 m_{\text{оки}}} \quad (6.8)$$

Регламентований радіаційно-гігієнічний параметр у приміщеннях будинку – потужність поглиненої дози  $\text{ППД}_{\text{прим}}$ , при здачі побудованого будинку в експлуатацію виміряється дозиметрами, які повинні мати поріг чутливості не більше чим 0,09 мкГр/год (або 10 мкР/год), максимальний рівень залежності реєстрації від енергії випромінювання не повинен перевищувати 30 % у діапазоні від 3 кеВ до 3 МеВ.

#### 6.4. Методи визначення еквівалентної рівноважної об'ємної активності радону і його дочірніх продуктів розпаду в повітрі приміщень будинку

Величина  $\text{ЕРОА}_{\text{Rn(прим)}}$ , Бк/м<sup>3</sup>, характеризує об'ємну активність радону-222 і його дочірніх продуктів розпаду в повітрі приміщення будинку й залежить від радононадходження із ґрунту, що підстилає, будівельних матеріалів конструкцій, що обгороджують, і зовнішнього повітря, а також від коефіцієнта повітрообміну  $\lambda_v$ , с<sup>-1</sup>.

Регламентований радіаційний параметр – еквівалентна рівноважна об'ємна активність радону  $\text{ЕРОА}_{\text{Rnприм}}$ , Бк/м<sup>3</sup>, яка характеризує внутрішню складову ефективної дози опромінення, визначається співвідношенням:

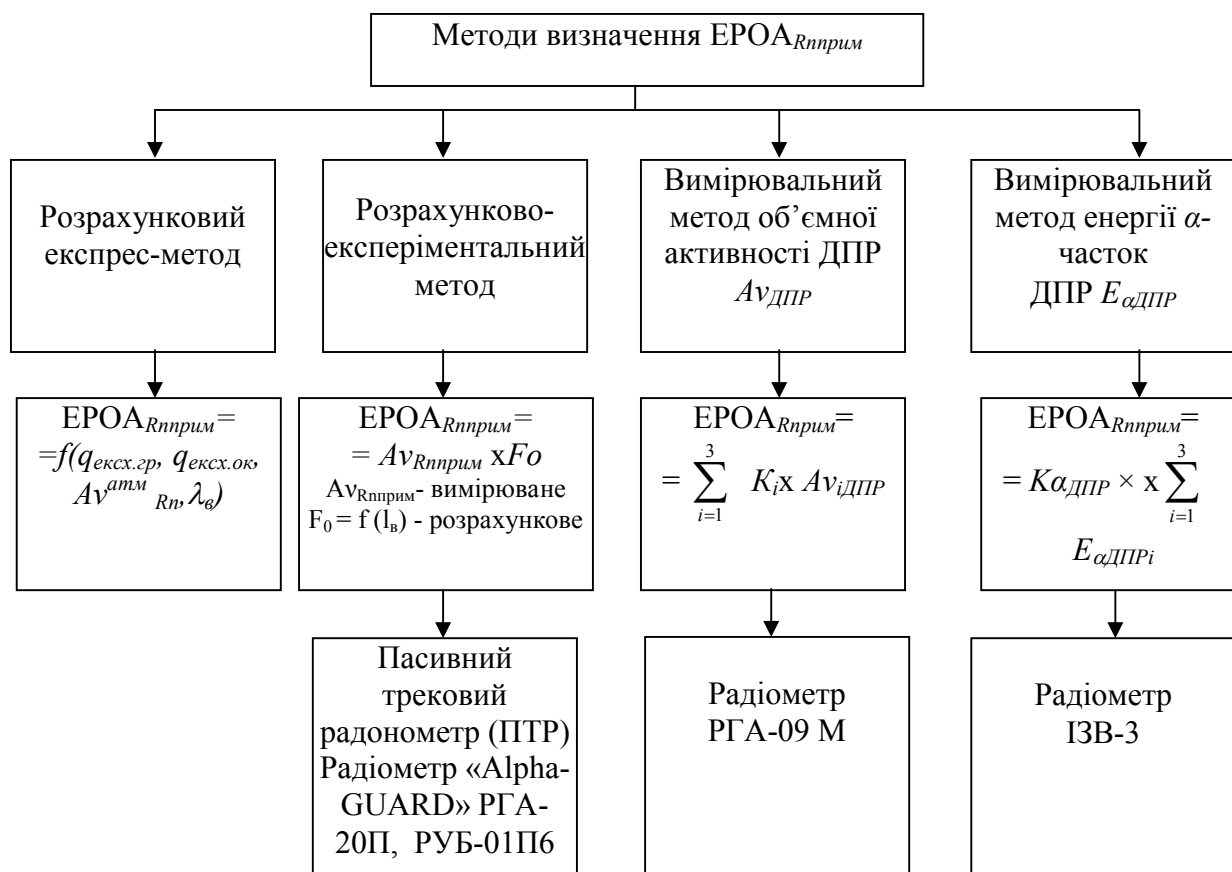
$$\begin{aligned} \text{ЕРОА}_{\text{Rном}} &= Av_{\text{Rном}} \times F_{\text{оRн}} = \\ &= 0,1046 \times Av_{\text{Po218}} + 0,5161 \times Av_{\text{Pb214}} + 0,3793 \times Av_{\text{Bi214}} = \quad (6.9) \\ &= K_{\text{E}\alpha} \times \sum_{i=1}^i E_{\alpha\text{ДПРi}}. \end{aligned}$$

Залежно від рівня апріорної інформації параметрів, що визначають величину  $\text{ЕРОА}_{\text{Rнприм}}$ , наявності вимірювального встаткування використовуються ряд методів визначення  $\text{ЕРОА}_{\text{Rн.прим}}$  (мал. 6.3).

Розрахунковий експрес-метод визначення  $\text{ЕРОА}_{\text{Rн.прим}}$  застосовується на стадії проектування будинку й опирається на апріорні дані про швидкості ексхаляції радону із джерел, об'ємної активності радону в повітрі на території будівництва й заданої величини кратності повітрообміну в приміщеннях будинку. Отримані результати



розрахунку необхідні для виконання на стадії проектування будинку розділу «Заходи щодо зниження рівня іонізуючих випромінювань ПРН будівельного виробництва».



Мал. 6.3 Методи визначення  $EROA_{Rn.прим}$ , Бк/м<sup>3</sup>

При розрахунково-експериментальному методі еквівалентна рівноважна об'ємна активність радону і його ДПР у повітрі приміщення визначається по формулі:

$$EROA_{Rn.прим} = Av_{Rn.прим} \times F_0, \quad (6.10)$$

Він передбачає вимір  $Av_{Rn.прим}$ , Бк/м<sup>3</sup>, за допомогою радіометричної групи приладів і визначення величини коефіцієнта рівноваги з урахуванням залежності від кратності повітрообміну  $F_0 = f(\lambda_0)$  у приміщеннях будинку розрахунковим методом.

Вимір  $Av_{Rn.прим}$  можливо за допомогою пасивних трекових радоніметрів (ПТР), нижній поріг виміру, яких знижується зі

збільшенням часу експонування. Так збільшення часу експонування з 1 доби до 30 доби підвищує чутливість приладу з 60 Бк/м<sup>3</sup> до 2 Бк/м<sup>3</sup>.

Радіометр «Alpha GUARD» призначений для виміру об'ємної активності радону-222 у повітрі на відкритій місцевості й у приміщеннях будинків. Діапазон виміру  $Av_{Rn}$  становить від 3 до 30000 Бк/м<sup>3</sup>. Величина основної погрішності  $\sigma_{осн}$ , %, при вимірі об'ємної активності радону з довірчою ймовірністю 0,95 розраховується по формулі:

$$\sigma_{осн} = \sqrt{\left(\frac{200}{P \times \frac{t_{изм}}{20}}\right)^2 + K^2 + M^2 + \left(\frac{200}{P}\right)^2}, \quad (6.11)$$

де  $P$  – середнє значення показань за час виміру  $t_{вим}$ , хв;

$K$  – погрішність калібрування, %, рівна 2%;

$M$  – погрішність зразкових засобів виміру використовуваних при перевірці, %, (3-4 %).

Величина  $\sigma_{осн}$ , %, при часі виміру від 2 до 6 годин  $t_{вим}$ , год, при вимірі  $Av_{Rnприм}$  в інтервалі від 50 до 200 Бк/м<sup>3</sup> становить від 18 до 7 %.

Визначення  $EPOA_{Rnприм}$ , Бк/м<sup>3</sup>, можливо також на основі виміру  $Av_{Rnприм}$ , Бк/м<sup>3</sup>, за допомогою гама-, бета-спектрометрів, радіометрів типу РГА-20П, РУБ-01П6 і пасивних дифузійно-сорбційних колонок (СК-13) при  $F_o=0,5$ . Зменшення нижнього порогу виміру  $Av_{Rnприм}^{min}$  досягають за рахунок збільшення числа колонок типу СК-13.

Основна відносна погрішність, що допускає, не повинна перевищувати  $\pm 30$  %.

Вимір  $Av_{Rnприм}$  виробляється у два етапи:

- експонуванням у досліджуваному приміщенні відкритого з одного кінця адсорбера протягом не менш 2-7 доби;
- у проведенні вимірів і визначенні збільшення до маси адсорбера за час експозиції й активності сорбенту по  $\gamma$  ( $\beta$ ) - випромінюванню коротко життєвих ДПР.

Для визначення середнього збільшення до маси адсорберів (приріст ваги)  $m$ , г, за час експонування використовуємо формулу:

$$m = \frac{1}{n} \times \sum_{j=1}^n (m_{kj} - m_{nj}), \quad (6.12)$$

де  $m_n$  й  $m_k$  – маса адсорбера перед і після експонування;

$n$  – число адсорберів, що одночасно експонуються в одному приміщенні.

Визначення об'ємної активності радону в повітрі досліджуваного приміщення проводили по формулі:

$$Av_{R_{\text{прим}}} = \frac{10^3 \times A_v \times \exp\left(-\frac{0,693 \times t}{T_{1/2}}\right)}{n \times \exp\left[1,58 + 0,307 \times \ln t_{\text{експ}} - 0,923 \times \sqrt{M} - 2,04 \sqrt{M} \times \exp(0,0438 \times t_{\text{експ}})\right]} \quad (6.13)$$

Вимір об'ємної активності дочірніх продуктів розпаду радону

$$EPOA_{R_{\text{прим}}} = \sum_{i=1}^3 K_i \times Av_{\text{ДПР}}$$

09 М.

Технічна характеристика приладу:

- діапазон ЕРОА радону-222  $5 \div 10^5$  Бк/м<sup>3</sup>;
- погрішність  $\pm 30\%$ ;
- об'ємна швидкість прокачування повітря огорожувального пристрою не менш 20 л х хв;
- час одного виміру ЕРОА<sub>Rn</sub> по методу Маркова (Томаса) 15 (20) хв.

Для визначення ЕРОА<sub>R<sub>прим</sub></sub>, Бк/м<sup>3</sup>, при цьому необхідно одночасно вимір об'ємної активності кожного з дочірніх продуктів розпаду радону аспіраційним методом - шляхом прокачування повітря з досліджуваного приміщення. При цьому на вхідному фільтрі приладу активно йде нагромадження дочірніх продуктів розпаду радону. Вимірюючи активність ДПР, що осіли на фільтрі, визначаємо об'ємну активність кожного з них.

Об'ємна активність у повітрі приміщень будинків, створюване ДПР радону, може також оцінюватися внесистемною одиницею - «схованої енергії» WL, МеВ/л, і визначається по формулі:

$$WL = \sum_{i=1}^3 E_{\alpha \text{ДПР}i}, \quad (6.14)$$

## РОЗДІЛ 6

де  $E_{\alpha ДПРi}$  – енергія альфа-випромінювання  $i$ -го ДПР в одиниці об'єму повітря, МеВ/л.

Схована енергія пропорційна потужності еквівалентної дози, створеної ДПР радону в легеневої тканині людини, тому величина  $ЭРОA_{Rнтном}$  може бути визначена на основі виміру схованої енергії ДПР  $WL$ , МеВ/л:

$$ЭРОA_{Rнтном} = K_{E\alpha ДПП} \times WL_{ДПР} = K_{EДПР} \times \sum_{i=1}^3 E_{\alpha ДПРi}. \quad (6.15)$$

Для виміру схованої енергії  $\alpha$  - випромінювань дочірніх продуктів розпаду радону застосовують прилад ІЗВ-3 (вимірник забруднення повітря).

В основу побудови приладу покладена спектрометрична методика визначення  $WL_{ДПР}$ , що дозволяє приводити поділ вимірів кількості  $\alpha$ -часток,  $^{218}Po$  й  $^{214}Bi$ ; реєстрацію їхньої активності, що накопичується на фільтрі, що відбувається в процесі відбору проби.

Основні технічні характеристики ІЗВ-3:

- діапазон виміру від  $0,1 \cdot 10^7$  до  $1 \cdot 10^{10}$  МеВ/л;
- основна погрішність  $< \pm 30 \%$
- тривалість виміру від 0,5 до 4 хв;
- швидкість відбору проби 2,5 л/хв.

Значення схованої енергії визначають по формулі:

$$E_{\alpha} = \frac{3,2 \times n}{\varphi \times v \times r^2} \times 10^5 \text{ МеВ/л}, \quad (6.16)$$

де  $n$  – число зареєстрованих імпульсів;

$v$  - швидкість відбору проби, л/хв;

$r$  – тривалість тимчасового виміру, хв;

$\varphi$  – чутливість, зазначена в паспорті приладу.

Правильний вибір методу й типу приладу для виміру регламентованих радіаційних параметрів будівельного виробництва на всіх стадіях ведення технологічного циклу будівництва визначає вірогідність отриманих результатів і служить базою для прийняття рішень на проведення необхідних захисних заходів.

### 6.5. Контрольні питання

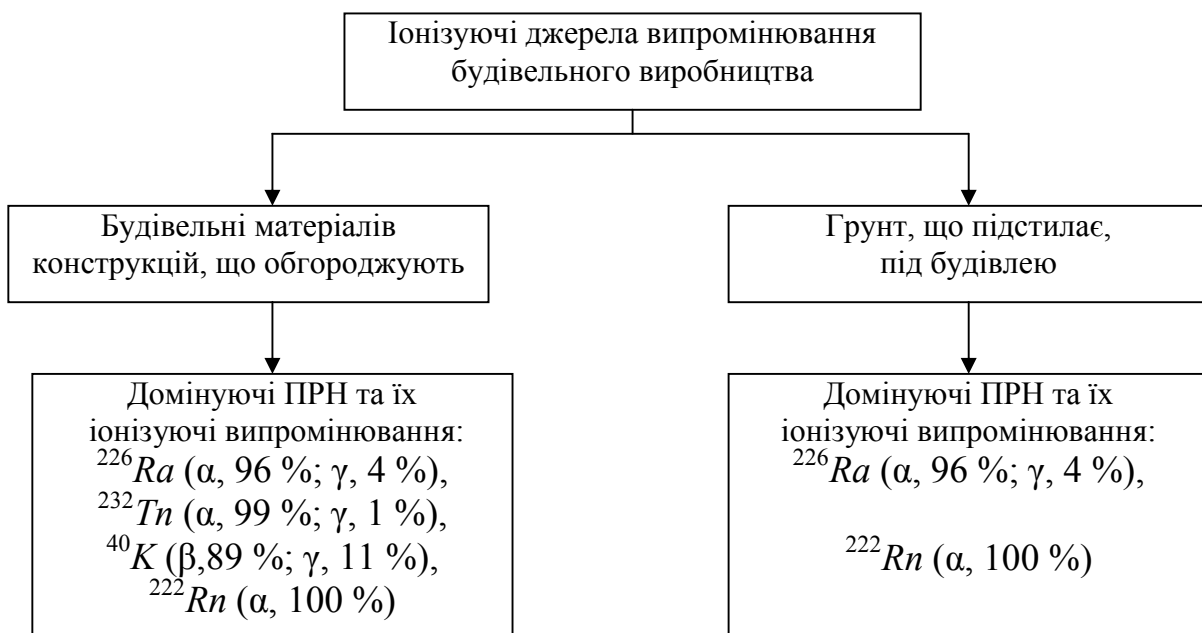
1. Дайте порівняльну характеристику застосовуваних методів виміру ефективної питомої активності радіонуклідів будівельної сировини (матеріалів) і виробів, що виготовляють, (конструкцій)?
2. Які вихідні дані по використовуваних видах сировини потрібні для визначення ефективної питомої активності вмісту радіонуклідів у виробів, що виготовляють, (конструкцій)?
3. Чому потужність поглиненої дози гама-випромінювання в приміщеннях будинку однозначно залежить тільки від вмісту домінуючих радіонуклідів у будівельних матеріалах конструкцій, що обгороджують?
4. Який з розглянутих методів визначення  $EPOA_{\text{прим}}$ , Бк/м<sup>3</sup>, забезпечує найбільшу точність і чому?

## РОЗДІЛ 7

## Комплекс протирадіаційних захисних заходів (КПЗЗ) будівельного виробництва для забезпечення радіаційної якості будинків

### 7.1. Аналіз захисту від впливу іонізуючих джерел випромінювання будівельного виробництва

Значимість внеску іонізуючих джерел будівельного виробництва у величину сумарної ефективної дози опромінення ( $> 70\%$ ) обумовлена, у першу чергу, характером іонізуючих випромінювань при розпаді природних радіонуклідів, що втримуються в них (мал. 7.1).



Мал. 7.1. Іонізуючі джерела випромінювання будівельного виробництва

При розрахунку захисту від шкірного виду іонізуючі випромінювання необхідно враховувати розходження їх проникаючої й іонізуючої здатності. Захист від зовнішнього впливу альфа-частинок не представляє особливих складностей, тому що вони, маючи дуже велику щільність іонізації  $K_{iон}$ , швидко витрачають свою енергію та поглинаються в порівняно тонких кулях речовини, що перевищують довжину їхнього вільного пробігу  $\ell_{пр}$ , см:

$$\ell_{np\alpha} = f(E_{\alpha i}, \rho_i, (Z + N)_i), \quad (7.1)$$

де  $E_{\alpha}$  – енергія випромінювання альфа-частинок, МеВ;

$\rho_i$  – щільність  $i$ -го речовини (щільність повітря дорівнює  $1,29 \cdot 10^{-3}$  г/см<sup>3</sup>, біотканині – 1 г/см<sup>3</sup>);

$(Z+N)_i$  – атомне число  $i$ -го радіонуклідів.

У табл. 7.1 наведені величини проникаючої й іонізаційної здатності  $\alpha$  - випромінюючих природних радіонуклідів.

Таблиця 7.1

### Довжина пробігу $\ell_{np,\alpha i}$ й коефіцієнт іонізації $K_{i\alpha}$ альфа-частинок

Енергія випромінювання $E_{\alpha}$ , МеВ	Довжина вільного пробігу $\ell_{np,\alpha}$ в			$K_{i\alpha}$ , пар іонів, $10^5$
	повітрі, см	біотканині, мкм	алюмінії, мкм	
4,0	2,5	31	15	1,1
4,5	3,0	37	20	1,3
5,0	3,5	43	23	1,4
5,5	4,6	49	26	1,6
6,0	5,2	56	30	1,7
7,0	5,9	72	38	2,0
8,0	7,4	91	43	2,3
9,0	8,9	110	58	2,6
10,0	10,6	130	69	2,9

Проникаюча здатність  $\alpha$ -частинок невелика. Так у повітрі пробіг альфа-частинок, що випускають, наприклад, радоном-222 з  $E_{\alpha} = 5,5$  МеВ дорівнює 4,6 см, а в біотканині - 49 мкм. Пробіг альфа-частинок радону-222 у біологічної тканині при цьому не перевищує товщини шару епідермаса шкіри (70 мкм) і не досягає чутливих кліток базального шару, тобто  $\alpha$  - частинки не представляють небезпеки зовнішнього опромінення організму людини.

Довжина пробігу бета-частинок у діапазоні енергій природних радіонуклідів залежить від:

$$\ell_{np\beta} = f(E_{\beta}, \rho_i). \quad (7.2)$$

У табл. 7.2 наведені дані залежності  $\ell_{np\beta}^i$  від енергії випромінювання й щільності середовища (речовини)  $r_i$ .

Таблиця 7.2

**Довжина пробігу бета-частинок**

Енергія $E_\beta$ , MeV	$\ell_{np\beta}$	
	у повітрі, см	у біотканині, мм
0,1	0,13	0,143
0,2	0,407	0,448
0,4	1,168	1,29
0,6	2,050	2,27
0,8	2,985	3,31
1,0	3,936	4,38
1,2	4,896	5,47
1,4	6,821	7,66
1,6	7,781	8,56
2,0	8,974	10,2
2,4	10,611	12,0
3,0	14,411	15,30
4,0	17,858	20,60

Бета-випромінювання природних радіонуклідів значною мірою затримується одягом, а якщо й досягає тіла, то проникає на глибину, що не являє загрозу внутрішнім органам.

Розпад домінуючих радіонуклідів природних радіонуклідів будівельного виробництва, поряд з корпускулярними  $\alpha$ -,  $\beta$ -випромінюваннями, супроводжується електромагнітним гама-випромінюванням.

Закон ослаблення потужності дози гама-випромінювання однорідним захисним матеріалом товщиною  $x$  у геометрії вузького променя (не розсіяне випромінювання) описується вираженням:

$$\text{ППД}_x = \text{ППД}_o \times \exp(-\mu \times x) = \text{МПД}_o \times \exp\left(-\frac{0,693}{\Delta 0,5} \times x\right), \quad (7.3)$$



де  $ППД_0$  – потужність поглиненої дози при  $x=0$ , мкГр/год;  
 $\mu$  – лінійний коефіцієнт ослаблення,  $\text{см}^{-1}$ ;  
 $x$  – товщина шаруючи речовини, см;  
 $\Delta 0,5$  – слой (шар) половинного ослаблення, см (табл. 7.3).

Довжина пробігу електромагнітного  $\gamma$ -випромінювання, на відміну від корпускулярних  $\alpha$ -,  $\beta$ -випромінювань, значно перевищує товщину шкірного покриву людини. Тому електромагнітне гама-випромінювання ПРН будівельного виробництва несе основну погрозу зовнішнього опромінення організму людини.

Таблиця 7.3

**Шар (слой) половинного ослаблення гама-випромінювань  
 $\Delta 0.5$ , см, для деяких матеріалів**

Матеріали	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$E\gamma$ , MeV		
		1	2	3
Сосна	0,67	15,3	27,3	40
Дуб	0,77	13,3	23,6	34,1
Парафін	0,89	10,7	10,8	28,1
Каучук	0,915	10,4	18,7	27,5
Тканини людини	1,0	9,9	17,6	25,2
Цегла силікатний	1,78	6,1	10,7	14,6
Цегла вогнетривкий	2,05	5,3	9,3	12,7
Цемент	2,07	9,3	9,3	12,7
Пісок	2,2	4,9	8,5	11,7
Глина	2,2	5,3	8,6	11,7
Оксид берилію	2,3	4,9	8,7	12,5
Піщаник	2,4	4,5	7,9	10,8
Бетон портланд	2,4	4,5	7,8	10,7
Граніт	2,45	4,4	7,8	10,5
Карбід бора	2,5	4,6	8,4	10,2
Вапняк	2,91	3,7	6,3	8,4
Бетон баритовий	3,5	3,2	5,4	6,3
Скло свинцеве	6,4	1,5	2,7	5,6
Нержавіюча сталь	7,8	1,5	4,1	5,9
Сталь(1 % С)	7,8	1,5	2,4	2,9
Вісмут	9,8	0,9	1,6	2,8

Ізотопи радону ( $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{220}\text{Rn}$ ) є продуктами розпаду ізотопів радію ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{224}\text{Ra}$ ), які втримуються в будівельних матеріалах конструкцій, що обгороджують, і ґрунті, що підстилає, під будинком. Розпад ізотопів радону - радіоактивних газів супроводжується 100 %  $\alpha$ -випромінюванням. Дочірні продукти розпаду (ДПР) радону надають тверді речовини, що перебувають у повітрі приміщень будинки в аерозольному стані, їхній розпад супроводжується  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -випромінюваннями.

Ізотопи радону і їх ДПР надходять в організм людини через органи подиху й несуть погрозу внутрішнього опромінення організму людини.

Джерела внутрішньої складового опромінення організму – радононадходження з будівельних матеріалів конструкцій, що обгороджують, і ґрунту, що підстилає, під будинком оцінюються по величині швидкості ексхаляції (надходження) радону з їх  $q_{\text{ексх. Rn}}$ , Бк/м<sup>2</sup>хс, у повітря приміщень:

$$q_{\text{ексх. Rn}} = f \left( A_{\text{удRn.гр(ок)}}, \eta, \rho_{\text{гр(ок)}}, \lambda_{\text{оRn}}, \ell_{\text{диф.гр(ок)}} \right). \quad (7.4.)$$

Безпосередньо впливати на величини параметрів, що визначають  $q_{\text{ексх. Rn гр(ок)}}$  із джерел, людина не може. Тому послабити вплив радононадходження з джерел у повітря приміщень будинків можна шляхом установки захисних екранів, установлюваних на шляху рухові потоку іонізуючих випромінювань із джерела в повітря приміщення.

## 7.2. Комплекс основних груп захисних заходів забезпечення радіаційної якості об'єктів будівництва

Знання характеристик іонізуючих випромінювань радіонуклідів й їхніх розходжень впливу на організм людини показує складність завдань, які повинні бути вирішені комплексом протирадіаційних захисних заходів для забезпечення рівня радіаційної якості житла.

Будівельне виробництво представляє складну багато етапну систему, механізм керування радіаційними властивостями якої складається як у зменшенні параметрів іонізуючих джерел, так і створюваного ними радіаційного фону в приміщеннях будинку.

Керування рівнем радіаційної безпеки об'єктів будівництва, що іонізують джерела які відносяться до групи ТІШПІ, можна тільки за допомогою захисних заходів для зменшення величини регламентованих

радіаційних параметрів виробництва й зниження створюваного ними радіаційного впливу на організм людини. З урахуванням призначення будівельного виробництва й сформованої організаційно-технологічної структури її функціонування оцінка радіаційних параметрів змісту природних радіонуклідів у продукції, що випускають, носить не прогнозований і неконтрольований характер. Знизити ступінь невизначеності, створюваної радіаційної обстановки, можна тільки застосуванням захисних заходів на шкiрному з етапів будівельного виробництва з урахуванням властивостей іонізуючих випромінювань регламентованих параметрів.

НРБУ-97 для забезпечення радіаційної безпеки техногенних іонізуючих джерел рекомендований ряд груп, що входять у комплекс протирадіаційних захисних заходів (КПЗЗ).

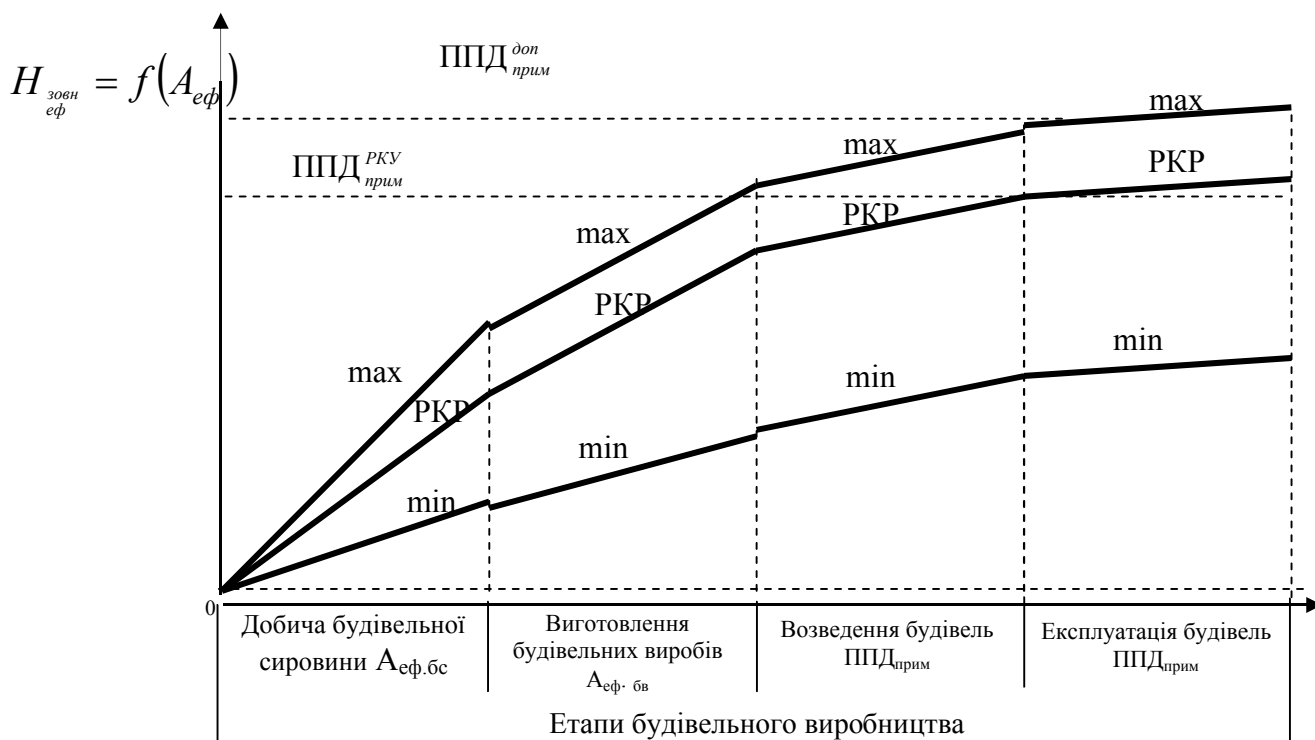
Стосовно до будівельного виробництва КПЗЗ включає нормативно-правові, технологічні, архітектурно-конструктивні, технічну й організаційну групи (мал. 7.2).



Мал. 7.2. Класифікація основних груп захисних заходів, застосовуваних для забезпечення радіаційної якості житлових будинків

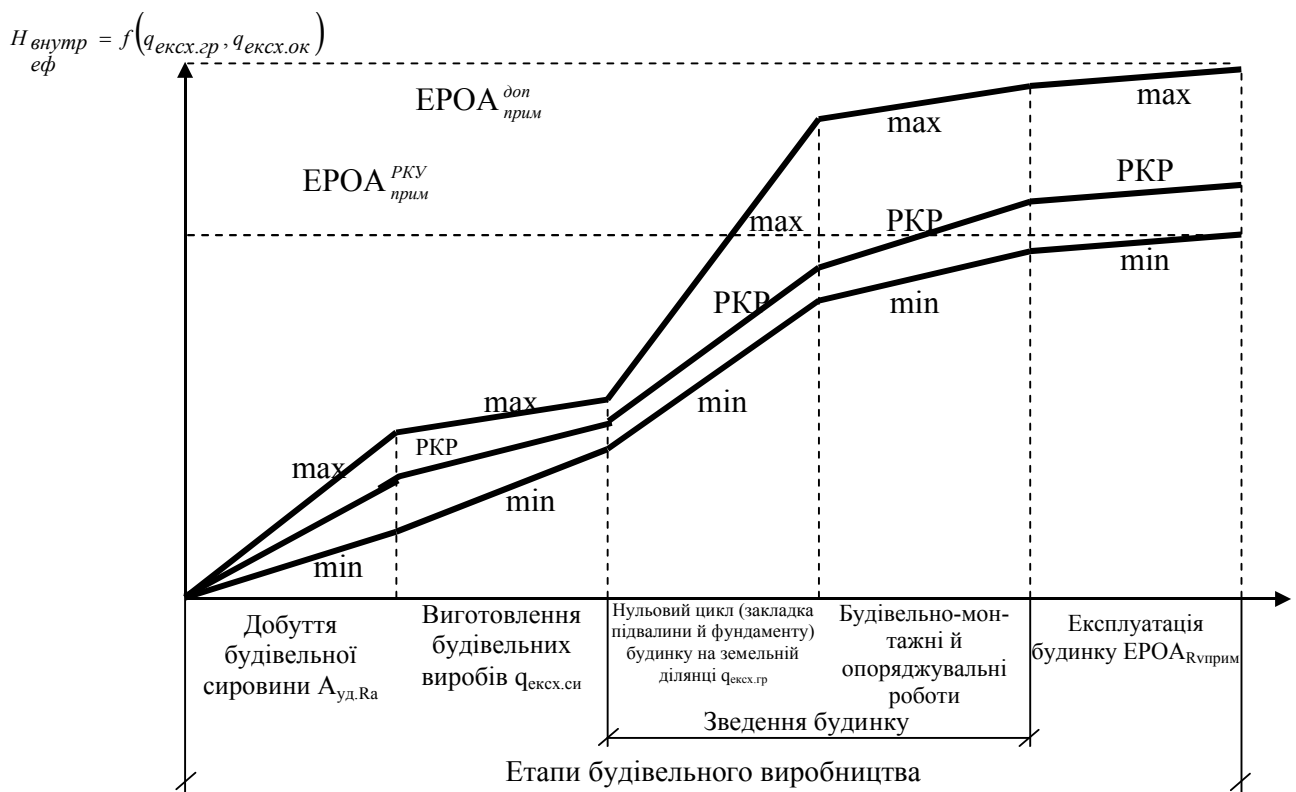
Рівень радіаційної якості об'єктів будівництва залежить від радіоактивності, що закладають, у продукцію на шкірному етапі виробництва. З урахуванням можливості регулювання радіаційних параметрів будівельного виробництва контролем необхідно охопити всі іонізуючі джерела виробництва, що визначають зовнішню й внутрішню складові ефективної дози опромінення в приміщеннях будинку. Порівняльна оцінка внеску іонізуючих джерел будівельного виробництва на окремих етапах виробництва в створювану ефективну дозу опромінення представлена на мал.7.3, 7.4.

На етапі видобутку будівельної сировини й матеріалів (етап 1) формується антропогенне іонізуюче джерело будівельного виробництва, величини параметрів якого, у першу чергу, визначаються геологічною структурою гірських порід. Внесок першого етапу будівельного виробництва у величину радіаційних параметрів проєктованого будинку ( $ПД_{прим}$ , мкГр/год, і  $ЕРОА_{Rnприм}$ , Бк/м<sup>3</sup>) оцінюється діапазоном зміни параметрів  $A_{ef.бс}^{min} \div A_{ef.бс}^{max}$  і  $A_{yодРабс}^{min} \div A_{yодРабс}^{max}$  Бк/кг. Установлення їх регіональних контрольних рівнів дозволяє реалізувати можливості нормативно-правової групи захисних заходів щодо зменшення впливу іонізуючих джерел на першому етапі виробництва ( $\Delta A_{ef.бс} = A_{ef.бс}^{max} - A_{ef.бс}^{PKY}$ ).



Мал. 7.3. Формування зовнішньої складової ефективної дози опромінення у приміщенні будинку на окремих етапах циклу будівельного виробництва

Для іншого етапу будівництва – виготовлення будівельних виробів і конструкцій характерне використання різних видів будівельної сировини з нормуванням їх по масі. При цьому внесок іонізуючого джерела будівельного виробництва в дозову навантаження менше ніж на першому етапі. Установлення регіональних контрольних рівнів радіаційних параметрів будівельних виробів ( $A_{\text{ef.бв}}^{\text{PKV}}, q_{\text{ексх.бв}}^{\text{PKV}}$ ) припускає використання ефективних технологічних захисних заходів щодо зменшення впливу іонізуючих джерел.



Мал. 7.4. Формування внутрішньої складової ефективної дози опромінення у приміщенні будинку на окремих етапах циклу будівельного виробництва

Третій етап технологічного циклу будівництва починається з виконання робіт із закладки підвалини й фундаменту на земельній ділянці, відведеній під будівництво, і наступних будівельно-монтажних й опоряджувальних робіт по зведенню будинку. Величини радіаційних параметрів іонізуючих джерел на цьому етапі виробництва характеризують створювану джерелами потужність зовнішньої й внутрішньої складової ефективної дози опромінення в приміщеннях

будинку (ППД<sub>прим</sub>, мкГр/год, і ЕРОА<sub>Ртприм</sub>, Бк/м<sup>3</sup>), які залежать від параметрів іонізуючих джерел:

$$\text{ППД}_{\text{прим}} = f(A_{\text{эф.ок}}), \quad (7.5)$$

$$\text{ЕРОА}_{\text{Ртприм}} = f(q_{\text{ексх.гр}}, q_{\text{ексх.ок}}). \quad (7.6)$$

Закладений рівень вмісту ПРН у будівельних матеріалах конструкцій, що обгороджують, приміщень будинку й радононадходження із джерел визначає рівень радіаційної якості об'єкта будівництва. Аналіз внеску ІДВ на окремих етапах виробництва, які створюють зовнішню й внутрішню складові дози опромінення, показує значимість радононадходження із ґрунту й у меншій мері з конструкцій, що обгороджують. Зменшити їхній вплив можна тільки на основі архітектурно-конструктивної й технічної груп захисних заходів, реалізація яких і визначає, у залишковому підсумку, що досягає рівень радіаційного захисту людини в приміщеннях будинку. Параметри іонізуючих джерел будівельного виробництва залишаються практично незмінними на весь строк експлуатації будинку  $t_{\text{експл}}$ , тому що період напіврозпаду ПРН будівельних матеріалів конструкцій, що обгороджують, будинків  $T_{1/2}$  значно перевищують його  $t_{\text{експл}}$ .

Кожне  $j$ -ий захисний захід характеризується, насамперед, коефіцієнтом ослаблення регульованого радіаційного параметра  $u_i$  будівельного виробництва. При цьому величина регульованого параметра  $u_i^j$  визначається співвідношенням:

$$u_i^j = u_i \times (1 - K_{\text{ослі}}^j), \quad (7.7)$$

що веде природно до зменшення сумарної ефективної дози опромінення  $H_{\text{эф}\Sigma}^j$ .

Установлено функціональні залежності показника ефективності захисного заходу  $\Delta H_{\text{эф}}^j$  від величини регламентованого радіаційного параметра виробництва  $u_i$  і коефіцієнта ослаблення  $j$ -го захисного заходу  $K_{\text{ослі}}^j$  у вигляді функції:

$$\Delta H_{\text{эф}}^j = f(v_i, u_i, K_{\text{ослі}}^j), \quad (7.8)$$

де  $\epsilon_i$  – коефіцієнт функціонального зв'язку  $i$ -го регламентованого радіаційного параметра зі створюваною дозою опромінення.

Аналіз розходжень властивостей іонізуючих випромінювань джерел будівельного виробництва показує необхідність застосування основних груп захисних заходів, на окремих етапах виробництва по наступних напрямках (табл. 7.4).

Таблиця 7.4

**Основні групи протирадіаційних захисних заходів як засіб  
зниження рівня іонізуючих впливів  
радіонуклідів джерел у приміщеннях житлових будинків**

Групи захисних заходів	Етапи будівельного виробництва й регульовані параметри		
	Видобуток будівельної сировини й матеріалів	Виготовлення будівельних виробів (конструкцій)	Зведення будинку на земельній ділянці, виділеній під будівництво
Нормативно-правова	Установлення $A_{\text{еф.}}^{\text{доп}}$ , $A_{\text{еф.}}^{\text{ПКУ}}$ , $A_{\text{удRa(Th)}}^{\text{доп}}$ , $A_{\text{удRa(Th)}}^{\text{ПКУ}}$ для різних видів будівельної сировини	Установлення $A_{\text{еф.}}^{\text{доп}}$ , $A_{\text{еф.}}^{\text{ПКУ}}$ ; $q_{\text{ексх.ок}}^{\text{доп}}$ ; $q_{\text{еф.}}^{\text{ПКУ}}$ для будівельних матеріалів, що виготовляють, і виробів	Установлення ППД <sup>доп</sup> , ЕРОА <sup>доп</sup> <sub>Rn(Tn)</sub> , для будинків з різних матеріалів і ґрунтів, що підстилають
Технологічна	-	Зменшення $A_{\text{еф.}}$ , $q_{\text{ексх.ок}}$ будматеріалів шляхом вибору компонентів будівельної сировини і їхніх мас, технології виготовлення	-
Архітектурно-конструктивна	-	-	$q_{\text{ексх.зр.}}^{\text{ПКУ}}$ , $q_{\text{ексх.ок}}^{\text{ПКУ}}$ , МПД <sub>прим}^{\text{ПКУ}}, ЕРОА<sub>прим}^{\text{ПКУ}}</sub></sub>
Технічна	-	Розробка будматеріалів з $A_{\text{еф.}} \leq 20$ Бк/кг, використовуваних як захисні екрани	Установлення ППД <sub>прим}^{\text{ПКУ}}, <math>q_{\text{ексх.ок}}^{\text{ПКУ}}</math>, <math>q_{\text{ексх.зр.}}^{\text{ПКУ}}</math>, ЕРОА<sub>Rn(Tn)}^{\text{ПКУ}}</sub></sub>
Організаційна	Дотримання вимог НРБУ-97, ДБН В. 1.4-97		

### 7.3. Характеристика нормативно-правової групи захисних заходів

Нормативно-правова група захисних заходів базується на результатах аналізу основних етапів будівельного виробництва й установлення взаємних зв'язків регламентованих радіаційних параметрів джерел іонізуючих випромінювань виробництва ( $A_{\text{еф.бс(бв)}}$ , Бк/кг;  $q_{\text{ексх.Рп гр. (бв)}}$ , Бк/м<sup>2</sup>хс) і створюваних ними радіаційно-гігієнічних параметрів у приміщеннях будинку ( $\text{ППД}_{\text{прим}}$ , мкГр/год, і  $\text{ЕРОА}_{\text{Рп.прим}}$ , Бк/м<sup>3</sup>).

Для шкірного регламентованого радіаційного параметра виробництва НРБУ-97 установлений припустимий рівень, величина якого виключає виникнення детермінованих граничних ефектів, а ймовірність безпорогових стохастичних ефектів не повинна перевищувати заданої величини ризику ( $5 \cdot 10^{-5}$  – для населення). Також визначені вимоги до встановлення контрольних рівнів регламентованих радіаційних параметрів, які повинні відбивати й закріплювати досягнутий рівень радіаційної безпеки відповідно до вимог принципів НРБУ-97. Контрольні рівні встановлюються з урахуванням можливостей захисних заходів в окремих регіонах країни (табл. 7.5).

Таблиця 7.5

#### Нормативно-правове поле системи забезпечення радіаційної якості житла

Етапи будівельного виробництва	Регламентовані радіаційні параметри			Контрольні рівні (КР), введені НРБУ-97
	Припустимі рівні, установлювані ДБН.В.1.4-1.01			
Видобуток будівельної сировини й матеріалів	параметр	клас	$A_{\text{еф}}^{\text{доп}}$ , Бк/кг	$A_{\text{еф.житл}}^{\text{ку}} < A_{\text{еф.житл}}^{\text{доп}}$
	$A_{\text{еф.бм(бв)}}$	I	$A_{\text{еф.житл}}^{\text{доп}} \leq 370$	
		II	$A_{\text{еф.прим.}}^{\text{доп}} \leq 740$	$A_{\text{еф.прим.}}^{\text{ку}} < A_{\text{еф.прим.}}^{\text{доп}}$
Виробництво будівельних матеріалів і виробів		III	$A_{\text{еф.дор}}^{\text{доп}} \leq 1350$ $q_{\text{ексх.ок}} < 8 \cdot 10^{-3}$ Бк/м <sup>2</sup> ×с	$A_{\text{еф.дор}}^{\text{ку}} < A_{\text{еф.дор}}^{\text{доп}}$



Продовження таблиці 7.5

Зведення об'єктів будівництва	ПІД, мкГр/год (ЕПД, мкР/год)	будинку		ПІД <sup>ку прим</sup> < ПІД <sup>дон прим</sup>
		житло-цивільні	промислові	
		$\leq 0,26$	$\leq 0,44$	
	ЕРОА <sub>Rn</sub> , Бк/м <sup>3</sup>	ЕРОА <sup>дон</sup> <sub>Rn</sub> $\leq 50$	ЕРОА <sup>дон</sup> <sub>Rn</sub> $\leq 300$	ЕРОА <sup>ку</sup> <sub>Rn</sub> < ЕРОА <sup>дон</sup> <sub>Rn</sub>
Зведення об'єктів будівництва	ЕРОА <sub>Tn</sub> , Бк/м <sup>3</sup>	ЕРОА <sup>дон</sup> <sub>Tn</sub> $\leq 3$	ЕРОА <sup>дон</sup> <sub>Tn</sub> $\leq 20$	ЕРОА <sup>ку</sup> <sub>Tn</sub> < ЕРОА <sup>дон</sup> <sub>Tn</sub>
	q <sub>ексх.гр.</sub> мБк/м <sup>3</sup> хс	q <sup>дон</sup> <sub>ексх.гр.</sub> $\leq 25 \times 10^{-3}$	q <sup>дон</sup> <sub>ексх.гр.</sub> $\leq 25 \times 10^{-3}$	q <sup>ку</sup> <sub>ексх.гр.</sub> $\leq qдонексх.гр.$

Рішення завдання встановлення контрольних рівнів регламентованих радіаційних параметрів можливо тільки на основі систематичних радіаційних обстежень (СРО), які дозволяють реалізувати принцип оптимізації НРБУ-97 по забезпеченню радіаційної якості житла на базі реалізації можливостей регіональних захисних заходів.

#### 7.4. Технологічна група захисних заходів - основа забезпечення радіаційної якості будівельних виробів, що виготовляють, (конструкцій)

Технологічна група захисних заходів реалізується на етапі виготовлення будівельних матеріалів (виробів) і спрямована на регулювання їхніх радіаційних параметрів шляхом зміни маси застосовуваних видів будівельної сировини (важкі й легкі бетони); впливу температури в процесі технологічного виготовлення будівельних матеріалів (виробів) на радоновий параметр – коефіцієнт еманування радону  $\eta(t)$  і ін.

Бетон широко використовується у всіх видах будівництва. Це визначило правомірне дослідження технологічного керування радіаційними параметрами бетонних виробів, що виготовляють, з метою зниження вмісту природних радіонуклідів у випуск продукції, що ( $A_{\text{эф.бм.}(бв)}$ , Бк/кг) на основі перекладу властивостей еквівалентних

составів по міцності й удобоукладання в трьохкритеріальну модель із обліком  $A_{ef.бет}$ . Це дозволило на 15-25 % зменшити  $A_{ef.бет}$  виробів, що виготовляють.

Еманування радону в матеріалі іонізуючого джерела характеризує коефіцієнтом еманування  $\eta$ , величина якого для первинних матеріалів становить від 0,02 до 0,46 (табл. 7.6). Більше високі значення характерні для вторинних мінералів, що виникли в гірських породах внаслідок зміни їхніх фізико-хімічних умов, і можуть досягати до 0,9. Це обумовлено сорбіруванням породами радію-226, а виділення ізотопів радону з їх відбувається значно легше, ніж з первинних мінералів.

Експериментально визначена залежність коефіцієнта еманування від температури технологічного процесу для основних груп будівельних матеріалів (бетонів, керамічних виробів)  $\eta_{cu}=f(t_0)$ . Найбільш низькі значення  $\eta$  виявлені в матеріалах, які підверглися високотемпературній обробці в процесі технологічного виробництва (табл. 7.7).

Таблиця 7.6

**Коефіцієнт еманування в будівельних матеріалах і ґрунті (середні значення й діапазон варіювання)**

Матеріали	Кількість зразків	$\eta$ , %
Глина	23	21 (13-39)
Ґрунт	7	21 (5,7-44)
Щебені	11	9,1 (3,0-17)
Піщано-гравійна суміш	10	19 (7,4-35)
Будівельний розчин	4	24 (16-42)
Важкий бетон	15	11 (3,4-26)
Пісок	14	20 (4,3-46)
Гравій	5	11 (7,1-14)
Легкий бетон	5	9,5 (1,2-23)
Силікатна цегла	6	10 (6,9-14)
Штукатурка	3	12 (9,1-16)
Шлаки	17	0,9 (0,1-1,5)
Вапно, крейда	6	3,5 (2,7-4,0)
Туф	5	1,4 (0,5-2,4)
Цегла керамічна	16	1,5 (0,4-3,8)
Зола	8	0,8 (0,1-2,4)
Цемент	13	1,3 (0,5-2,3)
Керамзитовий гравій	7	1,0 (0,3-1,0)
Будівельний гіпс	4	4,4 (1,9-7,3)
Вапняк	4	4,6 (1,4-13)

Таблиця 7.7

**Значення питомої активності радію-226  $A_{\text{удRa}}$  і коефіцієнта еманування радону  $\eta$  для сировини й матеріалів,**

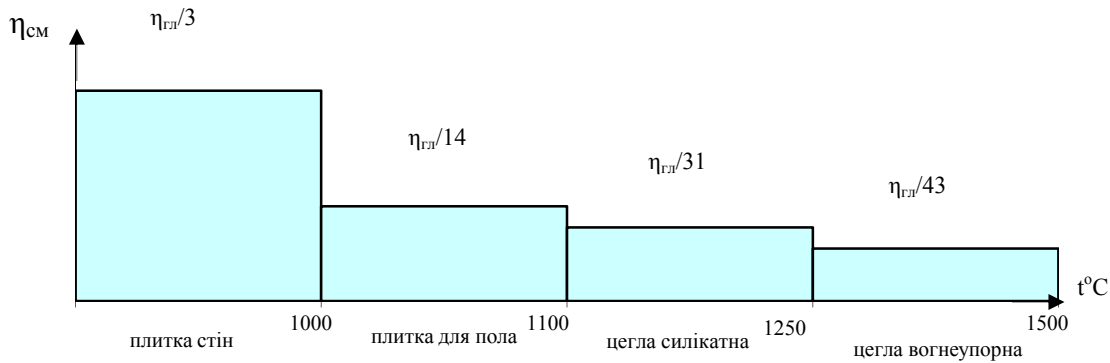
**ВИГОТОВЛЯЮТЬ ШЛЯХОМ ВИПАЛУ**

Вид	$A_{\text{удRa}}$ , Бк/кг	$\eta$ , %	Вид	$A_{\text{удRa}}$ , Бк/кг	$\eta$ , %
Глина	49	17	Керамічна плитка для стін	53	5
Глина	43	14	Керамічна плитка для підлоги	44	1
Глина (вогнетривка)	49	13	Цегла вогнетривка	46	0,3
Цегла (сирець)	26	13	Цегла вогнетривка	40	0,4

Найбільш низька здатність еманування характерна для золи й шлаків, цементу й керамічних виробів. Так керамічна плитка для стін обпалюється при  $t^{\circ} = 830-1030$  °С і коефіцієнт еманування сировини – глини  $\eta_{\text{гл}}$  зменшується в 3 рази. Керамічна плитка для підлоги обпалюється при температурі 900-1100° С и  $\eta$  зменшується в 14 разів. Цегла керамічна обпалюється при  $t^{\circ} = 1100-1250$  °С й  $\eta_{\text{гл}}$  зменшується в 30 разів. Цегла вогнетривка обпалюється при  $t^{\circ} = 1500-1800$  °С й  $\eta_{\text{гл}}$  зменшується в 43 рази. Отже, зменшення  $\eta$  керамічних виробів, що виготовляють, відбувається в діапазоні температур від 830 до 1800°С.

Аналіз впливу високотемпературної обробки на величину питомої активності радію-226 і зміна коефіцієнта еманування радону  $\eta$  матеріалів, що виготовляють, показує можливість використання даного технологічного захисного заходу для зменшення внутрішньої складової ефективної дози опромінення.

Закономірність зміни коефіцієнта еманування радону в керамічних виробих від температури їхнього технологічного процесу  $\eta_{\text{кер.изд}} = f(t^{\circ}\text{C})$  у порівнянні  $\eta_{\text{гл}}$  (вихідний вид сировини) із представлений на малий. 7.5.



**Рис. 7.5.** Коефіцієнт еманування радону  $\eta$  ряду керамічних матеріалів залежно від температури їхнього технологічного процесу одержання

У матеріалах, які підверглися тепловій обробці, зміна  $\eta$  відбувається через процеси видалення фізично й хімічно зв'язаної води й у результаті процесів утворення нового мінералу.

Установлено, що процес зміни  $\eta$  є необоротним. У шкірному матеріалі в процесі випалу зміна  $\eta$  в інтервалі температур зв'язано:

- 0 ÷ 200 °С у зв'язку з видаленням фізично зв'язаної води;
- 200 ÷ 300 °С через вигоряння органічних домішок;
- 300 ÷ 450 °С через ліквідацію порушень у кристалічних ґратах мінералів, що становлять матеріал;
- 450 ÷ 750 °С всім матеріалам властиве підвищення значень  $\eta$ ;
- 900 ÷ 1500 °С різке зменшення значень за рахунок видалення мінералів, що містять  $^{226}\text{Ra}$ , внаслідок їхнього спікання й зв'язування у великі частки.

Аналіз результатів досліджень показують реальні можливості по зменшенню радоновиділення з різних будівельних матеріалів конструкцій, що обгороджують, будинків залежно від температури обробки при виготовленні продукції, що відповідає вимогам НРБУ-97 по забезпеченню її радіаційної якості.

Гама-фон в приміщенні (ППД<sub>прим</sub>, мкГр/год) може бути зменшений також застосуванням захисних екранів, що виготовляють із матеріалів з використанням елементів з великою атомною масою.

Зменшення гама-фону в приміщеннях будинку можна здійснити підбором для виготовлення екранів матеріалів з низькою ефективною питомою активністю (табл. 7.8), високою щільністю для одержання необхідного коефіцієнта ослаблення (табл. 7.9) ультра дисперсних (< 1 мкм) і полідисперсних (до 1 мм) металів (табл. 7.10).

Таблиця 7.8

**Характеристики матеріалів, отриманих радіаційно-хімічним способом, для зниження гама-фону в приміщеннях**

Характеристики	Волокнисті плити	Мрамуроподібні полімерні плити	Плитки з радіаційно-твердим покриттям
Розміри (l × b × h), мм	2500 × 1200 × 4-20	600 × 400 × 10-15	150 × 150 × 3 300 × 300 × 3
Щільність, кг/м <sup>3</sup>	1100-1200	1800-2000	1900-2000
Ефективна питома активність, Бк/кг	6,4-8,8	1,8-5,4	18,4-20,2

Таблиця 7.9

**Визначення товщини захисного матеріалу  $d_{зах.}$ , см, при заданій  $K_{осл}$  і щільності матеріалу  $\rho$ , г/см<sup>3</sup>**

$K_{осл}$	Розрахункові значення $d_{екр.}$ , см	$K_{осл}$	Розрахункові значення $d_{екр.}$ , см
0,1	1,82-0,5хр	1,0	20-6,4хр
0,2	3,5-0,9хр	1,5	29,7-9,1хр
0,3	5,5-1,6хр	2,0	44,5-18,4хр
0,4	7,8-2,3хр	5,0	89,9-36,4хр
0,5	9,7-2,9хр	10	118,2-51,2хр
0,6	11,7-3,5хр	20	147,5-63,7хр
0,7	14,0-4,3хр	50	189,6-76,8хр
0,8	15,4-4,7хр	100	206,4-79,8хр
0,9	18,1-5,6хр	200	234,5-87,9хр

**Радіаційно-захисні матеріали з використанням  
ультра дисперсних (< 1 мкм) і полідисперсних  
(до 1 мм) металів**

№	Зразок	Товщина, мм	Коефіцієнти поглинання	Відповідний свинцевий еквівалент, (мм)
1	Силікатна цегла, бетонні суміші	50	2,92 (E=661 кеВ)	9,1
2	Штукатурка	20	1,93 (E=661 кеВ)	2,8
3	Шпаклівка	8	1,27 (E=661 кеВ)	1,5
4	Шпалери	1	1,3 (E=59,6 кеВ)	0,22
5	Поліетиленова плівка	1	1,26 (E=59,6 кеВ)	0,20

Сучасні види будівельних виробів, що виготовляють, (газобетонні блоки й плити з ніздрюватого бетону, пінобетонні блоки, комплексні плити покриття, пустотіла силікатна й керамічна цегла й ін.) відбивають технологічні можливості по зменшенню вмісту ПРН у них і радононадходження в повітря приміщень будинку.

**7.5. Архітектурно-конструктивна група захисних  
заходів - засіб закладки радіаційної якості житла на стадії  
проектування будинку**

Що рекомендує НРБУ-97 архітектурно-конструктивна група захисних заходів, стосовно до будівельного виробництва, включає архітектурно-планувальні й інженерно-конструктивні захисні заходи щодо забезпечення радіаційної безпеки будинків, виконуваних на стадії проектування (мал. 7.6). Дані про геологічну структуру гірських порід на відведеному під будівництво земельній ділянці, вимоги замовника до конструкції будинку й нормативної бази по забезпеченню радіаційної безпеки покладені в основу виконання для проєктованих будинків обов'язкового розділу «Заходи щодо зниження рівня іонізуючих випромінювань природних радіонуклідів будівельного виробництва».

Від прийнятих конкретних рішень по використанню архітектурно-планувальних й інженерно-конструктивних захисних заходів, багато в чому, залежить рівень радіаційної безпеки проєктованих будинків.

Величина радононадходження із ґрунту, що підстилає, під будинком у повітря приміщень залежить від структури гірських порід на відведеному під будівництво земельній ділянці й визначає величину внутрішньої складової ефективної дози опромінення населення. Навіть при однакових геологічних умовах на ділянках будівництва рівень об'ємної активності радону в повітрі приміщень будинків може значно відрізнятись, що порозумівається відмінністю прийнятих архітектурно-планувальних й інженерно-конструктивних рішень по забезпеченню їхньої радіаційної безпеки будинків.

Джерелами радононадходження в повітря приміщень будинків є ґрунт, що підстилає, будівельні матеріали конструкцій, що обгороджують, комунальні мережі, атмосферне повітря, саме вони визначають основні напрямки досліджень архітектурно-планувальних й інженерно-конструктивних захисних заходів (мал. 7.6).

Розробки архітектурно-планувальних груп захисних заходів спрямовані на:

- установлення на шляху надходження радону із джерел проміжного середовища (вентильованих цокольних і технічних поверхів разом підвалів) і використання приміщень першого поверху для розміщення організацій з обмеженим часом перебування людей у них;
- максимальне видалення приміщень, розрахованих на тривале перебування людей, від місць радононакопичення;
- зменшення радононадходження із ґрунту, що несуть й обгороджують конструкції, перекриттів будинку в повітря приміщень на основі інженерно-конструктивних рішень;
- зменшення об'ємної активності радону в повітрі приміщень, створеної іонізуючими джерелами будівельного виробництва, на основі технічної групи захисних заходів й ін.



Мал. 7.6. Характеристика архітектурно-конструктивної групи захисних заходів будівельного виробництва

Результати проведених досліджень рівня радону вмісту в повітрі приміщень будь-якої квартири показали, що вони можуть значно відрізнятися по величині. При цьому найбільший рівень  $A_{vRnprim}$ , Бк/м<sup>3</sup>, характерний при використанні ванни по її призначенню, а також кухні. Доцільно при плануванні квартири приміщення, розраховані на тривале перебування людей, просторово видаляти від ванни, кухні й сходових кліток.

Наявність підвалу у житлових будинках індивідуальних і багатоповерхових веде до збільшення  $A_{vRnprim}$  у приміщеннях першого поверху, тому що підвал виступає як додаткове джерело радононакопичення. Рекомендується замість їх у проєктованих будинках встановлювати вентилявані цокольні й технічні поверхи з перекриттям, що послабляє надходження радону із ґрунту. Послабити радононадходження із ґрунту в житлові приміщення будинку можна



також використанням першого поверху під офіси й приміщення, у яких година перебування людини обмежено.

Нагромадження радону можливо на сходових клітках, уведеннях комунальних мереж, шахтах ліфта, тому вони повинні бути просторово вилучені від житлових квартир й у них передбачена система витяжної вентиляції.

При проектуванні індивідуальних житлових будинках доцільно використати приміщення цокольного поверху під котельню, майстерню; першого поверху як кухня, ванна, туалет й ін. Ослаблення надходження радону із ґрунту також досягається зменшенням площі основи будинку.

Сходова клітка будинку, що не має зв'язку з підвалом і розміщена зовнішньої стіни будинку у вигляді прибудови з вентиляційними прорізами, забезпечує найменше радононадходження із ґрунту в повітря приміщень будинку за рахунок використання просторової ізоляції.

Реалізація інженерно-конструктивних захисних заходів спрямована на зменшення радононадходження із ґрунту; радоновий захист основи й фундаменту будинку; радоновий захист конструкцій, що обгороджують; зменшення радононадходження з підвалу й ін.

Зменшення радононадходження із ґрунту забезпечується інженерним захистом ділянки для будівництва й зміцненням геологічної структури його гірських порід шляхом трамбування верхніх шарів ґрунту, при необхідності цементації або силікатизації основи, заборонаю на виконання робіт, пов'язаних з порушенням структури ґрунтів на ділянці й ін.

Основні напрямки конструктивних рішень по зменшенню радононадходження із ґрунту (табл. 7.11) у повітря приміщень будинку включають створення газового дренажу в його основі, покриття з газонепроникним шаром фундаменту знизу, екрануванням стін підвалу, перекриття й ін.

Радоновий захист основ і фундаментів будинків забезпечується дренажем радону із ґрунту шляхом виводу його в зовнішнє повітря, установленням поліетиленової плівки в якості протирадонового екрану на шляху його надходження із ґрунту, застосуванням бітумної обмазки будівельних конструкцій й ін.

## Радонопроникливість будівельних матеріалів

Найменування матеріалів	Коефіцієнт дифузії $\epsilon_{\text{диф}}$ , м <sup>2</sup> /с
Гіпс	$0,9 \cdot 10^{-6}$
Газобетон	$1,3 \cdot 10^{-6}$
Важкий бетон	$6,8 \cdot 10^{-4}$
Шлакоблок	$3,8 \cdot 10^{-5}$
Природний камінь	$4,1 \cdot 10^{-4}$
Пемзовий туф	$0,9 \cdot 10^{-6}$

Захист стін підвалу будинку від радононадходження із ґрунту забезпечується обмазкою бітумом їх зсередини, засипанням зовні глиною й щебенями; установленням зовнішньої цегельної стінки в ґрунті для вентиляції й ін.

Виконання захисних заходів засновано на знанні конструктивних даних будинків й радіаційних параметрів іонізуючих джерел ( $A_{\text{еф.см}}$ ,  $q_{\text{екс.ок(гр)}}$ ), що дозволяє визначити радіаційні параметри в приміщеннях будинках ( $EPOA_{\text{прим}}$ ,  $ППД_{\text{прим}}$ ) і вибрати необхідні захисні заходи щодо зменшення їхнього рівня.

Доцільність застосування вибору заходів оцінювалася відповідністю соціально-економічним показникам концепції захисту людини. Так, якщо в проекті житлового будинку передбачена наявність вентиляваного цокольного поверху (висота його 2 м) і використання першого поверху будинку під офісні приміщення, що відповідає архітектурно-планувальним захисним заходом щодо зменшення радононадходження із ґрунту в повітря житлових приміщень будинку, (при товщині перекриття 220 мм і кратності повітрообміну  $\lambda_g = 1,5 \text{ год}^{-1}$  у цокольному поверсі  $K_{\text{осл.}\Sigma} = 0,44$ ). Додатково доцільно виконати трамбування верхніх шарів насипного ґрунту ( $K_{\text{осл}} = 0,04$ ), а у головешці встановити протирадоновий захисний екран з поліетиленової плівки ( $K_{\text{осл}} = 0,55$ ). При цьому зменшення радононадходження із ґрунту в повітря житлових приміщень іншого поверху будинку досягається  $K_{\text{осл}\Sigma} = 0,87$ .

Для житлового будинку, фундамент якого виконаний на глибині 9 м, характерне наявність підвального й технічного поверхів, використовуваних як технічні приміщення. Видалення накопиченого

радону із приміщень підвального й технічного поверху забезпечується примусовою й витяжною вентиляцією з виходом через дві наскрізні шахти й технічний поверх в атмосферне повітря. При цьому коефіцієнт ослаблення перекриттями радононадходження в повітря житлових приміщень першого поверху дорівнює 0,54. Для зменшення радононадходження із ґрунту (при  $q_{\text{ексх.гр}} = 56$  Бк/м<sup>2</sup>хс) доцільно передбачити повітрообмін у приміщеннях підвального й цокольного поверхів на рівні  $\lambda_g = 1,9$  год<sup>-1</sup>.

Для проєктованих індивідуальних житлових 2-х поверхових будинків, що будуються на ділянках з однаковою швидкістю радононадходження (50 мБк/м<sup>2</sup>хс), з керамічної цегли, у них немає підвалів, була виконана оцінка необхідності проведення захисних заходів. Розходження конструкцій будинків полягає в тому, що в одному перший поверх використовується під житлові приміщення, а в другому - як технічні. Фундаменти будинків монолітні з бетону 500 мм, як перекриття використовуються пустотні залізобетонні плити 300 мм.

Ділянки, виділені під будівництво з обліком швидкості ексхаляції радону із ґрунтів (50 мБк/м<sup>2</sup>хс) відноситься до II категорії радонової небезпеки, і вимагають виконання інженерно-конструктивних захисних заходів. Зменшення радононадходження з ґрунтів забезпечується шляхом установки захисного екрана з поліетиленової плівки, що закладає в основи будинків. При цьому об'ємна активність радону в приміщеннях перших поверхів будинків зменшиться на 48-64 %, а на інших поверхах  $K_{\text{носл}} = 0,92$ . Доза опромінення мешканців іншого будинку (перший поверх його використовується як технічний) буде менше ніж у першому будинку.

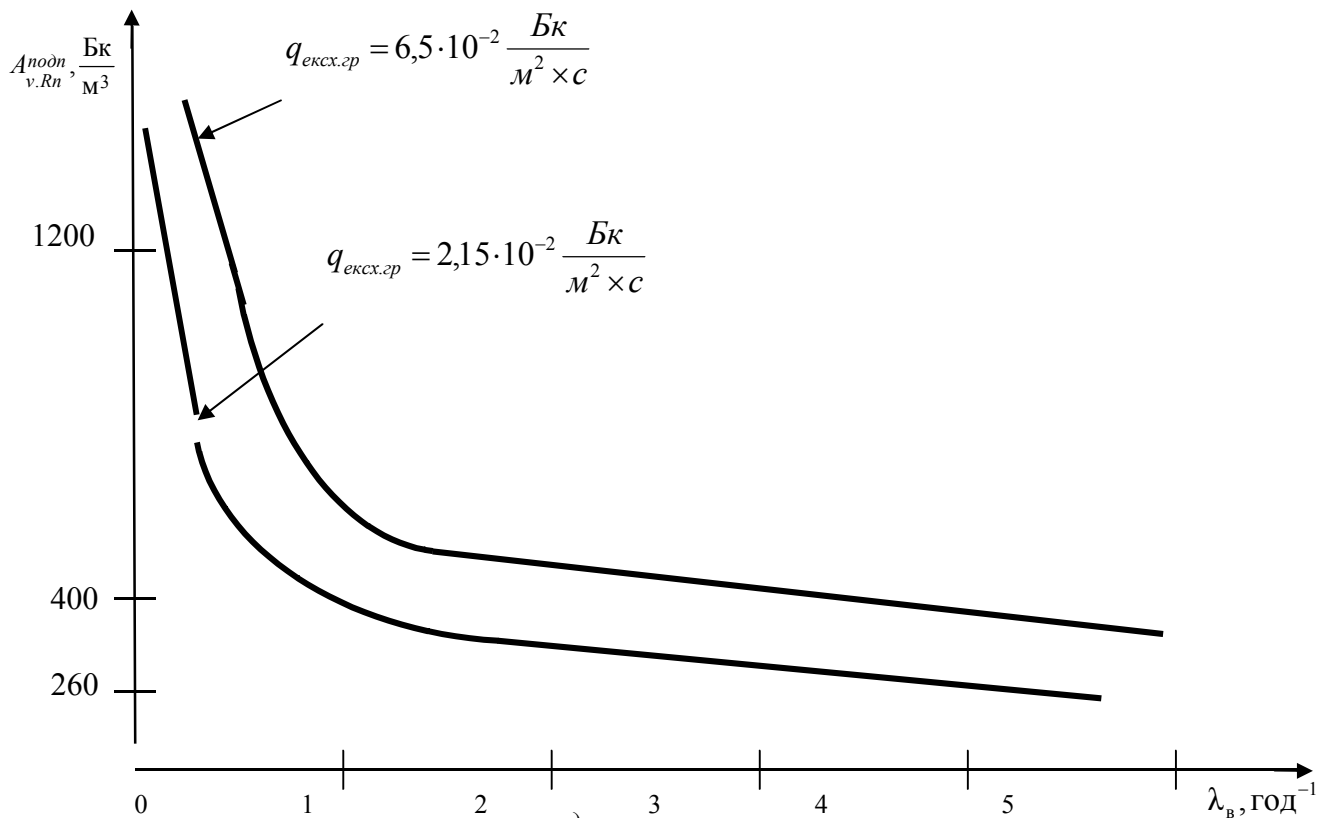
За результатами виконаних досліджень у проєктованих і побудованих будинках визначені розрахунково-експериментальними методами значення коефіцієнта ослаблення радононадходження із ґрунту будівельними конструкціями, установленими на шляху руху дифузійного потоку радону в повітря приміщень будинку, значення яких наведені в табл. 7.12.

Таблиця 7.12

**Коефіцієнти ослаблення радононадходження для ряду  
будівельних конструкцій**

Будівельні конструкції	$\bar{K}_{осл}$
Пустотілі ж/б плити перекриття	
220 мм	0,36
300 мм	0,47
Монолітні ж/б фундаменти	
200 мм	0,43
400 мм	0,54
600 мм	0,71
800 мм	0,87

Величина радононадходження із ґрунту, що підстиляє, у повітря приміщень будинку, багато в чому, залежить від наявності проміжного середовища (цокольного поверху, підвалу й ін.) на шляху його рухові й величини від кратності повітрообміну в них (мал. 7.7). При відсутності належного повітрообміну проміжне середовище виступає як накопичувач радону, що веде до збільшення об'ємної активності його в повітрі приміщень будинку.



Мал. 7.7. Залежність  $A_{v.Rn}^{подп}$  від кратності повітрообміну  $\lambda_{в.подп}$  у діапазоні реальних значень радононадходження з ґрунту, що підстиляє

### 7.6. Технічна група захисних заходів - засіб зменшення радононадходження із джерел у повітря приміщень будинку

Основним дозоутворюючим природним радіонуклідом будівельного виробництва є радон і його дочірні продукти розпаду. Тому дослідженню властивостей джерел радононадходження в повітря приміщень будинку й розробці захисних заходів щодо зменшення їхнього впливу приділена особлива увага.

Технічні протирадіаційні захисні заходи безпосередньо не впливають на величину радононадходження з іонізуючих джерел будівельного виробництва, але можуть змінювати параметри дифузійного процесу на шляху надходження радону з них і створювану об'ємну активність радону в повітрі приміщень будинку.

Процес дифузії радону із ґрунту й будівельних матеріалів конструкцій, що обгороджують, у повітря приміщень будинку, викликаний розходженням концентрацій радону в них  $\nabla Av_{Rn}$  і за умови наявності в даній системі градієнта  $DP$  тиску, характеризується щільністю дифузійного потоку радону, стерпного в одиницю години через одиницю поверхні,  $j$ , Бк/м<sup>2</sup>хс, що визначається за законом Фіка:

$$j = b_{\text{диф}} \times n_o \times (\nabla Av_{Rn}_{zP(ok)} + \frac{K_P}{P} \times \nabla P), \quad (7.9)$$

де  $n_o$  – число молекул в 1 см<sup>3</sup>;

$b_{\text{диф}}$  – коефіцієнт дифузії при наявності тільки  $\nabla Av_{Rn}_{zP} (\nabla P = 0)$ , м<sup>2</sup>/с;

$P$  – тиск повітря в ґрунті, Па;

$K_P$  – бародифузійне відношення;

$\nabla P$  – різниця тиску повітря в ґрунті й у приміщенні, Па.

Отже, швидкість ексхаляції радону з іонізуючого джерела на шляху руху в інше середовище – у повітря приміщень будинків залежить від параметрів  $b_{диф}$ ,  $\nabla Av_{Rn2p(ок)}$ ,  $\nabla P$ , на величину яких людина може впливати за допомогою захисних заходів.

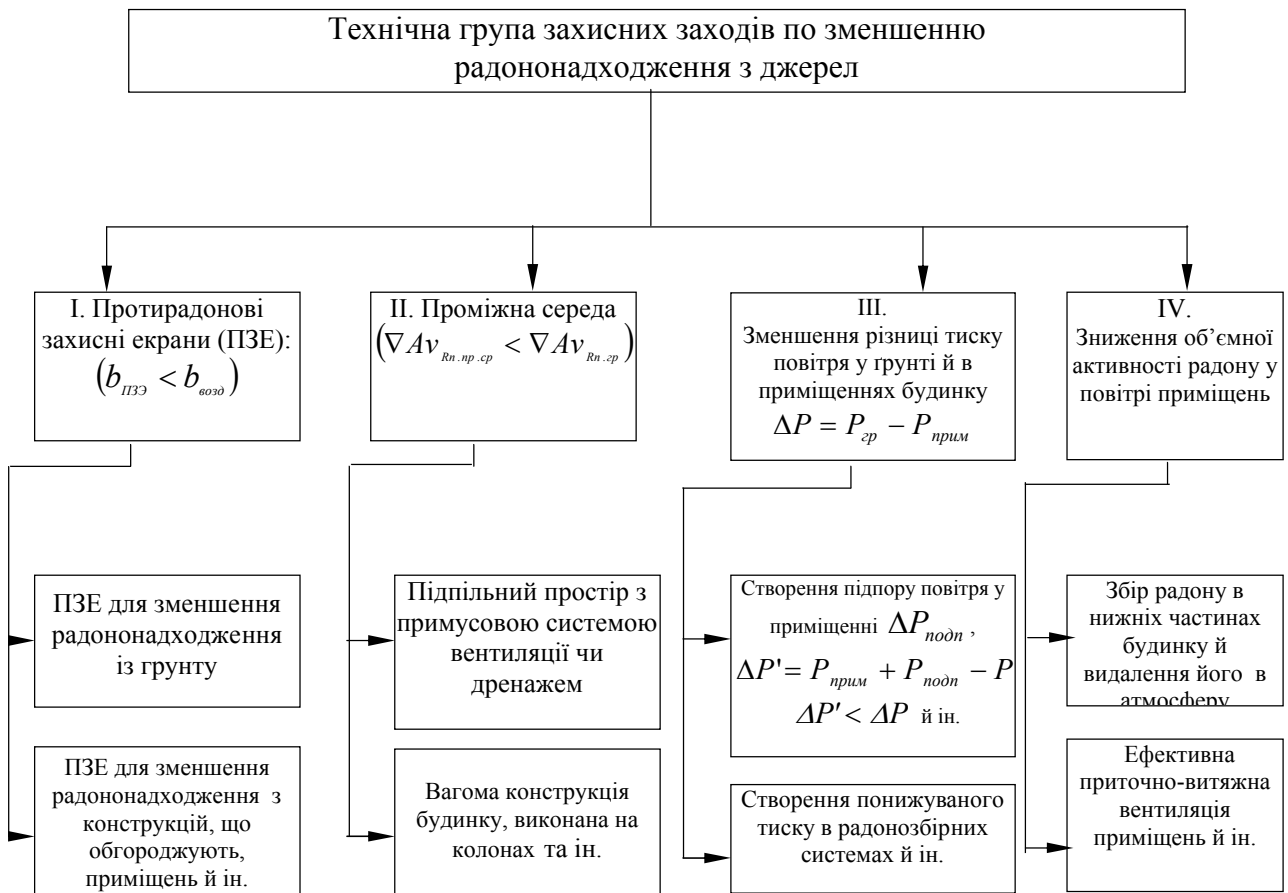
Дифузійний процес радононадходження з іонізуючих джерел будівельного виробництва в повітря приміщень будинків покладений в основу класифікації технічної групи захисних заходів (мал. 7.8).

Наведені групи протирадонових захисних заходів можуть бути реалізовані різними способами. При цьому кожен варіант рішення характеризується своїм коефіцієнтом ослаблення, економічними й технологічними показниками й ін.

Радононадходження з іонізуючих джерел (грунту, що підстилає, під будинком і будівельними матеріалами конструкцій, що обгороджують) у повітря приміщень будинків залежить від параметрів ( $q_{ексх.гр(ок)} = f(b_{диф}, \nabla Av_{Rn}, \nabla P_{гр.-прим})$ ).

Зменшити швидкість ексхаляції радону з ґрунту, що підстилає (конструкцій, що обгороджують) можна зниженням кожного із зазначених параметрів проведенням ряду технічних захисних заходів:

- установкою на шляху руху радону із джерела захисного екрана, коефіцієнт дифузії матеріалу якого  $b_{диф. екр}$  повинний бути менше коефіцієнта дифузії джерела ( $b_{диф. екр} < b_{диф. гр(ок)}$ );
- установкою на шляху руху радону із джерела проміжного середовища – підпільного простору із системою вентиляції, що забезпечить ( $\nabla Av_{Rnподн} < \nabla Av_{Rnгр}$ );
- створенням підпору повітря в приміщеннях будинку стосовно ґрунту, що підстилає, що дозволяє зменшити  $\nabla P_{гр.прим}$  і величину бародифузійної складової швидкості ексхаляції радону з ґрунту й ін.



Мал.7.8. Технічні протирадонові захисні заходи

по зменшенню радононадходженню із джерел у повітря приміщень будинку

Розглянемо систему радононадходження «іонізуюче джерело - приміщення будинку». Надходження радону-222 із джерела в повітря приміщення будинку може бути зменшено установкою на шляху його руху протирадонового захисного екрана (ПЗЕ).

Визначення об'ємної активності радону в повітрі приміщення будинку  $Av_{Rn}^{ep}$ , створюваної іонізуючим джерелом – ґрунтом, що підстилає ( $Av_{Rn}^{ep} > Av_{Rn}^{прим}$ ), описується диференціальним рівнянням:

$$\frac{dAv_{Rn}^{прим}}{dt} = \frac{Av_{Rn}^{прим}}{T_{1/2Rn}} + \frac{(Av_{Rn}^{ep} - Av_{Rn}^{прим})}{\tau_{зад}}, \quad (7.10)$$

## РОЗДІЛ 7

де  $T_{1/2Rn}$  – період напіврозпаду радону-222, рівний 3,8 діб =  $3,3 \cdot 10^5$  с;

$\tau_{зад}$  – година затримки радону при проходженні через екран, с.

Година затримки проходження радону через екран  $\tau_{зад}$  залежить від наступних величин:

$$\tau_{зад} = \frac{d_{екр} \times v_{прим}}{v_{диф.екр} \times S_{екр}}, \quad (7.11)$$

де  $d_{екр}, S_{прим}$  – товщина й площа екрана відповідно, м, м<sup>2</sup>;

$v_{прим}$  – обсяг приміщення будинку, м<sup>3</sup>;

$v_{диф.екр}$  – коефіцієнт дифузії радону в екрані, м<sup>2</sup>/с.

З урахуванням параметра екрана  $\tau_{зад}$  й постійної години даної системи  $\tau_c = \frac{\tau_{зад} \times T_{1/2Rn}}{\tau_{зад} + T_{1/2Rn}}$ , рішення рівняння (7.10) дозволяє визначити об'ємну активність радону в повітрі приміщення будинку  $Av_{Rn}^{прим}$ , Бк/м<sup>3</sup>:

$$Av_{Rn}^{прим} = \frac{Av_{Rn}^{зр} \times \tau_c}{\tau_{зад}} \times [1 - \exp(-\frac{t}{\tau_c})] \quad (7.12)$$

Величина об'ємної активності радону в повітрі приміщення залежить від співвідношення  $\frac{t}{t_{зад}}$ . При збільшенні години затримки проходження радону через екран  $\tau_{зад}$  від одного  $T_{1/2Rn}$  до десяти  $T_{1/2Rn}$  об'ємна активність його в повітрі приміщення від надходження з даного іонізуючого джерела зменшиться з 0,5 до 0,1 від максимального значення (концентрації його в іонізуючому джерелі).

Година затримки проходження радону через протирадоновий захисний екран (ПЗЕ) практично залежить від величини двох його параметрів (форм. 7.11): товщини  $d_{екр}$  і коефіцієнта дифузії  $v_{диф.екр}$  матеріалу екрана. Для виконання ПЗЕ своєї ролі по зменшенню надходження радону з ІДВ в повітря приміщення будинку необхідно, щоб виконувалася умова:

$$\tau_{зад} \geq 5 \times T_{1/2Rn}. \quad (7.13)$$

Матеріал для виготовлення протирадонового захисного екрана повинний:



- зберігати свої захисні властивості на весь експлуатаційний строк будинку;
- бути по можливості не дорогим;
- технологічна необхідність закладки ПЗЕ в основу будинку висуває підвищені вимоги до міцності використовуваного матеріалу.

Для виготовлення ПЗЕ можуть застосовуватися будівельні матеріали з малим коефіцієнтом дифузії  $v_{диф}$ , м<sup>2</sup>/с. При цьому, чим менше коефіцієнт дифузії радону в матеріалі, тим менше необхідна товщина ПЗЕ.

Величина коефіцієнта дифузії залежить від величин  $v_{диф} = f(T, P, M_{мол})$  і змінюється:

- збільшується з ростом температури  $T^{3/2}$ ;
- назад пропорційно тиску  $P^{-1}$ ;
- зі збільшенням молекулярної маси дифузійного середовища зменшується.

Діапазон виміру коефіцієнта дифузії радону-222 становить від  $1 \cdot 10^{-10}$  м<sup>2</sup>/с (у полімерних матеріалах) до  $1,3 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>/с (у повітрі).

Протирадонний захисний екран виготовляють із будівельних матеріалів з малою пористістю. Цій умові з обліком технологічних й експлуатаційних вимог у найбільшій мірі відповідають бетони з різними заповнювачами.

Пористість у бетоні утворюється в результаті випару води, що не вступила в хімічну реакцію із цементом при його твердінні, а також внаслідок неповного видалення повітряних пухирців при ущільненні бетонної суміші. У найбільшій мірі для виготовлення ПЗЕ підходить бетон із гравієм. Однак при цьому потрібна значна товщина  $d_{екр}$  бетонної продукції (близько 1 м), щоб забезпечити виконання умови по зменшенню радононадходження з ґрунту, що підстилає. Для зменшення необхідної товщини бетонної подушки, що виступає в якості первинного протирадонного захисту, використовується покриття її внутрішньої поверхні матеріалами, що утворюють газонепроникні плівки.

К недолікам ПЗЕ, що виготовляють на основі будівельних матеріалів, варто віднести більші витрати матеріалів, високу вартість робіт, недостатню надійність збереження захисних протирадонних властивостей на весь строк експлуатації будинку. У ряді випадків (сейсмонебезпечні території) технологічно потрібна закладка в основу

будинку бетонної подушки, що одночасно повинна й виконувати роль ПЗЕ, по зменшенню радононадходження з ґрунту, що підстилає, у повітря приміщень будинку.

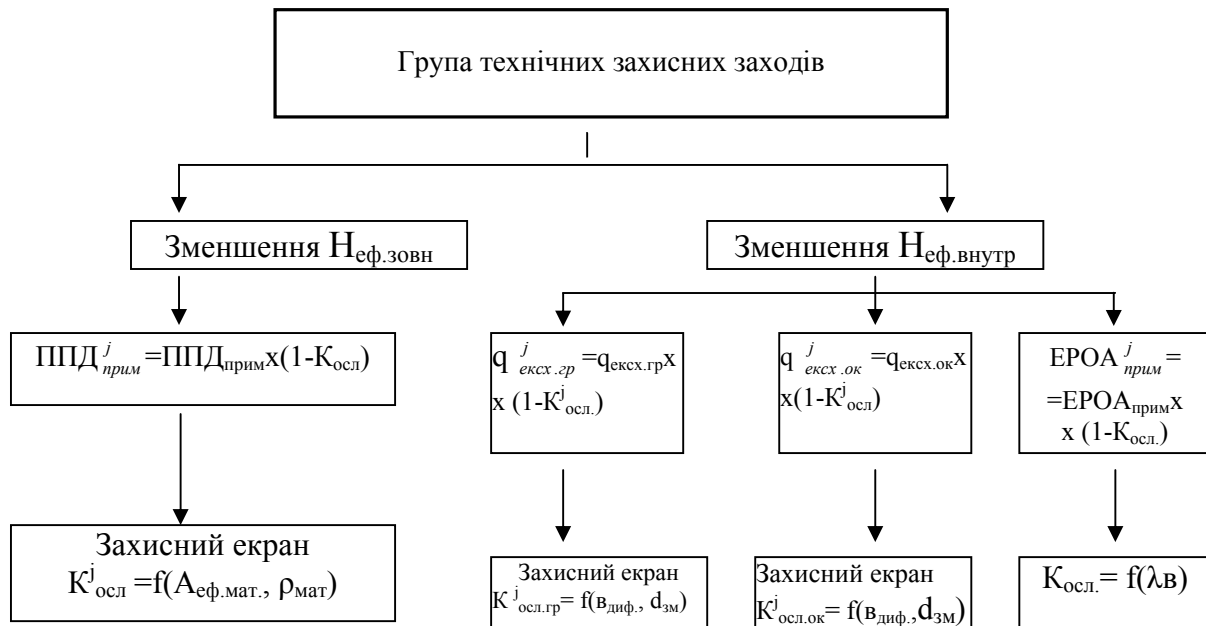
Більш доцільно для виготовлення ПЗЕ використати полімерні матеріали. У будівельній практиці широко використовуються синтетичні полімери, що виготовляють із низькомолекулярних з'єднань штучним шляхом. На відміну від низькомолекулярних з'єднань полімери мають високу молекулярну масу від сотень до сотень тисяч одиниць, що визначає малу величину їхнього коефіцієнта дифузії ( $v_{\text{диф}} < 1 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$ ).

У найбільшій мірі вимогам, пропонованим до ПЗЕ, які закладають у основу будинку, задовольняє поліетилен. Коефіцієнт дифузії полімерних матеріалів застосовуваних для виготовлення ПЗЕ, не перевищує  $v_{\text{диф}} \leq 1 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$ . Це визначає малу товщину екрана, що виготовляють ( $d_{\text{екр}} \approx 1 \text{ мм}$ ). Протирадонові захисні екрани, що виготовляють із поліетиленових плівок, мають порівняно низьку вартість, але є ряд труднощів технологічного й експлуатаційного характеру їхнього використання.

Залежність коефіцієнта ослаблення від параметрів екрана  $K_{\text{ПЗЕ}} = f(v_{\text{екр}}, d_{\text{екр}})$  дозволяє оцінити можливості використовуваних матеріалів для забезпечення заданих значень  $K_{\text{ПЗЕ}}$ . Так при виготовленні ПЗЕ з будівельного матеріалу – бетону, коефіцієнт дифузії радону в якому змінюється в інтервалі від  $3 \cdot 10^{-7}$  до  $6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ , для забезпечення  $K_{\text{ПЗЕ}} \geq 0,5$  необхідна бетонна подушка товщиною від 10 см до 1 м. Для одержання  $K_{\text{ПЗЕ}} = 0,9$  потрібне значне збільшення товщини бетонної подушки, що веде до збільшення економічних і технологічних витрат.

При виготовленні ПЗЕ з полімерних матеріалів – поліетиленової плівки, коефіцієнт дифузії радону в якій змінюється в інтервалі  $1 \cdot 10^{-10}$ –  $5 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ , для досягнення  $K_{\text{ПЗЕ}} = 0,5$  необхідна товщина екрана із плівки від 0,1 до 1,1 мм. Забезпечення  $K_{\text{ПЗЕ}} = 0,9$  досягається товщиною екрана з поліетиленової плівки більше 1 мм, що цілком реалізовано.

Захисні заходи технічної групи також дозволяють зменшити величини вихідних регламентованих радіаційно-гігієнічних параметрів у приміщеннях будинку ( $\text{ППД}_{\text{прим}}$ , мкГр/год;  $\text{ЕРОА}_{\text{Рнприм}}$ , Бк/м<sup>3</sup>), рішення яких наведені в табл. 7.9.



Мал. 7.9. Захисні заходи технічної групи по зменшенню регламентованих радіаційних параметрів у приміщеннях будинку

Створюваний іонізуючими джерелами будівельного виробництва радіаційний фон в приміщеннях будинку ( $PPD_{прим}$ ,  $EPOA_{Rnprim}$ ) може бути зменшений тільки за допомогою технічних захисних заходів. Їхньою основою служать захисні екрани, установлені на шляху руху іонізуючих випромінювань джерел у приміщення будинку. Принцип побудови захисних екранів базується на знанні фізичних властивостей іонізуючих випромінювань джерел, використання яких дозволяє зменшити регламентовані радіаційні параметри в приміщеннях будинку.

Так зниження потужності поглиненої дози в приміщеннях будинку  $PPD_{прим}$  засновано на застосуванні законів іонізації середовища зарядженими частками різної природи, які при русі взаємодіють із атомами середовища й гублять при цьому свою енергію. Ступінь ослаблення залежить як від властивостей матеріалу захисту (щільності, атомної маси), так і від показників виду іонізуючого випромінювання (енергії, заряду, маси).

Зменшення гама-фону в приміщеннях будинків можна забезпечити застосуванням матеріалів з більшою щільністю й з низьким рівнем ефективної активності ( $A_{эф.зах} < 0,25 A_{эф.ст.}$ ). Алі типові будівельні матеріали (бетони, граніт й ін.) мають високий рівень ефективної питомої активності ( $> 100$  Бк/кг). Перевагою для використання в якості оздоблювальних володіють полімерні матеріали, щільність яких

## РОЗДІЛ 7

дорівнює 1100-2000 кг/м<sup>3</sup>, а ефективна питома активність не перевищує 20 Бк/кг. Однак широкого застосування як захисні екрани по зменшенню гама-фону в приміщеннях житлових будинків вони не знайшли, що пов'язане з погіршенням інших показників комфортності проживання людини.

Радононадходження в повітря приміщень будинку з іонізуючих джерел будівельного виробництва (грунт, що підстилає, і будівельні матеріали конструкцій, що обгороджують). Протирадоновий захисний екран (ПЗЕ) повинен виготовлятися з матеріалів з малою газопроникністю, щоб година затримки проходження радону через екран  $t_{зад}$  перевищувало період його напіврозпаду ( $T_{1/2Rn}=3,8$  доби):

$$t_{зад} > T_{1/2Rn} \cdot \quad (7.14)$$

При цьому зменшення швидкості ексхаляції радону ПЗЕ,  $q_{ексх}^{ПЗЕ}$ , Бк/м<sup>2</sup>хс визначається співвідношенням:

$$q_{ексх.ПЗЕ} = q_{ексх.джер} \times \frac{\tau}{t_{зад}}, \quad (7.15)$$

де  $\tau = \frac{T_{1/2Rn} \times t_{зад}}{T_{1/2Rn} + t_{зад}}$  – постійна години захисного протирадонового екрана (системи), с;

$t_{зад} = \frac{d_{екр} \times v_{екр}}{e_{диф.екр} \times S_{надх}}$  – година затримки проходження радону через екран, с;

$d_{екр}$  – товщина екрана, м;

$e_{диф.екр}$  – коефіцієнт дифузії радону в матеріалі екрана, м<sup>2</sup>/с;

$v_{прим}$  – обсяг екрана, м<sup>3</sup>;

$S_{надх}$  – площа джерела надходження радону, м<sup>2</sup>.

Аналіз залежності радононадходження на виході від параметрів матеріалів, використовуваних для виготовлення ПЗЕ показує, що визначальними є величина коефіцієнта дифузії радону в матеріалі  $e_{диф.екр}$  й товщина матеріалу екрана  $d_{екр}$ . Величина коефіцієнта дифузії радону для різних груп матеріалів, використовуваних для виготовлення

екранів, міняється в широкому діапазоні від  $10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с (гірські породи) до  $10^{-11}$  (полімерні матеріали).

Зменшення радононадходження з будівельних матеріалів конструкцій, що обгороджують, у повітря приміщень будинку досягається за допомогою захисних екранів, що виготовляють із матеріалів з малою газопроникністю.

Коефіцієнт ослаблення радононадходження із джерела екраном  $K_{ПЗЕ}$  визначається по формулі:

$$K_{ПЗЕ} = \frac{q_{ексх.дж} - q_{ексх.ПЗЕ}}{q_{ексх.дж}} = 1 - \frac{\tau_c}{t_{зад}} \quad (7.16)$$

Для зменшення радононадходження із ґрунту в повітря приміщень будинків може використовуватися ПЗЕ з будівельних матеріалів (важкий бетон) або полімерних матеріалів (поліетиленова плівка). При цьому захисний екран по зменшенню радононадходження із ґрунту повинний зберігати свої захисні властивості на весь строк експлуатації будинку. Захисні показники ПЗЕ з бетону залежать від величини коефіцієнта дифузії радону в ньому ( $\bar{v}_{диф.б} = 5 \cdot 10^{-7}$  м<sup>2</sup>/с) і товщини екрана  $d_{екр.м}$ . Коефіцієнт ослаблення радононадходження з ґрунту захисним екраном з бетону при товщині від 200 до 800 мм становить від 0,45 до 0,86.

Для полімерних матеріалів, у тому числі й для поліетиленових плівок, характерно значне зменшення коефіцієнта дифузії радону в ( $5 \cdot 10^{-11}$  -  $5 \cdot 10^{-10}$  м<sup>2</sup>/с), що порозумівається значним збільшенням їхньої молекулярної маси. При цьому необхідна товщина поліетиленової плівки для ПЗЕ не перевищує 1-3 мм. Коефіцієнт ослаблення радононадходження із ґрунту даним ПЗЕ дорівнює 0,42-0,81.

На підставі проведених досліджень розроблена методика розрахунку вартості захисного екрана, як з поліетиленової плівки, так і бетону, що закладають в основу будинку. Необхідні вихідні дані:

- розміри основи будинку  $S_{осн} = (a \times b)$ ;
- питома вартість плівки (бетону)  $X_{уд.пл.бет}$ , грн/м<sup>2</sup>;
- питома вартість підготовки основи для укладання плівки  $X_{уд.осн}$ , грн/м<sup>2</sup> ( $X_{уд.план}$ ,  $X_{уд.осх}$ ,  $X_{уд.раств}$ );
- питома вартість робіт  $X_{уд.нід}$ , грн/м<sup>2</sup>;
- питома вартість робіт з укладання плівки –  $X_{уд.укл}$ , грн/м<sup>2</sup>;

- питома вартість робіт із кріплення плівки  $X_{уд.крп.}$ , грн/м<sup>2</sup> ( $X_{уд.глин.}$ ,  $X_{уд.вир.}$ ).

Розрахунок включає визначення:

1. Необхідної площі закупуваної плівки  $S_{пл}$ , м<sup>2</sup> = 1,1 x  $S_{осн}$ ;

2. Вартість плівки  $X_{пл}$ , грн =  $X_{удпл} \times S_{пл}$ ;

3. Вартість робіт із планування площадки

$$X_{план} = S_{осн} \times X_{уд.план};$$

4. Вартість укладання піску  $d = 10$  см по всій площадці:

$$X_{піска} = S_{осн} \times X_{уд.пісок}, 0,1;$$

5. Вартість укладання цементно-піщаного розчину

$$X_{укл.раст} = S_{осн} \times X_{уд.раств.};$$

6. Вартість укладання плівки  $X_{укл.пл.} = S_{пл} \times X_{уд.укл.}$ ;

7. Вартість кріплення плівки  $X_{крп.пл.} = S_{пл} \times X_{уд.гл.} + S_{пл} \times X_{уд.вир.}$ ;

8. Разом прями витрати

(без обліку витрат на використання машин і механізмів)

$$X_{\Sigma, грн} = X_{пл} + X_{план} + X_{укл.п} + X_{укл.раст} + X_{укл.пл} + X_{крп.пл.}$$

Середня сумарна вартість витрат на реалізацію захисного екрана, що укладає на одиницю площі основи будинку, становить 55 грн/м<sup>2</sup> – поліетиленова плівка, 80 грн/м<sup>2</sup> – бетон.

Радононадходження з будівельних матеріалів конструкцій, що обгороджують, у повітря приміщень будинку досягається за допомогою захисних екранів, що виготовляють із матеріалів з малою газопроникністю (табл. 7.13).

Таблиця 7.13

**Характеристики матеріалів, що визначають коефіцієнт ослаблення захисного екрана**

Матеріал для виготовлення ПЗЕ	Товщина $d$ , мм	Коефіцієнт дифузії радону $\epsilon_{диф}$ , м <sup>2</sup> /с	$K_{осл}$
Шпалери на полімерній основі	1,0	$9 \cdot 10^{-11}$	0,82
Емалева фарба	2,5	$2 \cdot 10^{-10}$	0,76
Олійна фарба	2,0	$4 \cdot 10^{-10}$	0,68
Водо емульсійна фарба	3	$6 \cdot 10^{-10}$	0,49

Для експлуатованих будинків можливо застосування лише частини розглянутих захисних заходів: - герметизація підпільних

перекриттів; - поліпшення вентиляції підвалу; - зменшення тиску повітря в підвал; - створення підвищеного тиску в повітрі приміщень.

Важливість герметизації перекриттів підвалу визначається положенням «правила 98 %», відповідно до якого ізоляція 98 % тріщин у фундаменті означає, що 98 % радону пройде через 2 % що залишилися [102].

Для ізоляції перекриття підвалу залежно від його стану можуть застосовуватися: повна герметизація перекриття поліетиленовою плівкою або іншими мало газопроникливими матеріалами; ізоляцією окремих тріщин; ізоляцією місць уведення комунальних мереж у будинки й ін.

Поліпшення вентиляції підвалу, розташованого вище рівня землі виконують за допомогою наскрізних отворів у стінах, через які вільно циркулює зовнішнє повітря. У результаті цього збільшується вентиляційний потік нижче підвалу, чим забезпечується зменшення об'ємної активності радону в повітрі приміщень будинку.

Зменшення тиску в підвалі досягається установкою радоноуловлювача, за допомогою якого зменшується радононадходження із ґрунту (він приділяється в атмосферне повітря) і створювана об'ємна активність радону в повітрі приміщень.

В експлуатованих будинках, у приміщеннях яких  $EPOA_{прим}$ , значно перевищує припустимий рівень  $100 \text{ Бк/м}^3$ , навіть після проведення комплексу розглянутих вище захисних заходів, рекомендується проводити наступні додаткові заходи:

- виконання захисного приямка уздовж всієї зовнішньої стіни підвалу із зовнішнім входом і приточно - витяжної вентиляції із забором повітря в нижній частині підвалу;
- нанесення захисних покриттів на внутрішні поверхні стін підвалу;
- екранування підлоги першого поверху й ін.

Їхня реалізація вимагає значних витрат і виводу приміщень із експлуатації на годину виконання робіт.

### 7.7. Організаційна група захисних заходів будівельного виробництва - засіб потокового контролю за якістю продукції

Ціль застосування захисних заходів складається в зниженні рівня не контрольованості та не прогностичності радіаційної обстановки, створеної іонізуючими джерелами будівельного виробництва, на основі реалізації вимог принципів концепції радіаційного захисту людини (КРЗЛ).

Для цього необхідно на основі системного аналізу будівельного виробництва, як складної багато етапної системи, визначити її регламентовані радіаційні параметри й оцінити ступінь керування ними при реалізації захисних заходів.

Забезпечення радіаційної якості об'єктів будівництва на стадії проектування передбачає рішення завдання вибору захисних заходів щодо зменшення впливу іонізуючих джерел, що задовольняє вимогам принципів КРЗЛ (табл. 7.14).

Таблиця 7.14

#### Прийняття рішень на вибір захисних заходів для забезпечення радіаційної безпеки об'єктів будівництва

Група захисних заходів ( $Gp$ )	Регламентовані радіаційні параметри будівельного виробництва				
	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$U_4$	$U_5$
Нормативно-правова ( $Gp_1$ )	$S_1^1$	$S_2^1$	$S_3^1$	$S_4^1$	$S_5^1$
Технологічна ( $Gp_2$ )	$S_1^2$	$S_2^2$	$S_3^2$	$S_4^2$	$S_5^2$
Архітектурно-конструктивна ( $Gp_3$ )	$S_1^3$	$S_2^3$	$S_3^3$	$S_4^3$	$S_5^3$
Технічна ( $Gp_4$ )	$S_1^4$	$S_2^4$	$S_3^4$	$S_4^4$	$S_5^4$

У комплексі захисних заходів щодо зменшення впливу іонізуючих джерел будівельного виробництва практично входять чотири групи захисних заходів:

$$Gp = (Gp_1, Gp_2, Gp_3, Gp_4), \quad (7.17)$$

де  $Gp_1$  – нормативно-правова;  
 $Gp_2$  – технологічна;  
 $Gp_3$  – архітектурно-конструктивна;  
 $Gp_4$  – технічна.



Кожна група містить набір захисних заходів  $S^j = \{S_i^j\}$  щодо зменшення регламентованих радіаційних параметрів будівельного виробництва ( $i=1,..5$ ):

$$Grj \text{ ® } S^j = \{S_i^j\}_{i=1,..5}, j = \overline{1,..4}. \quad (7.18)$$

Захисний захід кожної групи по регламентованому радіаційному параметрі оцінюється показниками:

$$K_{осл}^j, \Delta H_{efi}^j, X_i^j, \quad (7.19)$$

де  $K_{осл}^j$  – коефіцієнт ослаблення захисним заходом  $j$ -ої групи по зменшенню величини  $i$ -го регламентованого радіаційного параметра будівельного виробництва;

$\Delta H_{efi}^j$  - величина відверненої дози опромінення при реалізації захисного заходу  $j$ -ої групи по зменшенню величини  $i$ -го регламентованого радіаційного параметра будівельного виробництва;

$X_i^j$  – вартість реалізації захисного заходу  $j$ -ої групи по зменшенню величини  $i$ -го регламентованого радіаційного параметра будівельного виробництва.

Реалізація  $j$ -го захисного заходу з набору в даній групі по зменшенню  $i$ -го регламентованого параметра, який характеризується величиною цього параметра  $U_i^j$ :

$$U_i^j = U_i(1 - K_{осл}^j). \quad (7.20)$$

Кожне рішення на вибір захисних заходів для забезпечення радіаційної безпеки об'єктів будівництва  $Y^r$ , які характеризуються набором застосовуваних груп захисних заходів  $Gr^j$ , використанням конкретних видів для кожного з набору  $S^r$  і величиною регламентованого радіаційного параметра  $U^r$ :

$$Y^r = Y(Gr^r, S^r, U^r). \quad (7.21)$$

При цьому з безлічі можливих рішень  $Y = \{Y^r\}, r = \overline{1,..m}$  необхідно вибрати таке:

$$Y^* = Y(Gr^*, S^*, U^*), \quad (7.22)$$

щоб обраний захисний захід для кожної групи  $Gr^*$ , з набору  $S^*$  і величина регульованого параметра  $U_e^* \in U_i^j$  задовольняли вимогам принципів концепції радіаційного захисту людини.

На практиці рішення загального завдання на вибір захисних заходів щодо їхній сукупності зводиться до рішення приватних завдань для кожного регламентованого радіаційного параметра з урахуванням можливостей застосування кожної з груп захисних заходів й їхніх конкретних видів з набору по зменшенню рівня радіаційних параметрів до мінімального рівня.

Оцінка запропонованих варіантів захисних заходів проводиться шляхом порівняння їх по величині відверненої дози опромінення  $\Delta H_{efi}^j$ , мЗв/рік при реалізації  $j$ -го виду захисного заходу щодо зменшення  $i$ -го радіаційного параметра:

$$\Delta H_{efi}^j, \text{ мЗв/рік} = v_i \times u_i \times (1 - K_{ослі}^j), \quad (7.23)$$

де:  $v_i$  – переказний коефіцієнт розмірності  $i$ -го радіаційного параметра виробництва в дозу опромінення;

$u_i$  – регламентований радіаційний параметр будівельного виробництва;

$K_{ослі}^j$  – коефіцієнт ослаблення величини  $i$ -го радіаційного параметра при реалізації  $j$ -го захисного заходу.

Знання величини показника ефективності обраного  $j$ -го варіанта захисних заходів  $\Delta H_{efi}^j$ , мЗв/рік, витрат на його реалізацію  $X^j$ , грн, і величини його грошового еквівалента  $a^j$ , грн/Звхлюд, дозволяє оцінити дотримання принципу доцільності:

$$(a^j \times \Delta H_{efi}^j) > X^j; \quad (7.24)$$

принципу не перевищення:

$$\left( H_{efj} - \sum_{i=1} \Delta H_{efi}^j \right) < H_{ef}^{дон}. \quad (7.25)$$

При виборі сукупності проведених захисних заходів керуються дотриманням вимоги принципу оптимізації:

$$\left( \sum_{j=1}^n a_i^j \times \Delta H_{ef}^j - \sum_{j=1}^n X^j \right) > 0(\max). \quad (7.26)$$

Запропонований метод вибору захисних заходів на окремих етапах життєвого циклу будівельного виробництва з урахуванням показників їхньої ефективності й вартості витрат на реалізацію задовольняє вимогам принципів концепції радіаційного захисту людини.

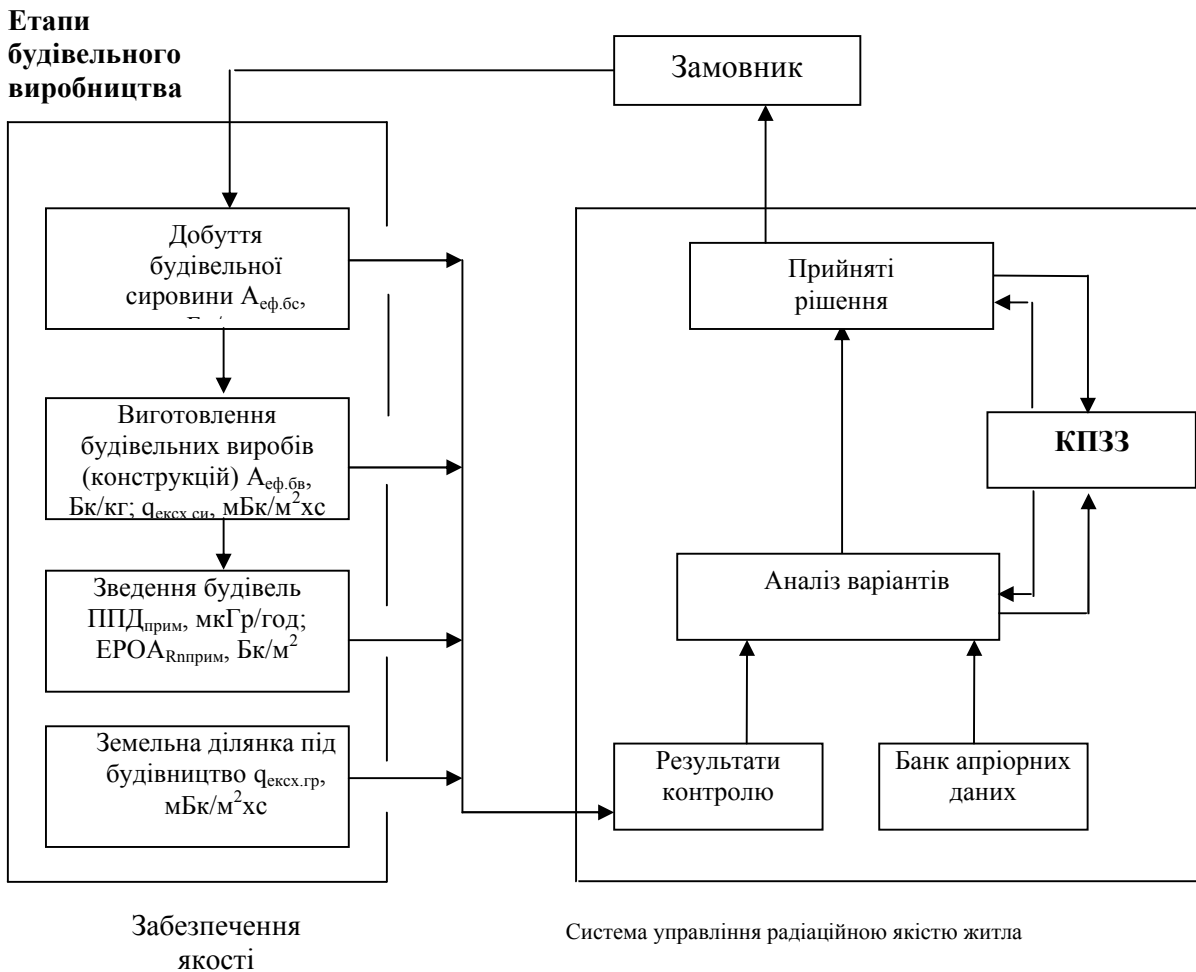
Вирішувати завдання керування рівнем радіаційної безпеки об'єкта будівництва можна тільки за допомогою відомчих лабораторій радіаційного контролю будівельного виробництва 1-го рангу при регіональних центрах радіаційних вимірів і моніторингу (РЦРВМ).

При цьому функції відомчої лабораторії радіаційного контролю будівельного виробництва 1-го рангу розширюються й вона повинна:

- використовуючи результати досліджень по вмісту ПРН у будівельних матеріалах і ґрунтах, що підстиляють, регіону, установлювати контрольні рівні радіаційних параметрів будівельного виробництва, які набувають чинності після узгодження їх з державними службами радіаційного контролю (СЕС) і твердження адміністрацією області (міста);
- підготовляти рекомендації для замовників об'єктів будівництва, у яких необхідно показати можливості регіональних захисних заходів щодо забезпечення радіаційної якості будівельної продукції;
- розробляти для проектних організацій розділ «Заходи щодо зниження рівня іонізуючих випромінювань природних радіонуклідів», що повинний відповідати вимогам діючих норм проектування й радіаційної безпеки;
- контролювати будівельну сировину, вироби, що виготовляють, (конструкцій) підприємствами міста на відповідність їхніх радіаційних параметрів припустимим і контрольним рівням;
- контролювати радіаційні параметри в приміщеннях об'єктів будівництва, здаваних в експлуатацію;
- видавати замовникам документацію, що підтверджує дотримання (не дотримання) припустимих і контрольних рівнів радіаційних параметрів;

- при необхідності організувати й проводити дослідження, необхідні для уточнення регіональних контрольних рівнів радіаційних параметрів.

Функціонування системи забезпечення радіаційної якості житла на основі використання ефективних захисних заходів представлена на мал. 7.10.



Мал. 7.10. Система керування радіаційною якістю житла

Для виконання цих функцій лабораторія повинна постійно виконувати великий обсяг підготовчих робіт, які забезпечують одержання необхідної інформації про радіаційні параметри іонізуючих джерел; використовуваних видів будівельної сировини й матеріалів; виготовлення будівельних виробів (конструкцій); земельних ділянок, виділених під будівництво.

Відомча лабораторія радіаційного контролю будівельного виробництва I рангу повинна мати:

- повний комплект рекомендованої нормативної, методичної, юридичної й інформаційної документації;
- повний комплект контрольно-вимірювального встаткування, необхідний для виконання вимірів регламентованих радіаційних параметрів на всіх етапах будівельного виробництва із заданою точністю;
- необхідний штат співробітників, що дозволяє виконувати поставлені завдання в повному обсязі;
- необхідні приміщення для проведення вимірів і робіт;
- комплект необхідної обчислювальної техніки для систематизації даних результатів вимірів й їхньої обробки;
- користуватися тільки формами документів, які встановлені З.1.4-0.02-97;
- забезпечувати конфіденційність отриманих даних у процесі вимірів і т.ін.

Результати вимірів і розрахунків радіаційних параметрів на окремих етапах циклу будівельного виробництва повинні вводитися на згадку комп'ютера, а також зберігатися в банку вихідних даних з метою використання їх для обґрунтування й установлення контрольних рівнів радіаційних параметрів, загальної оцінки рівня радіаційної якості будівництва й при виконанні розділу «Заходи щодо зниження рівня іонізуючих випромінювань природних радіонуклідів у будівництві» для проєктованих будинків.

## 7.8. Контрольні питання

1. Поясніть сутність захисних заходів щодо зменшення рівня параметрів іонізуючих джерел, що впливають, і створюваного ними радіаційного фону в приміщеннях будинку?

2. Чим можна пояснити, що технологічна група захисних заходів застосовується тільки на стадії виготовлення будівельних виробів (конструкцій)?

3. Чому архітектурно-конструктивна група захисних заходів у найбільшій мірі визначає рівень радіаційної якості будинку?

4. Які реальні можливості технічної групи захисних заходів щодо зменшення  $PPD_{\text{прим}}$  й  $EPOA_{R\text{нприм}}$ ?

## РОЗДІЛ 8

Соціально-економічні показники оцінки рівня  
радіаційної якості житла8.1. Критерії оцінки радіаційної небезпеки, створюваної  
іонізуючими випромінюваннями джерел будівельного  
виробництва

З будь-яким видом діяльності людини зв'язаний певний ступінь ризику шкідливого впливу, результатом якого можуть бути травма, захворювання й навіть смерть (табл. 8.1).

Таблиця 8.1

Рівні індивідуального ризику в професійної  
діяльності людини

Джерела ризику	Рівень ризику в рік
Промисловість: - виробництво гірничного газу - вуглекоксування та вулканізація - вугільна промисловість, у тому числі шахти й кар'єри - текстильна, паперова, типографська, харчова промисловість - швейна й взуттєва промисловість	$10^{-2}$ $(2-10) \cdot 10^{-3}$ $5 \cdot 10^{-4} \div 1,2 \cdot 10^{-3}$ $(1-10) \cdot 10^{-5}$ $(1-10) \cdot 10^{-6}$
Будівництво	$7 \cdot 10^{-4} \div 1,2 \cdot 10^{-3}$
Сільське господарство	$6 \cdot 10^{-4}$
Автотранспорт	$6 \cdot 10^{-4}$
Транспорт	$3,6 \cdot 10^{-4}$
Сфера обслуговування	$1 \cdot 10^{-4}$
Торгівля	$7 \cdot 10^{-5}$

Джерела ризику виникаючі в результаті людської діяльності по своєму походженню діляться на: природні й антропогенні (табл. 8.2). До джерел ризику природного походження відносять природне середовище перебування й внутрішнє середовище організму. Слід зазначити, що на формування останньої, впливають не тільки природні, але також й

антропогенні фактори. Особливістю природних джерел ризику є їхній змушений характер, практична неможливість контролю джерела небезпеки, неможливість запобігання й обмеження небезпеки.

Таблиця 8.2

**Класифікація джерел ризику і їхньої величини  
в умовах діяльності людини**

Джерела ризику	Рівень ризику в рік
Внутрішнє середовище перебування	$10^{-4} - 10^{-2}$
Природне середовище організму	$3 \cdot 10^{-8} - 1 \cdot 10^{-5}$
Штучне середовище перебування	$3 \cdot 10^{-6} - 10^{-3}$
Професійна діяльність	$10^{-6} - 10^{-2}$
Непрофесійна діяльність	$10^{-4} - 10^{-2}$
Соціальне середовище	$10^{-4} - 10^{-2}$

Антропогенні джерела ризику пов'язані з діяльністю людини, спрямованої на задоволення матеріальних і духовних потреб (професійна й непрофесійна діяльність), забезпечення життєвих функцій (побут, штучне середовище перебування), а також на дозвіл соціальних протиріч, конфліктів (табл. 8.3). Для антропогенної групи джерел ризику характерна можливість регулювання рівня небезпеки, тому що вони створюються різними видами діяльності людини.

Таблиця 8.3

**Рівні індивідуального ризику в антропогенному  
середовищі перебування**

Джерела ризику	Рівень ризику в рік
Нещасні випадки, у тому числі:	
в автотранспорті	$5,8 \cdot 10^{-6}$
при падінні	$2,8 \cdot 10^{-6}$
на воді	$9,0 \cdot 10^{-5}$
при пожежах	$4,0 \cdot 10^{-5}$
інші	$4,0 \cdot 10^{-5}$
Викиди ТЕС і забруднення атмосфери	$4,0 \cdot 10^{-6} \div 2 \cdot 10^{-5}$
Вихлопні гази автомобілів	$(1 \div 5) \cdot 10^{-6}$
Катастрофи в штучному середовищі перебування, смог, аварійне забруднення	$10^{-6} \div 10^{-5}$
Всі причини	$10^{-3}$

Радіаційний ризик для людини зв'язаний як із природними, так й антропогенними іонізуючими джерелами.

Рівні ризику в окремих видах діяльності людини носять відносно стійкий, типу закону, характер. Оскільки окремі групи населення й населення в цілому досить інформовані про рівні ризику, то ці рівні можна вважати прийнятними для суспільства.

Величина прийнятного рівня ризику, пов'язаного з різними видами діяльності, визначається економічними, соціальними й психологічними факторами.

**Економічні фактори.** Головними критеріями прийнятності для суспільства того або іншого виду діяльності є його корисність. Однак кожен вид діяльності, поряд з корисним позитивним ефектом, супроводжується й негативними ефектами, включаючи ризик. Більшість рішень про різні види діяльності людини засновано на зіставленні користі й шкоди.

Люди приймають ризик, тільки якщо вони впевнені, що, роблячи це, вони досягнуть якого-небудь позитивного результату. У загальному виді під користю розуміються всі можливі корисні ефекти того або іншого виду діяльності, а під шкодою - всі негативні ефекти. У більше вузькому вмісті користь розуміють як економічний показник, а шкода як прямі витрати, а також всі види непрямого економічного збитку.

**Соціальні фактори.** Соціальна прийнятність певного рівня ризику залежить крім згаданих раніше економічних факторів, також і від соціальних. До соціальних факторів відносять:

- ступінь небезпеки технології й рівень індивідуального ризику;
- кількість населення, що піддається небезпеці, і тривалість дії шкідливого фактора.

Хоча для добровільного ризику не може бути якої-небудь фіксованої верхньої межі, ризик смерті при змушених впливах не повинен перевищувати звичайного рівня ризику смерті від хвороб для всього населення, тобто не повинен перевищувати  $10^{-2}$  на людину в рік. Це означає визнання особливо небезпечних професій, пов'язаних з ризиком більше  $10^{-2}$  у рік, соціально неприйнятними видами діяльності сучасної людини.

На основі оцінки рівня безпеки різних видів діяльності людини, була запропонована шкала прийнятності ризику (табл. 8.4).

Прийнятність ризику поставлена тут у пряму залежність від рівня індивідуальної безпеки: чим безпечніше той або інший вид діяльності, тим він більше прийнятний для окремих осіб і суспільства в цілому.



Ті значення ризику, які встановлюються на певному рівні в умовах достатньої поінформованості населення, можна вважати соціально прийнятними. Оскільки при цьому, очевидно, реалізуються умови мінімуму витрат на досягнення устояного рівня безпеки й втрат через недостатню захищеність населення від джерела небезпеки, те ці сталі рівні ризику можна вважати також економічно прийнятними.

Таблиця 8.4

**Орієнтовна шкала прийнятності ризику  
(на 1 чоловіка у рік)**

Рівень ризику	Оцінка прийнятності ризику
Дорівнює й більше $10^{-2}$	Винятково високий рівень ризику смерті, необхідне застосування мір захисту
$10^{-3} \div 10^{-2}$	Високий рівень ризику, необхідне вживання заходів безпеки
$10^{-4} \div 10^{-3}$	Відносно невисокий рівень ризику
Дорівнює або менш $10^{-4}$	Дуже малий рівень ризику

До психологічних факторів можна віднести:

- добровільність або змушеність ризику;
- новизну технології або виду діяльності.

Для досягнення цілей радіаційної безпеки людини в умовах впливу джерел іонізуючих випромінювань використовуються принципи МКРЗ:

- доцільність діяльності;
- не перевищення припустимої межі опромінення;
- оптимізація захисту.

Для рішення завдання радіаційного захисту необхідно формалізувати загальні методи по прийняттю рішень, хоча не завжди можна оцінити їх кількісно. Формалізація рішень по виконанню основних принципів радіаційного захисту людини коротко зводиться до наступного:

$$B = V - P - X - Y > 0; \quad (8.1)$$

$$B \rightarrow \max; X + Y \rightarrow \min; \quad (8.2)$$

$$H_{ef} \leq H_{ef}^{дон}, \quad (8.3)$$

де  $B$  – чиста користь;

$V$  – загальна користь

$P$  – основна вартість виробництва;

$X$  – вартість досягнення обраного рівня безпеки;

$Y$  – вартість шкоди, пов'язаного з даною операцією або виробництвом;

$H_{ef}$ ,  $H_{ef}^{прин}$  - індивідуальна ефективна доза (індекс «прип» ставиться до припустимого рівня дози).

МКРЗ вважає, що «більшість рішень про різні види діяльності людини засновано на зіставленні користі й шкоди, що звичайно веде до висновку, що виконання обраного виду діяльності є виправданим».

У звичайній виробничій діяльності доцільність введення нової технології визначають на підставі співвідношення «користь – витрати». Одержувану від продукту або якої-небудь операції чисту користь  $B$  можна вважати рівній різниці між загальною користю  $V$  і сумою двох компонентів – основної вартості виробництва  $P$  и вартості обраного рівня безпеки  $X$ . Прийнято вважати, що нова технологія доцільна, якщо:

$$B = V - P - X > 0. \quad (8.4)$$

Чисту користь  $B$  від одержуваного продукту або якої-небудь операції, пов'язаних з радіаційним опроміненням, можна вважати рівній різниці між загальною користю  $V$  і сумою трьох компонентів: основної вартості виробництва  $P$ , вартості досягнення обраного рівня безпеки  $X$  и вартості шкоди  $Y$ :

$$B = V - (P + X + Y). \quad (8.5)$$

Термін «шкода», використаний тут, включає як соціальні, так і чисто економічні види збитку. Величина  $Y$  відбиває втрати для суспільства, пов'язані з недостатнім ступенем захищеності.

Перша вимога до системи обмеження ефективної дози полягає в тому, щоб кожен вид діяльності приніс суспільству в остаточному підсумку, тобто після підсумовування всіх вигід, переваг, з одного боку, і всіх витрат, втрат, збитку, шкоди, з іншої, чисту користь.

Вид діяльності виправданий, якщо можна знайти такі значення змінних, при яких

$$B > 0. \quad (8.6)$$

Але очевидно, що й шкода, включаючи ризик для працюючих, буде, прийнятний тоді, коли

$$Y < V - (P + X). \quad (8.7)$$

Тобто коли шкода менше користі. Умова (8.7) є соціально-економічним критерієм виправданості технології та прийнятності радіаційного ризику.

Питання вимоги до системи обмеження ефективної дози полягає в тому, щоб всі види опромінення, створюваного джерелами іонізуючих випромінювань, повинні бути на таких низьких рівнях, які тільки можна розумно досягти.

У диференціальному аналізі «користь-шкода», що має на меті максимально збільшити чисту користь, незалежною змінною є колективна ефективна доза  $H_{\text{еф.кол}}$ , одержувана при даному виді діяльності.

Колективна еквівалентна доза  $H_{\text{еф.кол}}$ , накопичена в результаті якого-небудь виду діяльності або від  $i$ -го джерела іонізуючих випромінювань визначається вираженням:

$$H_{\text{еф.кол}} = \int_{H_{\text{еф.нач}}}^{H_{\text{еф.кон}}} H_{\text{еф}i} \times N \times dH_{\text{еф}i}. \quad (8.8)$$

Будь-який обраний рівень безпеки (ступінь захищеності) характеризується колективною дозою  $H_{\text{еф.кол}}$ . Чим більше  $H_{\text{еф.кол}}$ , тим

## РОЗДІЛ 8

діяльності. При зменшенні  $H_{\text{еф.кол}}$ , тобто при підвищенні вимог до радіаційної безпеки, витрати зростають.

У той самий час передбачається, що з будь-яким як завгодно малим значенням  $H_{\text{еф.кол}}$  зв'язана кінцева ймовірність ризику радіаційних

поразок. У принципі будь-який досягнутий рівень  $H_{\text{еф.кол}}$  приводить до деяких втрат  $Y$  і характеризує рівень недостатньої захищеності.

При зменшенні  $H_{\text{еф.кол}}$  відповідно знижуються втрати на недостатню захищеність  $Y$ , але зростають витрати на досягнення цього рівня  $X$  (витрати на безпеку та захист).

Якщо виразити обидві величини  $X$  і  $Y$  в однакових одиницях виміру, то одержимо можливість відшукування суми  $X + Y$  залежно від  $H_{\text{еф.кол}}$ . При цьому сума повинна при деякому значенні змінної  $H_{\text{еф.кол}}$  мати мінімум.

Оптимальна чиста користь буде досягнутий, якщо  $B \rightarrow \max$ :

$$dB / dH_{\text{ек.кол}} = dV / dH_{\text{еф.кол}} - ((dP / dH_{\text{еф.кол}}) + (dX / dH_{\text{еф.кол}}) + (dY / dH_{\text{еф.кол}})) = 0. \quad (8.9)$$

Основні труднощі в знаходженні прямих оцінок виправданості виду діяльності й оптимізації захисту з обліком соціальних й економічних факторів полягають у складності вираження користі й збитку в однакових одиницях. Як правило, корисний ефект виражається у вартісних показниках, тому й оцінка шкоди для здоров'я (особливо летальних випадків) повинна бути дана в грошовому вираженні.

Одержанню кількісних оцінок принципів МКРЗ (8.1 й 8.2) можна вираженням - ефективною дози через грошовий еквівалент, що забезпечує можливу кількісну основу для прийняття рішень.

Вартість збитку здоров'ю людей  $Y$  залежить, у першу чергу від величини колективної ефективною дози опромінення  $H_{\text{еф.кол}}$ , чел<sup>x</sup>Зв/рік, і визначається співвідношенням:

$$Y = a \times H_{\text{эф.кол}} + \beta \times \sum_j N_j \times \ell_j(H_{\text{эф.}j}) \quad (8.10)$$

де  $a \times H_{\text{эф.кол}}$  - економічний еквівалент стохастичного без порогового компонента;

$\beta \times \sum_j N_j \times \ell_j(H_{\text{эф.}j})$  - психологічний компонент

Між вартістю збитку (у тому числі для здоров'я) і колективною ефективною дозою опромінення існує зв'язок:

$$Y = a \times H_{\text{еф.кол}}, \quad (8.11)$$

де:  $a$  – грошовий еквівалент одиниці ризику, грн/чел<sup>x</sup>Зв.

При малих дозах, коли виникнення детермінованих граничних ефектів виключено, перша складова відбиває економічний еквівалент стохастичного безпорогового збитку й називається економічним показником збитку здоров'ю:

$$Y_{en} = a \times H_{ef.кол} \quad (8.12)$$

Величина грошового еквівалента ризику  $a$ , грн/чол<sup>x</sup>Зв, розраховується на основі знання валового національного доходу на одного жителя (економічний компонент) і обліку компенсації за сприйняття ризику (психологічного або соціального компонента). При оптимізації захисту економічний компонент становить 5-10 % від психологічного.

У Публікації 26 МКРЗ встановлюється лінійний зв'язок між колективною ефективною дозою й колективним ризиком (числом фатальних випадків):

$$R = r_D \times H_{ef.кол}, \quad (8.13)$$

звідки треба:

$$Y = (a / r_D) \times R. \quad (8.14)$$

## 8.2. Соціальні показники ефективності застосування захисних заходів

Соціальними показниками для суспільства при оцінці радіаційного ризику, створюваного іонізуючими джерелами будівельного виробництва в приміщеннях будинків, можуть виступати як число загубленого років життя  $t_{заг}$ , так і число летальних випадків  $n_{небл}$ .

Число загубленого років життя  $t_{заг}$ , років, визначається співвідношенням:

$$\tau_{ном} = r \times \tau_{скор} \times N_{обл} \times H_{эф}, \quad (8.15)$$

де  $r$  – коефіцієнт довічного ризику від стохастичних безпорогових ефектів, рівний для населення  $7,3 \cdot 10^{-2}$  рік/чолхЗв;

$\tau_{скор}$  – скорочення тривалості періоду повноцінного життя на один стохастичний ефект, рівний у середньому 15 років;

$N_{обл}$  – число людей, що опромінюються, даним іонізуючим джерелом, чол;

$H_{эф}$  – індивідуальна ефективна доза опромінення, Зв.

Розрахункові значення загублених років життя  $t_{заг}$  в житлових будинках міста з населенням в  $1 \cdot 10^6$  чоловік за один рік і час експлуатації будинків (50 років) реальні й потенційні (при реалізації захисних заходів) наведені в табл. 8.5.

Таблиця 8.5

**Соціальний показник - число загублених років життя населення в житлових будинках з типових будівельних матеріалів (на першому/верхніх поверхах) при реальних і потенційних (реалізація захисту) значеннях ефективної дози опромінення**

Будівельний матеріал стін будинків	$H_{эф} (H_{эф}^j)$ , мЗв/рік	$\tau_{пінт} (\tau_{пінт}^j)$ за один рік	$\tau_{пінт} (\tau_{пінт}^j)$ за час експлуатації будинку, років
Силікатна цегла	<u>2,3(1,2)</u>	<u>10,9(5,7)</u>	<u>545(285)</u>
	1,1(0,7)	5,2(5,3)	255(165)
Легкий бетон	<u>3,1(1,4)</u>	<u>15,9(7,1)</u>	<u>596(355)</u>
	1,2(0,70)	6,2(3,8)	310(120)

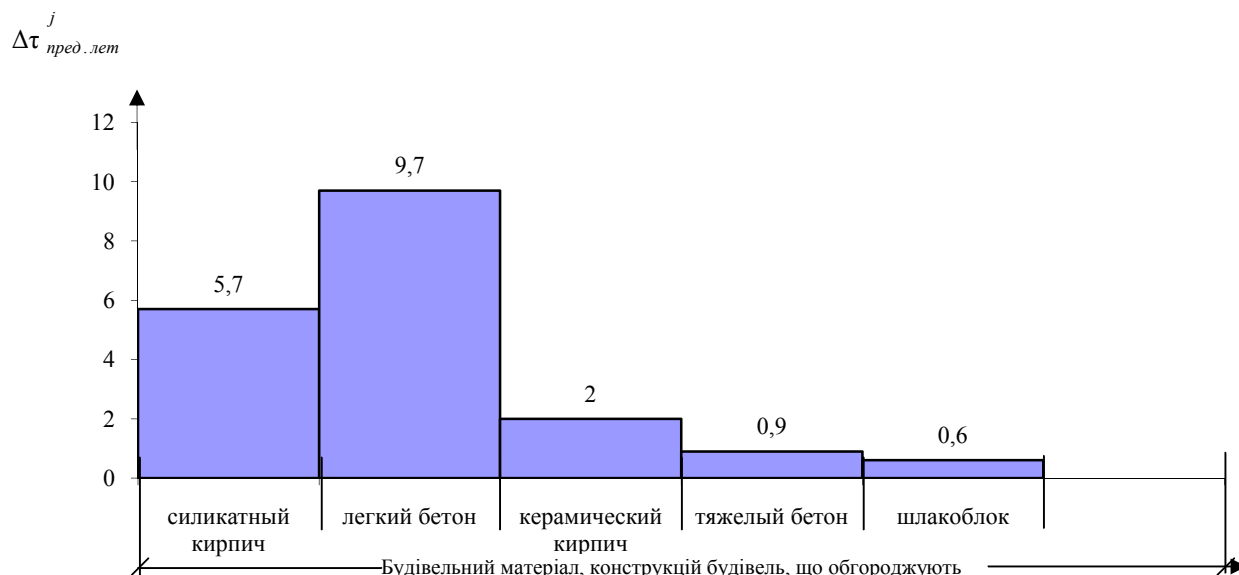
Продовження таблиці 8.5

Керамічна цегла	$\frac{1,9(1,1)}{0,9(0,8)}$	$\frac{3,2(1,9)}{1,2(1,3)}$	$\frac{160(95)}{75(65)}$
Важкий бетон	$\frac{2,4(1,4)}{1,3(0,9)}$	$\frac{2,0(1,3)}{1,1(0,8)}$	$\frac{108(65)}{55(40)}$
Шлакоблок	$\frac{2,1(1,3)}{1,5(0,9)}$	$\frac{1,5(0,9)}{1,1(0,8)}$	$\frac{75(45)}{55(40)}$

Соціальний показник ефективності виконання захисних заходів щодо зменшення впливу іонізуючих джерел служить відвернене число загублених років життя населенням  $\Delta\tau_{пред}^j$ , років, обумовлене по формулі:

$$\Delta\tau_{пред}^j = \tau - \tau_{заг}^j, \quad (8.16)$$

Порівняльна оцінка соціального показника ефективності захисних заходів  $\Delta\tau_{пред}^j$ , років, для населення міста наведена на мал. 8.1.



Мал. 8.1. Значення соціального показника  $\Delta\tau_{пред}^j$ , що характеризує ефективність застосування захисних заходів у житлових будинках міста ( $n=1 \cdot 10^6$  чол)

Коллективна ефективна доза опромінення від впливу радону для жителів міста, розрахована на середньозважене по площі міста значення

швидкості ексхаляції  $\bar{q}_{ексх.зр} = 33 \text{ мБк/м}^2 \times \text{с}$ , дозволяє визначити кількість летальних випадків від онкологічних легеневих захворювань населення (табл. 8.6).

Про ефективність захисних заходів можна судити по зниженню числа летальних випадків  $\Delta n_{небл}$ , чол:

$$\Delta n_{небл} = r \times (H_{эф.внутр} - H_{эф.внутр}^{ПЗЭ}) \times N_{жит}. \quad (8.17)$$

Таблиця 8.6

**Середня колективна внутрішня складова ефективної дози опромінення жителів з населенням  $1 \cdot 10^6$  чоловік від впливу радону й число летальних випадків у рік,  $n_{небл}$ , чол.**

Величини	Будівельний матеріал обгороджуючих конструкцій				
	силікатна цегла	легкий бетон	керамічна цегла	важкий бетон	шлако-блок
Чисельність мешканців, тис. чол.	473	422	135	41	29
$H_{эф.внутр.кол}$ , Зв/чол <sup>х</sup> рік	1721	1375	265	61	68
$H_{эф.внутр.кол}^{ПЗЭ}$ , Зв/чол <sup>х</sup> рік	681	497	103	28	19
$n_{небл}^{пот}$ , чол	126	101	30	5	5
$n_{небл}^{ПЗЭ}$ , чол	50	36	8	2	2
$\Delta n_{небл}$ , чол	76	65	22	3	3

**8.3. Економічні показники оцінки ефективності застосування захисних заходів будівельного виробництва**

Ухвалення рішення на реалізацію кожного захисного заходу можливо на основі зіставлення одержуваної користі й витрат для суспільства від його проведення. Це можливо шляхом використання загальних принципів формалізації по прийняттю рішень стосовно до забезпечення радіаційної безпеки об'єктів будівництва. Для реалізації принципу оптимізації НРБУ-97 потрібно максимально зменшити збиток здоров'ю населення, від впливу даного ІДВ ( $-\Delta Y$  – користь) за рахунок



проведення захисного заходу, реалізація якого вимагає певних витрат ( $X^j$  – шкода).

Ефективність виконання захисного заходу оцінюється співвідношенням «користь-шкода»:

$$-\Delta Y \leq X^j. \quad (8.18)$$

Для одержання прямих кількісних значень необхідно вимірювати вираження користі ( $-\Delta Y$ ) й шкоди ( $X^j$ ) в однакових одиницях. Це можливо, якщо вираження користі ( $-\Delta Y$ ) представити у вигляді функції  $(-\Delta Y) = f(H_{\text{еф.кол}}, Z_{\text{в}^{\text{чол}}}, i, a, \text{грн}/Z_{\text{в}^{\text{чол}}})$ , де  $a$  – грошовий еквівалент.

З урахуванням характеру та особливостей ІДВ будівельного виробництва, що володіють порівняно малою інтенсивністю випромінювання, коли виникнення детермінованих граничних ефектів виключено, зменшення збитку здоров'ю  $-\Delta Y^j$  при проведенні  $j$ -го захисного заходу оцінюється:

$$-\Delta Y^j = a^j \times (H_{\text{еф.кол}} - H_{\text{еф.кол.}i}^j), \quad (8.19)$$

де  $a^j$  – грошовий еквівалент, грн/чол $^{\text{x}}Z_{\text{в}}$ ;

$H_{\text{еф.кол}}$ ,  $H_{\text{еф.кол.}i}^j$  – ефективна колективна доза й потенційна при реалізації  $j$ -го захисного заходу,  $Z_{\text{в}^{\text{чол}}}$ .

Значення ефективної колективної дози опромінення в приміщеннях будинку  $H_{\text{еф.кол}}$ ,  $Z_{\text{в}^{\text{чол}}}$ , визначається по формулі:

$$H_{\text{еф.кол}} = H_{\text{еф.инд}} \times N, \quad (8.20)$$

де  $N$  – число людей, що опромінюють, чол.;

Реалізація  $j$ -го протирадіаційного захисного заходу вважається доцільним, якщо виконується співвідношення:

$$X^j < \frac{a^j}{m} \times t_{\text{експ.}} \times (H_{\text{еф.кол}} - H_{\text{еф.кол.}i}^j), \quad (8.21)$$

## РОЗДІЛ 8

де  $m$  – маса будівельного матеріалу, що доводиться на один жителя, т/чол;

$t_{\text{експл}}$  – строк експлуатації будинку, років.

При цьому витрати на реалізацію  $j$ -го захисного заходу  $X^j$  характеризують економічний збиток, що включає фактичний (реальні нанесені збитки) і потенційний (нанесеними іонізуючими джерелами мешканцям за весь строк експлуатації будинку).

Для обґрунтування витрат на захисні заходи при реалізації принципу оптимізації приймається, що опромінення в колективній ефективній дозі в 1 чол<sup>x</sup>Зв приводить до потенційного збитку рівному 1 людини року життя. Величина грошового еквівалента втрати 1 чол. – рік життя населення встановлюється в розмірі не менш 1 річного національного доходу на душу населення. Опромінення колективу з  $N$  індивідуумів вважається виправданим, якщо

$$r \times \tau_{\text{скор}} \times N \times a > X^j, \quad (8.22)$$

де  $r=7,3 \cdot 10^{-2}$  чол<sup>-1</sup>хЗв<sup>-1</sup> – коефіцієнт довічного ризику скорочення тривалості періоду повноцінного життя, у середньому на  $\tau_{\text{скор}}=15$  років на один стохастичний ефект.

Витрати на проведення захисних заходів вважаються виправданими, якщо виконується умова:

$$R < \frac{V - P - X}{a}, \quad (8.23)$$

де  $V$  – загальна користь від будівельного виробництва;

$P$  – вартість будівельного виробництва;

$X$  – вартість реалізації захисних заходів;

$a$  – грошовий еквівалент вартості одиниці колективної ефективної дози опромінення, грн/чол<sup>x</sup>Зв.

З обліком того, що користь від будівельного виробництва для суспільства завжди більше вартості виробництва  $(V-P)>0$ , то грошовий еквівалент вартості одиниці колективної ефективної дози опромінення визначається співвідношенням:

$$a^j = \frac{X^j}{\Delta H_{ef}^j \times N}. \quad (8.24)$$

Співвідношення визначення грошових еквівалентів захисних заходів щодо зменшення радіаційних параметрів іонізуючих джерел будівельного виробництва наведені в табл. 8.7.

Для аналізу значення грошових еквівалентів при реалізації захисних заходів щодо зменшення ефективної питомої активності ПРН для основних типів будівельних матеріалів дані в табл. 8.8.

Найбільш ефективним захисним заходом щодо зменшення радононадходження з ґрунту, що підстилає, під будинком у повітря приміщень є установка протирадонового захисного екрана (ПЗЕ). Величини грошового еквівалента при установці ПЗЕ з різних матеріалів для зменшення радононадходження з ґрунту наведені в табл. 8.9.

Таблиця 8.7

**Грошові еквіваленти  $a_i^j$ , грн/чел хЗв,  
для ряду захисних заходів щодо зменшення  
параметрів іонізуючих випромінювань джерел**

Радіаційний параметр іонізуючих джерел	Питомі витрати $X_{y\delta}^j$	Грошовий еквівалент $a_i^j$ , грн/чел <sup>xЗв</sup>
$A_{ef.бм}$ , Бк/кг	грн/т	$a_{cm} = \frac{X_{y\delta.cm} \times t}{\Delta H_{ef}^j \times N \times t_{експ}}$
$q_{ексх.гр}$ , Бк/м <sup>2</sup> хс	грн/м <sup>2</sup>	$a_{gp} = \frac{X_{y\delta.gp} \times S_{осн}}{\Delta H_{efgp}^j \times N \times t_{експ}}$
$q_{ексх.ок}$ , Бк/м <sup>2</sup> хс	грн/м <sup>2</sup>	$a_{ок} = \frac{X_{y\delta.ок} \times S_{ок}}{\Delta H_{efок}^j \times N \times t_{експ}}$

**Значення грошових еквівалентів  
для основних будівельних матеріалів що обгороджують  
конструкції житлових будинків міста**

Будівельні матеріали конструкцій, що обгороджують	Зменшення $\Delta A_{\text{ефси}}$ , Бк/кг	Вартість заміни $\Delta X$ , грн/т	Ефективність захисних мір $\Delta H_{\text{еф}}$ , мЗв/рік	Грошовий еквівалент $a_i$ , грн/чел <sup>x</sup> Зв
Силікатна цегла	26	2,1	0,08	$2,2 \cdot 10^4$
Легкий бетон	31	7,0	0,26	$2,6 \cdot 10^4$
Керамічна цегла	38	8,0	0,11	$4,3 \cdot 10^4$
Важкий бетон	43	4,0	0,24	$1,8 \cdot 10^4$
Шлакоблок	19	1,5	0,13	$1,4 \cdot 10^4$

Зменшення радононадходження з будівельних матеріалів конструкцій, що обгороджують, приміщень досягається за допомогою різних матеріалів з малою газопроникністю, використовуваних у якості протирадонових захисних заходів, величина грошових еквівалентів, яких наведені в табл. 8.10.

**Величини грошових еквівалентів по зменшенню  
радононадходження із ґрунтів, що п ідстилають, на  
території  
міста за допомогою захисних екранів**

Матеріал для ПЗЕ	Коефіцієнт ослаблення $K_{\text{осл}}$	Ефективність ПЗЕ $\Delta H_{\text{еф}}^{\text{зах}}$ , мЗв/рік	Вартість виготовлення й установки 1 м <sup>2</sup> ПЗЕ, грн/м <sup>2</sup>	Грошовий еквівалент $a_i'$ , грн/Зв <sup>x</sup> чол
Бетон	0,7	0,7-1,5	2400-10800	$(3,2-6,7) \cdot 10^4$
Поліетиленова плівка	0,85	0,9-2,0	100-800	$(1,3-4,2) \cdot 10^3$

Таблиця 8.10

**Значення грошового еквівалента по зменшенню  
радононадходження з будівельних матеріалів  
за допомогою екрана**

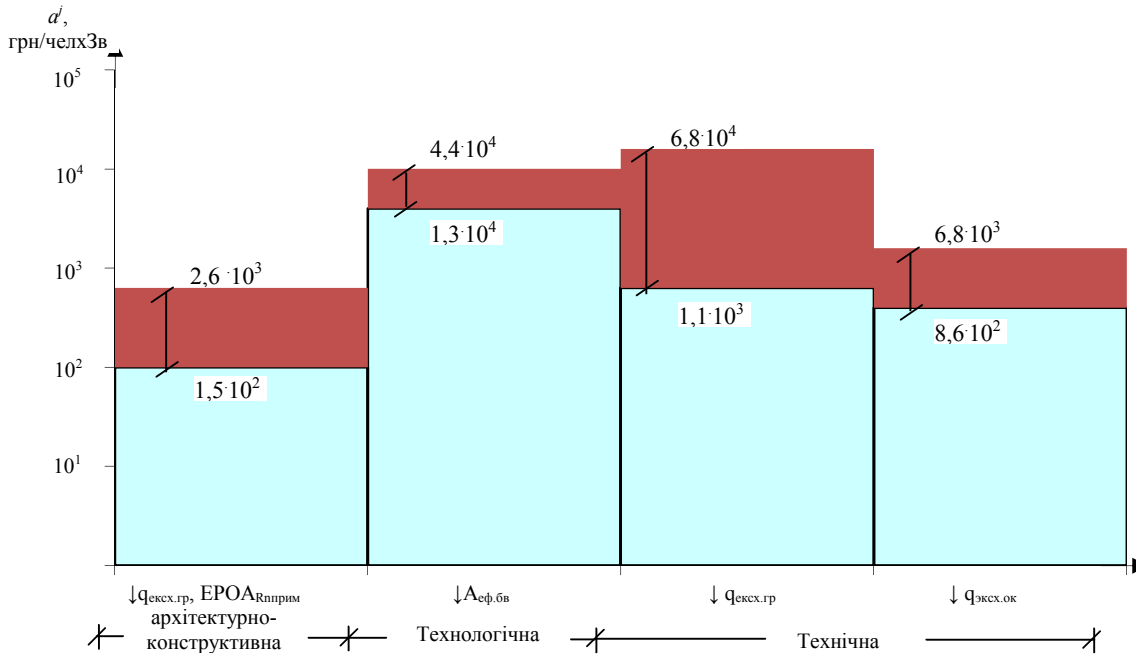
Матеріал для ПЗЕ	$\Delta q_{ексх.ок},$ мБк/м <sup>2</sup> хс	$K_{осл}$	Ефективність захисного матеріалу $\Delta N_{эф}^{зах}$ , мЗв/рік	Вартість витрат $X$ , грн/м <sup>2</sup>	Грошовий еквівалент $a_i$ , грн/Зв <sup>х</sup> чол
Олійна фарба	5,71	0,69	0,28	0,37	$1,6 \cdot 10^3$
Емаль	6,74	0,87	0,38	0,48	$1,2 \cdot 10^3$
Водо емульсійна фарба	4,81	0,67	0,27	0,26	$7,4 \cdot 10^2$
Шпалери паперові	2,64	0,36	0,16	1,06	$6,5 \cdot 10^3$
Шпалери плівкові	6,11	0,80	0,39	3,18	$5,1 \cdot 10^3$

#### 8.4. Оцінка окупності витрат на реалізацію захисних заходів у процесі експлуатації будинку

Визначення показників ефективності захисних заходів архітектурно-конструктивної групи, можливо на основі експериментально-розрахункового методу визначення параметрів у приміщеннях будинку при реалізації захисту. За результатами досліджень, на прикладі проєктованих і побудованих житлових будинків, найбільша ефективність  $\Delta N_{эф}^j$  характерна при виключенні підвалу в індивідуальних будинках; використанні перших поверхів під приміщення з обмеженим часом перебування людей у них, проєктуванні вентилятованих цокольних і технічних поверхів, виборі сукупності захисних заходів з обліком радонебезпеки ґрунту та конструкції будинку й ін.

## РОЗДІЛ 8

Для порівняння отримані значення грошових еквівалентів основних груп захисних заходів наведені на мал. 8.2.



**Мал. 8.2. Величина грошових еквівалентів основних груп захисних заходів будівельного виробництва**

Для архітектурно-конструктивної групи захисних заходів характерні відносно низькі витрати на їхню реалізацію, діапазон варіювання величини грошового еквівалента для даної групи становить від  $1,5 \cdot 10^2$  до  $2,6 \cdot 10^3$  грн/чол<sup>хЗв</sup>.

Одним з вимог до захисних заходів є збереження захисних властивостей на весь строк експлуатації будинку  $t_{експ}$ , чим забезпечується постійний рівень радіаційної якості житла.

Тому витрати на реалізацію захисних заходів при будівництві будинку включають дві складові:

- апріорні витрати  $X^j$ , що відбивають реальні витрати по досягненню припустимого рівня ризику стохастичних безпорогових ефектів у мешканців:

$$X^j = a^j \times H_{ef}^j \times N_{житл}; \quad (8.25)$$

- апостеріорні витрати  $X_{експл}$ , які відбивають відвернений збиток захисними заходами на весь період експлуатації будинку  $t_{експл}$ :

$$X_{експл} = X^j \times t_{експл} \quad (8.26)$$

Максимально припустимі витрати на проведення захисних заходів установлені, виходячи з умови, що опромінення колективною ефективною дозою в 1 чолхЗв приводить до потенційного збитку - втрати 1 чолхрік життя населення. Величина грошового еквівалента втрати 1 чолхрік життя встановлюється в розмірі не менш 1 національного доходу на людину.

Витрати на реалізацію захисних заходів кожного  $i$ -го об'єкта будівництва окупаються за час  $t_{окуп.років}$ :

$$t_{окуп} = \frac{H_{еф}}{\Delta H_{еф}^j \times N_{житл}} \cdot \quad (8.27)$$

Час окупності витрат на захисні заходи залежить від числа мешканців у будинку  $N_{житл}$ , чол., тобто від поверховості будинку  $t_{окуп} = f(K_{поверх})$ .

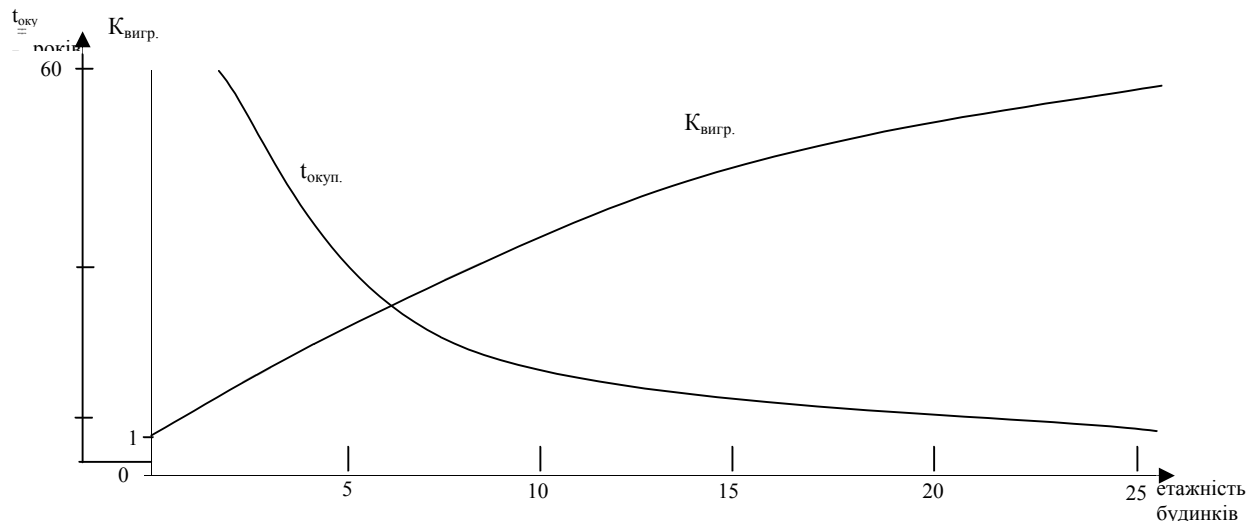
По закінченню часу окупності витрат на захисні заходи  $t_{окуп}$ , років, суспільство від експлуатації будинку починає одержувати доход (немає необхідності компенсувати витрати мешканцям будинку на лікування через зниження впливу радіаційного фон в приміщеннях), оцінюваний величиною коефіцієнта виграшу  $K_{вигр}$ .

$$K_{вигр} = \frac{t_{експл} - t_{окуп}}{t_{окуп}} \cdot \quad (8.28)$$

Залежності  $t_{окуп}$  та  $K_{вигр}$  від поверховості житлових будинків при строку їхньої експлуатації 50 років наведена на мал. 8.3.

У вартісній формі доход відверненого збитку захисними заходами за весь період експлуатації будинку  $X^j_{текспл}$  грн, визначається по формулі:

$$X^j_{текспл} = K_{вигр} \times X^j \quad (8.29)$$



Мал. 8.3. Залежність часу окупності витрат на захисні заходи й коефіцієнта виграшу  $K_{вигр}$  від поверховості житлових будинків при  $t_{експл} = 50$  років

Проведений аналіз витрат на реалізацію захисних заходів щодо забезпечення радіаційної безпеки на весь період експлуатації будинку відповідає положенням ринкової економіки.

### 8.5. Визначення реального й потенційного-можливого рівня радіаційної якості житлових будинків

Кожен вид виробничої діяльності людини спричиняє не тільки додаткову користь для суспільства, але й певне збільшення рівня несприятливих наслідків від їхнього впливу, оцінюваних величиною ризику.

Для ризику (кількісного імовірнісного показника настання несприятливих подій стосовно їх максимально можливого) при реалізації різних видів діяльності людини, характерні: – широкий інтервал варіювання від  $10^{-8}$  до  $10^{-2}$ ; – рівні ризику для окремих видів діяльності носять відносно сталий характер й оцінюються прийнятним для суспільства значенням, обумовленої економічними, соціальними й іншими факторами.

С обліком особливостей властивостей іонізуючих випромінювань джерел та їхнього впливу на організм людини радіаційна безпека базується на попередженні виникнення детермінованих граничних ефектів (установленням граничного значення дози  $H_{эф.порог} = 1$  мЗв/рік) і обмежені ймовірності стохастичних безпорогових ефектів на прийнятному рівні. Величина індивідуального радіаційного ризику за рік для персоналу встановлена на рівні  $10^{-4} \div 10^{-3}$ , а для населення  $10^{-5} \div 5 \cdot 10^{-5}$ . Це відповідає екологічній концепції нормування й прийнятності



радіаційного фону, створюваного антропогенними джерелами іонізуючих випромінювань.

Індивідуальний  $R_{\text{інд}}$  і колективний ризик  $R_{\text{кол}}$  виникнення стохастичних безпорогових ефектів, характерних при впливі техногенно-підвищених джерел природного походження (ТПДПП), визначаються по формулі:

$$R_{\text{інд}} = r \times H_{\text{еф.інд}}, \quad (8.30)$$

$$R_{\text{кол}} = r \times H_{\text{еф.кол}} \times N \quad (8.31)$$

де:  $H_{\text{еф.інд}}$ ,  $H_{\text{еф.кол}}$  – індивідуальна й колективна ефективна доза, опромінення, Зв;

$r$  – коефіцієнт довічного ризику скорочення строку повноцінного життя в середньому на 15 років на один стохастичний ефект виникнення рака зі смертельним і не смертельним результатом, серйозних спадкоємних наслідків дорівнює  $7,3 \cdot 10^{-2} \text{ Зв} \times \text{чол}^{-1}$  для населення,  $5,6 \cdot 10^{-2} \text{ Зв} \times \text{чол}^{-1}$  – для професійного опромінення;

$N$  – чисельність людей, які були опромінені даним іонізуючим джерелом, чол.

Сучасна концепція радіаційного захисту людини в Україні базується на рекомендаціях МКРЗ (ефективна доза опромінення, створювана всіма видами техногенних іонізуючих джерел, не повинна перевищувати 1 мЗв/рік). Це відповідає верхній границі прийняттого радіаційного ризику для населення  $5 \cdot 10^{-5}$ . Середнє значення ефективної дози опромінення визначається підсумовуванням доз, створюваних різними групами іонізуючих джерел. Внесок у сумарну дозу опромінення людини кожного виду діяльності повинен бути виправданий тільки одержуваною користю для суспільства від його реалізації. Природні радіонукліди будівельного виробництва є основною дозо утворюючою групою іонізуючих джерел, внесок якої в сумарну ефективну дозу становить до 80 %.

Для населення міста з населення 1 млн. чоловік результати досліджень зовнішньої й внутрішньої складових, а також сумарної ефективної дози опромінення представлені в табл. 8.11.

Наведені дані підтверджують загальні закономірності залежності величини ефективної дози опромінення від іонізуючих джерел будівельного виробництва. Так внесок зовнішньої складової  $H_{\text{еф.зовн}}$  в сумарну ефективну дозу  $H_{\text{еф}}$ , мЗв/рік, не перевищує 16 % для перших поверхів й 35 % для верхніх поверхів багатопверхових будинків (індивідуальні будинки 21 % – для перших поверхів, 49 % – для верхніх поверхів). Домінуючий внесок джерел радононадходження у величину

ефективної дози опромінення підтверджує прийняте положення, що радон є основним дозо утворюючим з відомих людині радіонуклідів.

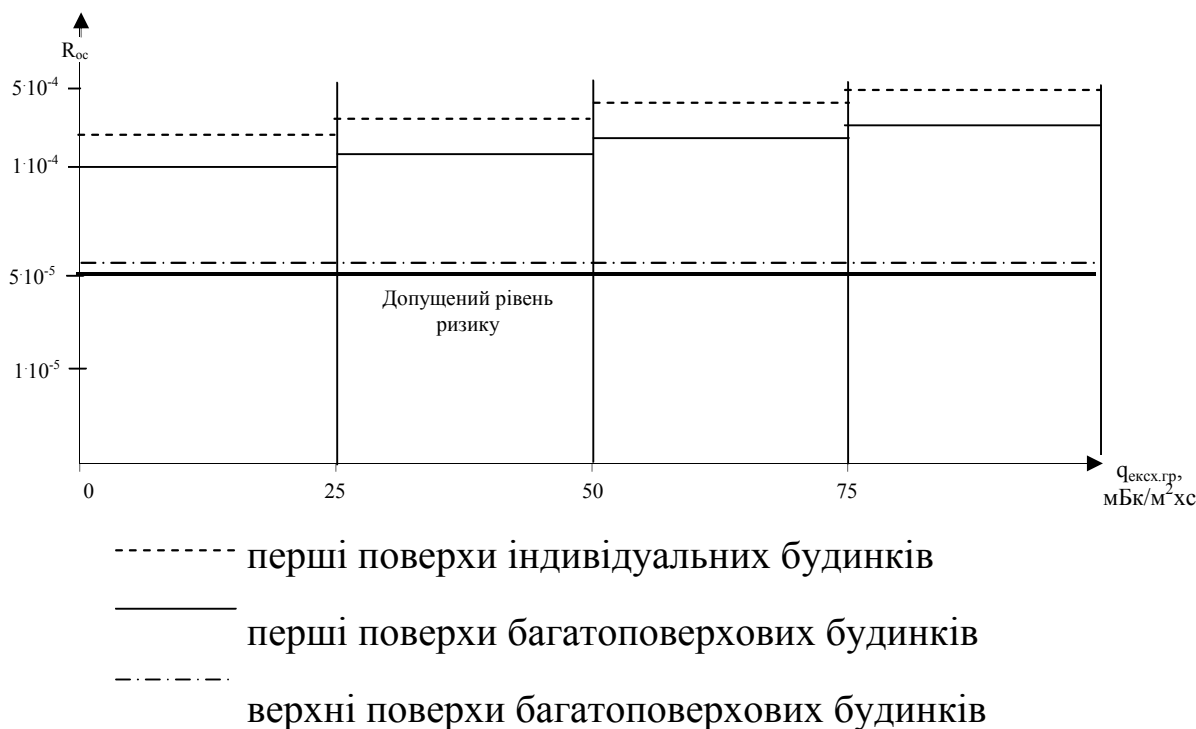
Таблиця 8.11

**Ефективна доза опромінення населення міста  $H_{\text{еф}}$ , мЗв/рік  
(на першому/верхніх поверхах будинків)**

Будівельний матеріал конструкцій, що обгороджують, будинків	Складові ефективної дози опромінення, мЗв/рік		Сумарна ефективна доза $H_{\text{еф}}$ , мЗв/рік
	Зовнішня $H_{\text{еф.зовн}}$	Внутрішня $H_{\text{еф.внутр}}$	
Багатоповерхові будинки			
Легкий бетон	0,18-0,29	<u>1,78-5,13</u> 0,81	<u>2,03-5,38</u> 1,06-1,11
Силікатна цегла	0,13-0,18	<u>1,93-5,11</u> 0,71	<u>3,09-5,56</u> 1,09-1,15
Керамічна цегла	0,21-0,39	<u>1,62-4,86</u> 0,58	<u>1,89-5,13</u> 0,7-0,88
Важкий бетон	0,2-0,37	<u>1,78-5,47</u> 1,04	<u>2,38-5,74</u> 1,24-1,47
Індивідуальні будинки			
Керамічна цегла	0,22-0,41	<u>1,72-5,03</u> 0,61	<u>1,94-5,44</u> 0,83-1,02
Силікатна цегла	0,12-0,2	<u>2,05-5,18</u> 0,71	<u>2,2-5,38</u> 0,86-0,91
Шлакоблок	0,19-0,28	<u>1,84-5,19</u> 0,83	<u>2,08-5,43</u> 1,02-1,1

Широкий діапазон варіювання  $H_{\text{еф}}$  (0,83-5,74) мЗв/рік порозумівається, у першу чергу, підвищеним рівнем радононадходження з ґрунту в повітря приміщень будинків. Границі діапазону варіювання ефективної дози опромінення визначаються величиною дози на верхніх поверхах будинків і на перших поверхах багатоповерхових й індивідуальних будинків.

Реальний рівень радіаційної безпеки експлуатованих житлових будинків  $R_{oc}$  міста залежно від величини радононадходження з ґрунту представлений на мал. 8.4.



Мал. 8.4. Рівні радіаційного ризику для мешканців житлових будинків міста

Для експлуатованих житлових будинків на території міста характерне перевищення рівня радіаційної безпеки на перших поверхах будинків припустимого значення  $5 \cdot 10^{-5}$ , а для верхніх поверхів будинків порівняно благополучне положення. При цьому видна домінуюча роль радононадходження з ґрунтів на величину радіаційного ризику  $R_{oc}$ .

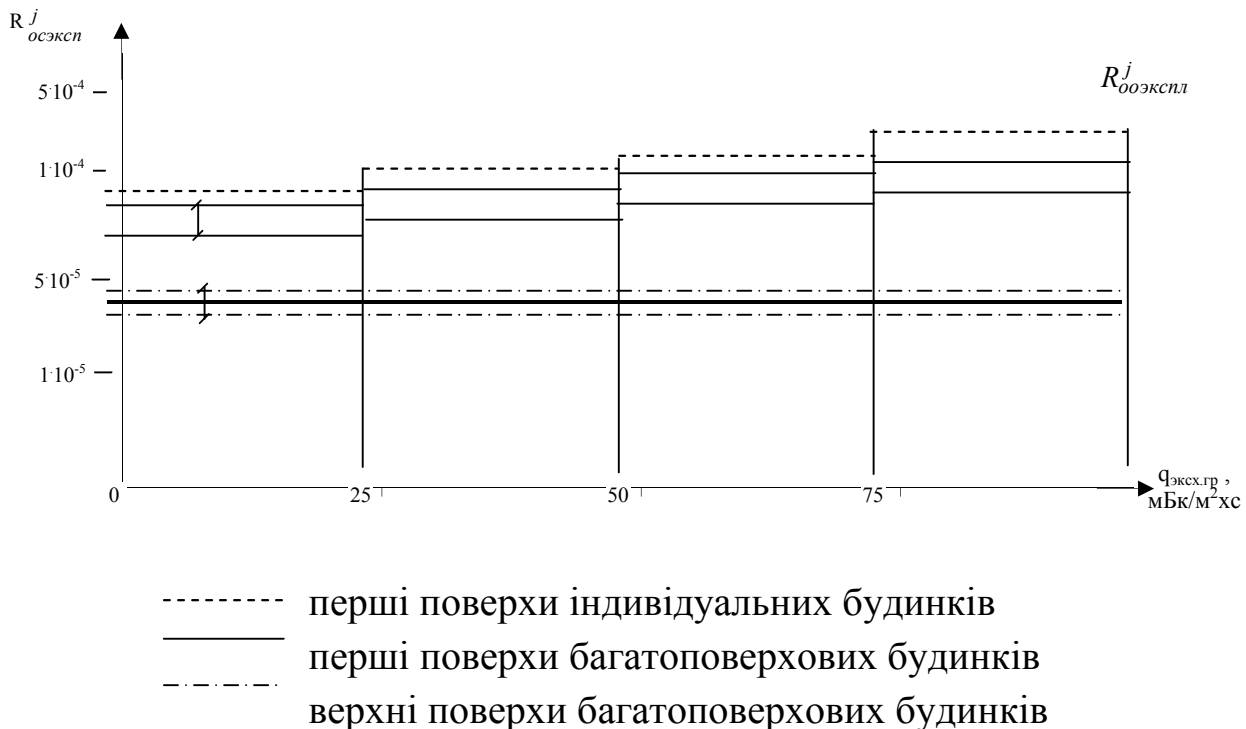
Підвищити рівень радіаційної безпеки експлуатованих будинків практично можна тільки реалізацією захисних заходів. Потенційний рівень радіаційної безпеки житлових будинків при реалізації захисних заходів  $R_{oc}^j$  наведений на мал. 8.5.

Найбільший вигравш у підвищенні радіаційної безпеки об'єктів будівництва можна забезпечити при виконанні передбачених захисних заходів архітектурно-конструктивної й технічної груп на стадії проектування будинків.

З урахуванням наявності на частині території міста ґрунтів підвищеної радононебезпеки, великого числа індивідуальних житлових будинків і перспективного плану будівництва забезпечення радіаційної безпеки населення повинне бути спрямоване, у першу чергу, на підвищення радіаційної якості проєктованих і споруджуваних будинків, а також будинків, що підлягають реконструкції й капітальний ремонт. При цьому необхідний як диференційований підхід до вибору захисних заходів від величини радононадходження з ґрунту на ділянці

## РОЗДІЛ 8

будівництва, так й облік високої ефективності застосування архітектурно-конструктивної групи захисних заходів.



Мал. 8.5. Потенційний рівень радіаційної безпеки експлуатованого житлового фонду міста при реалізації заходів  $R_{осэсп}^j$

### 8.6. Контрольні питання

1. Які параметри необхідні для визначення соціальних показників ефективності застосування захисних заходів?
2. Чому найбільша економічна ефективність досягається при реалізації архітектурно-конструктивної групи захисних заходів?
3. Що характеризує грошовий еквівалент  $a_i$ , грн/чол<sup>x</sup>Зв, необхідний для вибору захисних заходів щодо співвідношення «користь-шкода»?
4. Чим визначається окупність витрат на реалізацію захисних заходів у процесі експлуатації будинків?
5. Чому як показник радіаційної безпеки житлового середовища виступає імовірнісна величина - ризик?
6. Чим можна пояснити, що припустима величина радіаційного ризику для населення встановлена на рівні  $5 \cdot 10^{-5}$ ?

## РОЗДІЛ 9

# Рівень закладеної радіаційної якості на стадії проектування будинків та організаційно-технологічне забезпечення його на всіх етапах циклу будівництва

### 9.1. Закладка якості будівельного виробництва на стадії проектування житлового будинку

Житло є однією з фундаментальних потреб людини, що визначається як можливість його фізіологічного існування, захищаючи від несприятливих впливів навколишнього середовища, так й умови його розвитку як особистості забезпечуючи умови для продовження роду, роботи, відпочинку й т.д.

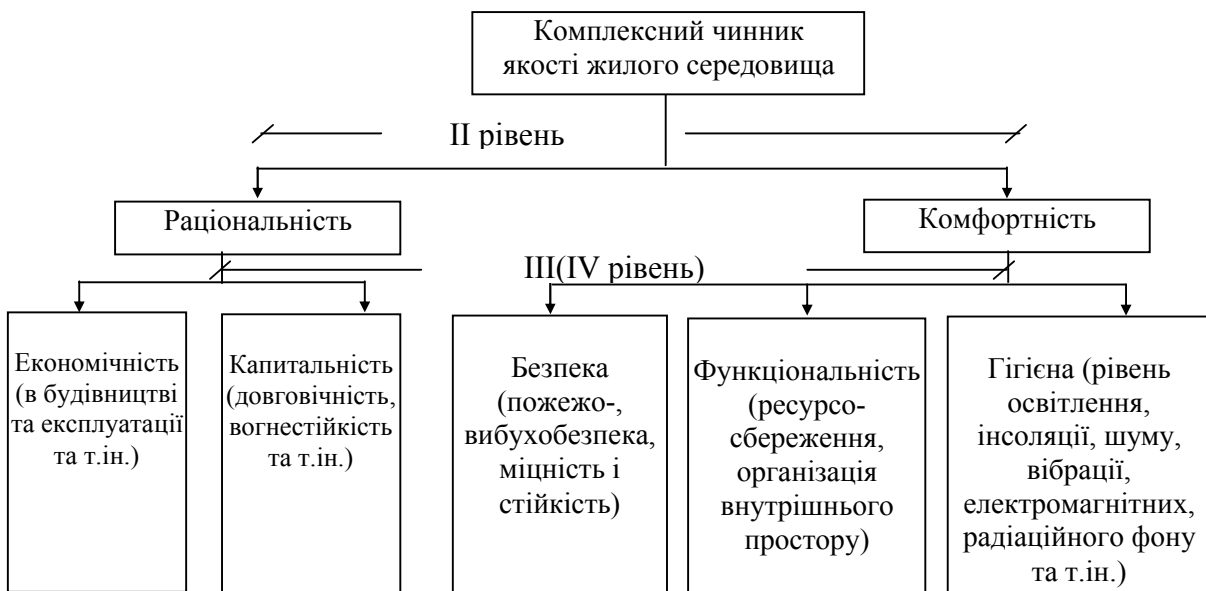
Житлова забудова з її оточенням представляє антропогенну систему, створену для життєдіяльності людей: сну, живлення, роботи вдома, пасивного й активного відпочинку. Оцінка її якості базується на методах кваліметрії (лат. qualis - якої якості) - наука, коріннями своїми походить з гуманітарних, медико-санітарних, екологічних, спеціальних, інженерних й архітектурно-планувальних дисциплін.

Постійно зростаючі запити до якості будівельної продукції з боку замовника - людини спричиняються необхідність забезпечення рівня кожного з комплексу показників якості житлового середовища, у тому числі й радіаційній безпеці будинку, їхня відповідність вимогам нормативно-правових документів країни.

Всі ці потреби об'єднані в комплексному понятті якості - сукупності властивостей, що характеризують ступінь придатності будинків до використання по призначенню й задоволення запитів споживача. Показники властивостей розглядають на різних рівнях. На верхньому перебуває інтегральне поняття якості, а при переході від одного рівня до іншого його послідовно розділяють на приватні показники, уточнюючи зміст цього збірного терміна. Наприклад, на другому рівні показники комфортності сполучають із раціональністю, істотним фактором якої є економічність. Комфортність часто вступає в протиріччя із цим фактором: підвищення якості вимагає додаткових витрат.

У сучасних ринкових умовах житлову нерухомість не можна розглядати у відриві від території забудови, тому що саме район

будівництва визначає цінність нерухомості. Житлову забудову і її істотну складову територію сьогодні розглядають як систему «людина - середовище перебування». Взаємодія між всіма її елементами в межах житлової групи, кварталу або мікрорайону досить складна та різноманітна, а зовнішні зв'язки, що з'єднують їх з більшими системами міського й навіть регіонального порядку, істотні для забезпечення комфортності життя населення. Як основу для оцінки планувальних систем використовують їх фізико-технічні й архітектурно-просторові характеристики. Головним є оцінка людиною рівня комфортної достатності. Це й сприйняття житлового середовища людьми й забезпечення ресурсами життєдіяльності, і видалення відходів, і зручність експлуатації, і керування процесами раціонального використання території.



Мал. 9.1. Складові комплексного показника якості житлового середовища

У свою чергу критерії комфортності ділять на три групи показників: гігієни, функціональності й безпеці.

Критерії комфортності вимагають чисельної оцінки, що дозволяє чітко обмежити межі оптимальності показників, дати точну їхню оцінку, а не якісною, страждаючою суб'єктивністю й тому приблизну.

Комфортні вимоги в різні історичні епохи були не рівнозначними. З ростом технічних можливостей суспільства, перетворенням його ідеології й, що не маловажно, з ростом фінансового статку людини міняються його подання про зручності. Взагалі розширюються рамки поняття, піднімається рівень і збільшується кількість вимог.

Безпека - умова формування відчуття комфортності, що у значній мірі залежить від упевненості, що перебування в середовищі не сполучено з ризиком.

Основні якісні показники житлових будинків включають:

- міцність і довговічність;
- високі звуко- і теплоізоляційні властивості;
- радонова й радіаційна безпека;
- практичність внутрішнього простору;
- оснащеність технологічним устаткуванням для створення постійного мікроклімату;
- безпека в експлуатації;
- низькі експлуатаційні витрати;
- комфортність проживання;
- неповторний дизайн інтер'єра;
- оригінальність, благоустрою, озеленення території й ін.

Кожного з перерахованих показників будинків обумовлено дією природних і антропогенних факторів навколишнього середовища на конструктивні елементи будинку й мікроклімат у його приміщеннях.

При цьому більшість факторів, що впливають, навколишнього середовища дають людині інформацію про їхню наявність через органи відчуття сигнал дискомфорності отриманий.

Постійно зростаючі запити суспільства до якості будівельної продукції, замовником якого виступає людина, спричиняють необхідність забезпечення рівня кожного з комплексу показників житлового середовища, у тому числі й радіаційній якості будинку, сучасним вимогам нормативно-правових документів країни. До кінця 90<sup>х</sup> років минулого сторіччя суспільство змогло сформулювати сучасну концепцію радіаційного захисту людини, у якій визначена значимість природної й антропогенної груп іонізуючих джерел по ступені створеної небезпеки для людини, дана оцінка наслідків впливів їх на організм людини, показані шляхи забезпечення радіаційної безпеки для кожної групи іонізуючих джерел, які повинні відповідати соціально-економічним вимогам країни.

Іонізуючі випромінювання радіонуклідів, що втримуються в будівельних матеріалах будинку, що обгороджують, і в ґрунті, що підстилає, і визначальні радіаційні показники якості житла в силу своїх фізичних властивостей, не забезпечують одержання людиною інформації про їхню наявність і вплив на організм (немає

психологічного фактора про наявність небезпеки). Підступництво радіаційної небезпеки для людини укладено також у тім, що наслідки впливу позначаються на стані здоров'я через тривалий схований період часу. При цьому іонізуючі джерела будівельного виробництва дають значимий внесок у величину сумарної ефективної дози опромінення через високу радіотоксичність радіонуклідів, особливо радону-222 і його дочірніх продуктів розпаду. Постійне й повсякденне поширення радіаційного впливу приводить до зростання збитку здоров'я чи до передчасної смерті.

Рівень апріорної інформації про іонізуючі джерела будівельного виробництва до початку технологічного циклу зведення будинку не дозволяє контролювати й прогнозувати радіаційну обстановку в приміщеннях будинку, якщо не ведуться систематичні радіаційні обстеження (СРО) на регіональному рівні.

Це не відповідає вимозі ХХІ століття «передбачати й попереджати» небажані зміни в навколишнім середовищі для людини, викликані, в основному, техногенними факторами. Оскільки їхній вплив повністю виключити не можна, то необхідно зменшити завдаваний ними збиток і втрати на основі забезпечення прийняттого рівня ризику для населення за допомогою захисних заходів.

Для запобігання забруднення й компенсації наслідків впливу техногенних джерел на навколишнє середовище суспільство свідомо несе додаткові витрати, які відповідають економічному збитку від забруднення. Ці витрати спрямовані як на зниження забруднення навколишнього середовища, так і на поліпшення умов життя людей (соціально-економічний ефект).

Для сучасного етапу становища продуктивних сил і природних ресурсів характерне домінування економічних цілей - оцінка впливу якості навколишнього середовища на економічну систему. Це визначає необхідність перекладу зміни навколишнього середовища під вплив техногенних факторів у вартісну оцінку ефекту, що адекватно відображає відповідній зміні в економічній системі. Поліпшуючи умови життєдіяльності за рахунок використання природних ресурсів, людина завжди при цьому завдає шкоди показникам навколишнього середовища. Таким чином, захист від будь-якого виду антропогенного забруднення навколишнього середовища, у тому числі й створюваний радіаційний фон в приміщеннях будинків, вимагає соціально-економічної оцінки.

Радіаційна безпека об'єктів будівництва, відповідно до вимог нормативно-правових документів в Україні, може бути реалізована



керуванням рівнів регламентованих радіаційних параметрів іонізуючих джерел і у приміщеннях будинку на основі захисних заходів. Застосування захисних заходів вимагає певних грошових витрат й вважається доцільним, якщо користь від їхньої реалізації для суспільства була більше нанесеного економічного збитку.

Ключовими аспектами забезпечення якості продукції будь-якого виробництва, що відповідає вимогам ISO-9000-95, є:

- потреби у випуску продукції, приведення її до сучасного рівня з урахуванням можливостей ринку;

- рівень якості обумовлений закладеними в конструкцію характеристиками продукції на стадії проектування, які повинні відповідати як потребам суспільства, так можливостям ринку й очікуваним експлуатаційним властивостям продукції;

- якість досягається повсякденним контролем за дотриманням відповідності конструкції продукції, закладеними в неї характеристиками, які відповідають запитам суспільства, на весь наступний життєвий цикл її експлуатації.

Виконанням цих вимог постачальник-виготовлювач продукції доводить свою здатність управляти процесами проектування й виробництва продукції, рівень якості якої відповідає вимогам нормативно-правових документів країни.

Забезпечення заданих рівнів показників якості будинків, як кінцевої продукції будівельного виробництва, можливо тільки на основі системотехнічного проектування, коли об'єкт проектування розглядається, як складна багато етапна система з урахуванням всіх взаємозв'язків і взаємного впливу окремих етапів один на одного. Об'єкт проектування при системотехнічному підході з урахуванням впливу навколишнього середовища представляє комплекс «будівельне виробництво - навколишнє середовище». З обліком того, що будівельне виробництво є результатом діяльності людини, системотехнічне проектування комплексу «будівельне виробництво - навколишнє середовище» носить керований характер за всіма показниками якості випускаємої продукції - здаваного в експлуатацію житлового будинку. При цьому рівень керованості по кожному показнику якості будинку, що піддається регулюванню,

залежить як від рівня розвитку будівельного виробництва, так від природних і антропогенних факторів навколишнього середовища, що визначають вплив їх на об'єкт, який будується.

Стадії проектування будинку включають ряд послідовних етапів:

- складання технічного завдання на проєктований об'єкт, у якому визначені призначені й основні показники якості, пропонувані замовником і суспільством до нього. На основі аналізу умов функціонування системи «будинок – навколишнє середовище забудови» встановлюються можливості ступені відповідності контрольованих параметрів об'єкта будівництва вимогам замовника. Цим закінчується попередній аналіз проєктної ситуації системи «будинок - навколишнє середовище місця забудови» і формулюється художньо-конструкторська проблема;

- технічні пропозиції – включають техніко-економічне обґрунтування доцільності розробки проєкту на підставі аналізу технічного завдання й пропонуваних варіантів можливих варіантів рішень завдання проєктування об'єкта із заданими показниками;

- розробка технічного проєкту на будинок з кошторисною документацією на будівництво служить базою для розгляду й оцінки архітектурних-планувальних і конструктивних рішень, інженерного встаткування, технічної частини на відповідність необхідним значенням показникам якості об'єкта, рішення питань організації будівництва, визначення кошторисної вартості будівництва й основних техніко-економічних показників якості об'єкта. Твердження технічного проєкту служить підставою для розробки робочих креслень на базі яких ведуться будівельно-монтажні й опоряджувальні роботи по зведенню будинку.

Кошторисна вартість будівництва включає вартість необхідних будівельних матеріалів і трудових витрат на будівництво будинку.

Схема закладки рівня радіаційної якості будинку на стадії проектування наведені на мал.1.



Мал. 9.2. Блок - схема закладки радіаційної якості будинку на стадії проектування

Підвищення рівня апріорної інформації як про іонізуючі джерела будівельного виробництва, так і про створюваний ними радіаційний фон в приміщенні будинків на регіональному рівні може бути вирішене на основі статистичних даних, одержуваних у ході систематичних радіаційних обстежень. Одержувана при цьому інформація дозволяє реалізувати принцип оптимізації НРБУ-97 по забезпеченню рівня радіаційної якості на стадії показників будинку. Закладка захисних заходів для забезпечення радіаційної якості в проектну документацію на будинок по даним МКРЗ є більш економічно виправданою, чим при реконструкції, і становить до 3% від повної вартості будівництва.

В Україні прийняті закони про містобудування й житлово-комунальну політику. Затверджено містобудівний кодекс України; розробляється Містобудівний кадастр. Створюється система підзаконних актів і нормативно-технічних документів декількох рівнів. На верхньому - ДСТУ і СНіПи, затверджені урядом України, на наступному - регіональні будівельні норми (РБН), прийняті органами територіального керування. На третьому і четвертому - будівельно-технологічні норми (БТН) і стандарти підприємств (СТП), що несуть галузеві ознаки на рівні концернів, виробничих об'єднань й окремих виробників продукції. Цю систему доповнюють методичні посібники й інструкції, що пояснюють суть норм і дають рекомендації із проектування, будівництва і експлуатації.

Нормальні умови життєдіяльності в забудові залежать не тільки від якості проектування і добротності будівництва, але й від ефективності експлуатації будинків. Із цих позицій регламентації підлягають з'єднати всі «життєві цикли продукції», що складаються з розробки ідеї, перетворення її в проект, реалізації проекту в натурі, експлуатації об'єкта його з періодичним ремонтом і модернізацією.

Крім нормативно-технічних документів для регулювання містобудівних та експлуатаційних процесів в умовах ринкової економіки дуже важлива і правова база. Оскільки технічні й архітектурно-планувальні норми стають не настільки твердими, фінансові структури можуть маніпулювати цими процесами. Необхідні тому закони й підзаконні акти на всіх рівнях керування. Їхня роль полягає в дотриманні інтересів держави і міського самоврядування, прав колективів жителів і кожної людини.

Держава вживає заходів у цьому напрямку. Діє Містобудівний кодекс України, у додавання до якого й розробляються місцеві нормативні акти, постанови міських влад та інші директивно-правові документи.

Забезпечення радіаційної якості житлових будинків, як одного з комплексного показників житлового середовища, засновано на розгляді системи «людина-середовище перебування» має в Україні всю необхідну нормативно-правову базу, що відповідає вимогам сучасної концепції радіаційного захисту людини.

### **9.2 Необхідні вихідні дані для закладки рівня радіаційної якості при проектуванні будинку**

Аналіз можливостей нормативно-правових і технологічних груп захисних заходів будівельного виробництва показав, що вони охоплюють регулюванням радіаційні параметри на етапах видобутку будівельної сировини  $A_{ef.бс}$ , Бк/кг, і виготовлення будівельних матеріалів (виробів)  $A_{ef.вир.}$ , Бк/кг;  $q_{екс.бв.}$ , Бк/м<sup>2</sup>×с.

Порівняльна оцінка внеску іонізуючих джерел у створювану сумарну ефективну дозу опромінення показує, що домінуюча по величині внутрішня складова дози заставляється, в основному, на етапі зведення будинку (виконання робіт із закладки основи і фундаменту будинку на земельній ділянці та будівельно-монтажних і опоряджувальних робіт). Керованість радіаційними параметрами на цьому етапі виробництва залежить, в основному, від реалізації архітектурно-конструктивної та технічної груп захисних заходів. Вибір

архітектурно-конструктивних захисних заходів спрямований на зменшення радіаційного фону в проєктованому будинку, створеного іонізуючими джерелами для конкретно обраної конструкції будинків. Реалізація цієї групи захисних заходів на стадії проєктування будинку вимагає найменших економічних витрат у порівнянні з іншими.

Аналіз можливостей групи захисних заходів будівельного виробництва показує, що найбільша частина їх може бути успішно реалізована тільки на стадії проєктування з обліком обраного конструктивного рішення будинку.

Нормативно-правовими документами України по веденню радіаційного контролю будівельного виробництва визначено, що саме на стадії проєктування будинків житлового, цивільного й промислового призначення повинен обов'язково розроблятися розділ «Заходи щодо зниження рівня іонізуючих випромінювань природних радіонуклідів». Вихідні необхідні дані для рішення завдання забезпечення радіаційної якості на стадії проєктування будинку, виходячи із запитів замовника, включають:

- конструктивні дані проєктованого будинку [тип будинку по використовуваному матеріалу, розміри й поверховість будинку, планувальні рішення приміщень, наявність підвалів (напівпідвальних приміщень)] та ін.;

- фізико-механічні й радіаційні параметри на земельній ділянці, виділеній під будівництво ( $\rho$ ,  $\rho_s$ ,  $W$ ,  $A_{y\partial Ra}$ ), які визначають величину радононадходження з ґрунту, що підстиляє;

- радіаційні та радонові параметри будівельних матеріалів ( $A_{ef, \bar{m}i}$ ,  $A_{y\partial Ra \bar{m}i}$ );

- можливості основних груп захисних заходів на регіональному рівні й ін.

Природно процес розробки розділу проєкту повинен відповідати всім вимогам діючого нормативно-правового поля України по забезпеченню радіаційної якості продукції будівельного виробництва. Для цього необхідно реалізувати всі можливості розроблених прогностичних моделей оцінки радіаційної якості будівельної продукції на кожному етапі технологічного циклу виробництва відповідно до принципів НРБУ-97 на основі реалізації регіональних захисних заходів. Необхідні вхідні проєктні дані параметрів для кожного етапу циклу будівельного виробництва наведені в табл. 9.1.

Таблиця 9.1

**Необхідні радіаційні параметри для закладки рівня  
радіаційної якості на стадії проектування  
житлового будинку**

Необхідні вхідні параметри для проектування	Розрахункові співвідношення для вибору варіантів рішення	Вимоги до вихідних проектних параметрів	Показники захисних заходів		
			Ефективність $\Delta H$ , мЗв/рік	Витрати $\Delta X$ , грн/м <sup>2</sup> (т)	$a$ , грн/чол <sup>x</sup> Зв
<i>Іонізуючі джерела випромінювання</i>					
$q_{\text{ексх.гр}}(\text{си}) = f(A_{\text{уд}}, \eta, \rho, \beta, V_{\text{диф}})$ $q_{\text{ексх.гр}}^{\min} \div q_{\text{ексх.гр}}^{\max}$	$q_{\text{ексх.гр}}^{\text{зах}} = q_{\text{ексх.гр}} \times x[1 - K_{\text{осл}}(V_{\text{диф}}, \nabla H, q, \Delta P)]$ $q_{\text{ексх.ок}}^{\text{зах}} = q_{\text{ексх.ок}} \times x[1 - K_{\text{осл}}(V_{\text{диф}})]$	$q_{\text{ексх.гр}}^{\text{зах}} < q_{\text{ексх.гр}}^{\text{РКУ}}$ $q_{\text{ексх.ок}}^{\text{зах}} < q_{\text{ексх.ок}}^{\text{РКУ}}$	$\Delta H_{\text{еф.гр}}$ $\Delta H_{\text{еф.ок}}$	$\Delta X_{\text{гр}}$ $\Delta X_{\text{ок}}$	$a_{\text{гр}}$ $a_{\text{ок}}$
$A_{\text{еф.си}} = f(A_{\text{еф.сци}}, m_{\text{сци}})$ $A_{\text{еф.си}}^{\min} \div A_{\text{еф.си}}^{\max}$	$A_{\text{еф.ок}}^{\text{зах}} = f(A_{\text{еф.си}}, m_{\text{сци}})$	$A_{\text{еф.ок}}^{\text{зах}} < A_{\text{еф.си}}^{\text{РКУ}}$	$\Delta H_{\text{еф.бв}}$	$\Delta X_{\text{бв}}$	$a_{\text{бі}}$

Вихідні радіаційно-гігієнічні параметри в приміщеннях будинку					
$\text{ППД}_{\text{прим}} = f(A_{\text{еф.ок}}, m_{\text{ок}})$ $\text{ППД}_{\text{прим}}^{\min} \div \text{ППД}_{\text{прим}}^{\max}$	$\text{ППД}_{\text{прим}}^{\text{зах}} = \text{ППД}_{\text{прим}} \times (1 - K_{\text{осл}\gamma})$	$\text{ППД}_{\text{прим}}^{\text{зах}} < \text{ППД}_{\text{прим}}^{\text{РКУ}}$	$\Delta H_{\text{еф}}$	$\Delta X_{\text{прим}}$	$a_{\text{ппд}}$
$\text{ЕРОА}_{\text{Rnприм}} = f(q_{\text{ексх.гр}}, q_{\text{ексх.ок}}, \lambda_{\text{в}})$ $\text{ЕРОА}_{\text{Кп прим}}^{\min} \div \text{ЕРОА}_{\text{Rn прим}}^{\max}$	$\text{ЕРОА}_{\text{Rnприм}}^{\text{зах}} = f(x(q_{\text{ексх.гр}}^{\text{зах}}, q_{\text{ексх.ок}}^{\text{зах}}, \lambda_{\text{в}}))$	$\text{ЕРОА}_{\text{Rn прим}}^{\text{зах}} < \text{ЕРОА}_{\text{Rn поф}}^{\text{РКУ}}$	$\Delta H_{\text{еф}}$	$\Delta X_{\text{екол}}$	$A_{\text{ероа}}$

Рівень радіаційної якості будинку					
$R_{\text{ос}} = f(\text{ППД}_{\text{прим}}, \text{ЕРОА}_{\text{Rnприм}})$ $R_{\text{ос}}^{\min} \div R_{\text{ос}}^{\max}$	$R_{\text{ос}}^{\text{зах}} = R_{\text{ос}} \times K_{\text{осл.рез}}$	$R_{\text{ос}} < R_{\text{рад}}^{\text{дон}}$	$\Delta H_{\text{еф}}$	$\Delta X_{\Sigma}$	$a_{\Sigma}$

Даний обсяг вихідної інформації про параметри будівельного виробництва забезпечує прогностичність і керованість радіаційною обстановкою створюваною іонізуючими випромінюваннями джерел виробництва на стадії проектування будинку. Використовуючи розрахунково-експериментальні моделі, визначаються значення регламентованих радіаційних параметрів на кожному етапі виробництва і установлюються їхні контрольні рівні з урахуванням можливостей регіональних захисних заходів щодо їхнього зменшення, тобто забезпечується потенційно можливий рівень закладки радіаційної якості на стадії проектування будинку.

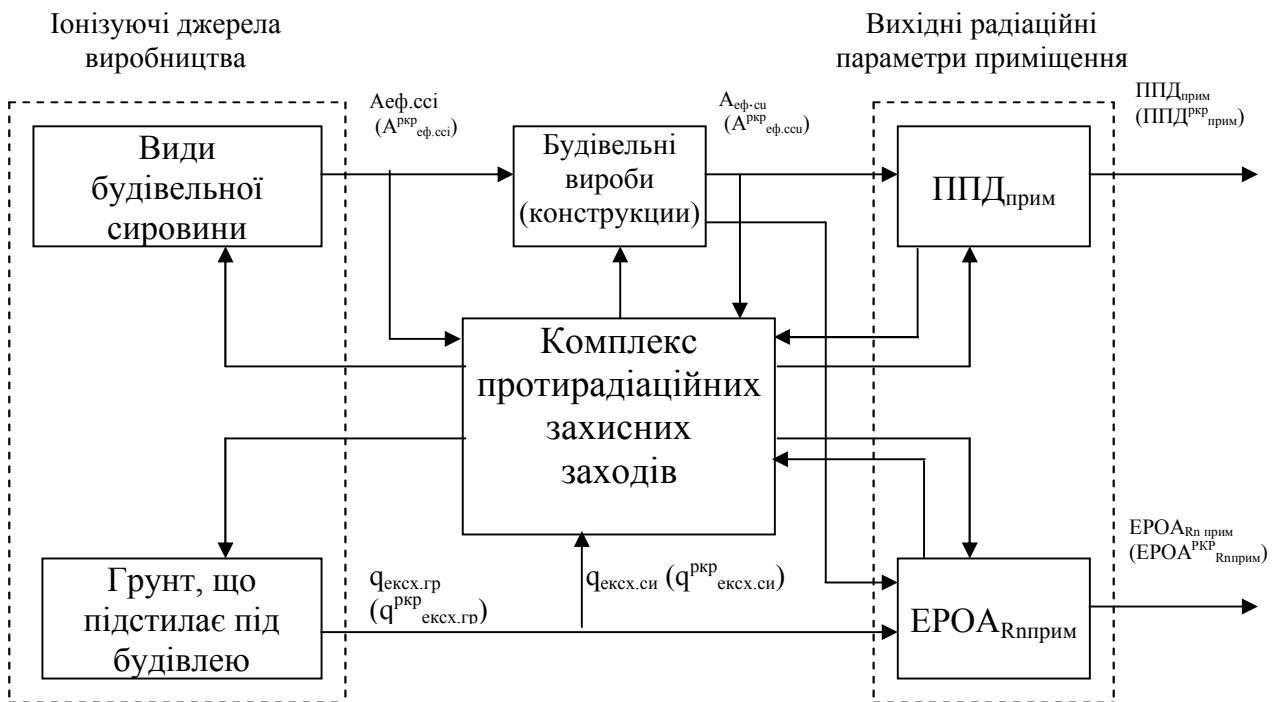
При цьому знання для застосовуваних захисних заходів показників їхньої ефективності, вартості витрат на реалізацію й грошовий еквівалент дозволяє вибрати на стадії проектування будинку (спорудження) найбільш доцільний варіант їхньої реалізації, що задовольняє принципам НРБУ-97. ). Тим самим на стадії проектування будинку (спорудження) у плановану до виготовлення і використання будівельну продукцію закладається мінімально можливий рівень вмісту ПРН у них і зменшується вплив іонізуючих джерел виробництва на створюваний ними радіаційний фон у приміщеннях майбутнього будинку.

Контрольні рівні регламентованих радіаційних параметрів установлюються з метою зниження як іонізуючих випромінювань ПРН будівельного виробництва, так і зменшення створюваної ними ефективної дози опромінення в приміщеннях будинку на основі застосування комплексу захисних заходів (мал. 9.3). Їхній рівні повинні бути нижче припустимих значень, обумовлених радіаційно-гігієнічними вимогами і забезпечувати дотримання принципів радіаційної безпеки, а також урахувати економічні й соціальні фактори. Для встановлення регіональних контрольних рівнів радіаційних параметрів будівельної сировини та матеріалів ( $A_{\text{еф}}^{KP}$  ,  $A_{\text{уд.Ра}}^{KP}$  ) необхідно знати діапазони їхнього варіювання з обліком використовуваних родовищ мінеральної сировини. Діапазон варіювання концентрації ПРН у будівельних видах сировини й матеріалах країн світу досить широкий (60 ÷ 4700 Бк/кг), що затрудняє можливість рішення поставленого завдання на цьому рівні. Сформована виправдана практика використання місцевих ресурсів сировини для будівельного виробництва показує доцільність встановлення контрольних рівнів радіаційних параметрів будівельних видів сировини на регіональному рівні (РКР)  $A_{\text{еф.сс}}^{PKP}$  ,  $A_{\text{еф}Ra}^{PKP}$  .

## РОЗДІЛ 9

Регіональні контрольні рівні швидкості ексхаляції радону з ІДВ виробництва (будівельних матеріалів і ґрунту, що підстиляє)  $q_{\text{ексх.сп(ок)}}^{\text{РКР}}$ , Бк/м<sup>2</sup>хс, що характеризують внутрішню складову ефективної дози, залежить від фізико-механічних і радіаційних параметрів джерел і можливостей захисних заходів. Регіональний контрольний рівень ефективної питомої активності ПРН будівельних виробів, що  $A_{\text{еф.сі}}^{\text{РКР}}$  виготовляють, Бк/кг, встановлюється на основі знання  $A_{\text{еф.бсі}}$  параметрів  $m_{\text{бсі}}$  і використовуваних компонентів будівельної сировини та можливостей технологічної групи захисних заходів.

Величина контрольного рівня потужності поглиненої дози в приміщеннях будинку  $\text{ППД}_{\text{прим}}^{\text{РКР}}$ , мкГр/год, що характеризує зовнішню складову ефективної дози опромінення, залежить від вмісту гамма-випромінюючих радіонуклідів у використовуваних будівельних матеріалах конструкцій, що обгороджують.



**Мал. 9.3. Схема встановлення регіональних контрольних рівнів (РКР) регламентованих радіаційних параметрів будівельного виробництва**

Внутрішня складова ефективної дози опромінення в приміщеннях будинку визначається по величині регламентованого радіаційного параметра еквівалентної рівноважної об'ємної активності ізотопів радону-222 у повітрі приміщень будинку  $\text{ЕРОАР}_{\text{рпприм}}^{\text{РКР}}$ , Бк/м<sup>3</sup>.



Контрольний рівень ЕРОА  ${}_{Rn}^{pkr}$ , Бк/м<sup>3</sup>, встановлюється на основі залежності його від рівнів радононадходження з іонізуючих джерел ( $q_{ексх.гр}^{pkr}$ ,  $q_{ексх.ок}^{pkr}$ ) і кратності повітрообміну в приміщенні  $\lambda_g$ , с<sup>-1</sup>.

Природно вирішувати завдання керування рівнем радіаційної безпеки об'єкта будівництва можна тільки за допомогою відомчих лабораторій радіаційного контролю будівельного виробництва I рангу при регіональних центрах радіаційних вимірів і моніторингу (РЦРВМ).

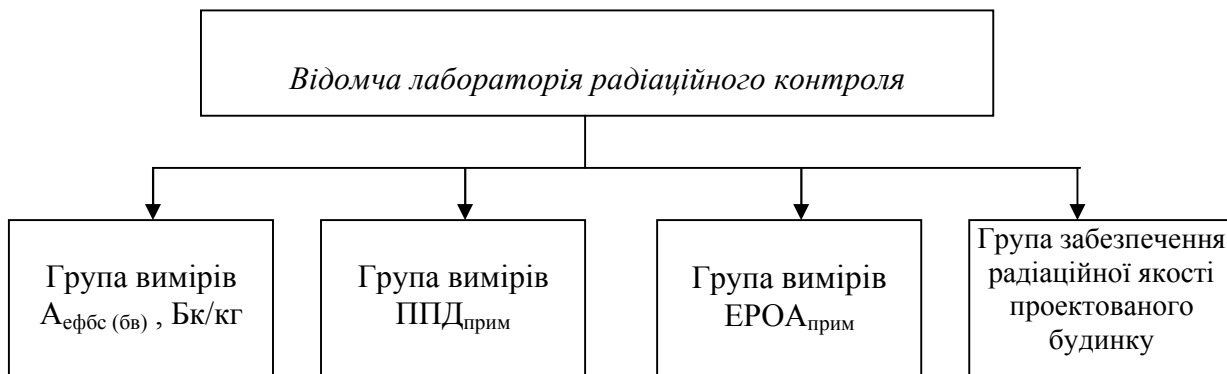
При цьому функції лабораторії I рангу радіаційного контролю будівельного виробництва, що відповідають вимогам принципів НРБУ-97, розширюються і вона повинна:

- використовуючи результати досліджень по вмісту ПРН у будівельних матеріалах і ґрунтах, що підстилають, регіону, встановлювати контрольні рівні радіаційних параметрів будівельного виробництва, які набувають чинності після узгодження їх з державними службами радіаційного контролю (СЕС) і твердження адміністрацією області (міста);
- підготовляти рекомендації для замовників об'єктів будівництва, у яких необхідно показати можливості регіональних захисних заходів щодо забезпечення високої радіаційної якості будівельної продукції;
- розробляти для проектних організацій розділ «Заходи щодо зниження рівня іонізуючих випромінювань природних радіонуклідів», що повинен відповідати вимогам діючих норм проектування та радіаційної безпеки;
- контролювати будівельну сировину, матеріали і вироби підприємств регіону (міста) на відповідність їхніх радіаційних параметрів припустимим і контрольним рівням;
- контролювати радіаційні параметри в приміщеннях об'єктів будівництва, здаваних в експлуатацію;
- видавати замовникам документацію, що підтверджує дотримання (не дотримання) припустимих і контрольних рівнів радіаційних параметрів;
- при необхідності організовувати і проводити дослідження, необхідні для встановлення регіональних контрольних рівнів радіаційних параметрів.

## РОЗДІЛ 9

Для виконання цих функцій лабораторія повинна постійно виконувати великий обсяг підготовчих робіт, які б забезпечували одержання необхідної інформації про радіаційні параметри іонізуючих джерел, використовуваних видах будівельної сировини і матеріалів, будівельної продукції, що виготовляється, земельних ділянок, виділених під будівництво та ін.

Состав відомчої лабораторії радіаційного контролю будівельного виробництва наведений на мал. 9.4.



**Мал. 9.4. Організаційна структура відомчої лабораторії радіаційного контролю будівельного виробництва**

Результати вимірів і розрахунків радіаційних параметрів на окремих етапах циклу будівельного виробництва повинні вводитися на згадку комп'ютера. А також зберігатися в банку вихідних даних з метою використання їх для обґрунтування та установлення контрольних рівнів радіаційних параметрів, загальної оцінки радіаційної якості об'єкта будівництва і при виконанні розділу «Заходи щодо зниження рівня іонізуючих випромінювань природних радіонуклідів» для проєктованих будинків.

### 9.3. Методика виконання для проєктованих будинків розділу «Заходи щодо зниження рівня іонізуючих випромінювань природних радіонуклідів у будівництві»

За результатами досліджень розроблена методика забезпечення радіаційної якості будинків на стадії проєктування, що відповідає сучасним соціально-економічним вимогам НРБУ-97.

Завдання забезпечення рівня радіаційної якості на стадії проєктування об'єкта будівництва, що відповідає міжнародним вимогам системи випускаємої якості, вирішується (мал. 9.5) у наступній послідовності:

1. На основі знання фізико-механічних і радіаційних параметрів ґрунту, що підстилає, на земельній ділянці під будівництво, збережених у банку регіональних вхідних проєктних даних і уточнених у ході проведення інженерно-геологічних робіт, визначається значення швидкості ексхаляції радону із ґрунту:

$$q_{\text{ексх.гр}}, \frac{\text{мБк}}{\text{м}^2 \times \text{с}} = A_{\text{удRa}} \times \eta \times \rho \times \lambda_{\text{oRn}} \times \ell_{\text{диф.гр}}; \quad (9.1)$$

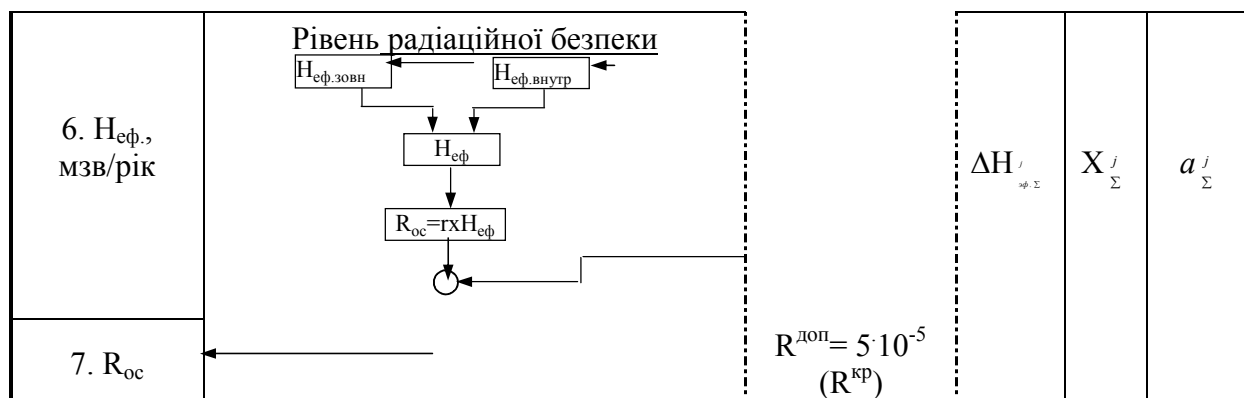
$$q_{\text{ексх.гр}} \leq q_{\text{ексх.гр}}^{\text{дон}}$$

2. Шляхом порівняння реального значення швидкості ексхаляції радону із ґрунту  $q_{\text{ексх.гр}}$  й із установленим регіональним контрольним рівнем  $q_{\text{ексх.гр}}^{\text{РКР}}$  визначається необхідність проведення захисних протирадонових захисних заходів, оцінюваних коефіцієнтом ослаблення  $K_{\text{осл}}$ , щоб виконувалася умова:

$$q_{\text{ексх.гр}}^{\text{зах}} = q_{\text{ексх.гр}} \times (1 - K_{\text{осл.і}}); \quad q_{\text{ексх.гр}}^{\text{зах}} \leq q_{\text{ексх.гр}}^{\text{РКР}}. \quad (9.2)$$

# РОЗДІЛ 9

Вибір захисного заходу ( $K_{осл}$ ) по зменшенню і-го $u_i = u_i \cdot X(K_{осл})$	Банк даних про іонізуючі джерела будівельного виробництва, конструкцій будинку	Нормативні рівні регламентованих параметрів	Обумовлені соціально-економічні показники		
			$\Delta H^j$ , мЗв/р ік	$X^j$ , грн	$a^j$ , грн/ч олхЗ в
1. $q_{екс.гр}$ , мБк/м <sup>2</sup> хс	<p style="text-align: center;"><u>Іонізуючі джерела</u></p>	$q_{екс.гр}^{доп} = 25$ мБк/м <sup>2</sup> хс ( $q_{екс.гр}^{РКР}$ )	$\Delta H_{эф.1}^j$	$X_1^j$	$a_1^j$
2. $q_{екс.ок}$ , мБк/м <sup>2</sup> хс		$q_{екс.ок}^{доп} = 8$ мБк/м <sup>2</sup> хс ( $q_{екс.ок}^{РКР}$ )	$\Delta H_{эф.2}^j$	$X_2^j$	$a_2^j$
3. $A_{эф.си}$ , Бк/кг		$A_{эф.си}^{доп} = 370$ Бк/кг ( $A_{эф.си}^{РКР}$ )	$\Delta H_{эф.3}^j$	$X_3^j$	$a_3^j$
4. ППД <sub>прим</sub> , мкГр/год	<p style="text-align: center;"><u>Параметри в приміщенні</u></p>	$ППД_{прим}^{доп} = 0,26$ мкГр/год ( $ППД_{прим}^{РКР}$ )	$\Delta H_{эф.4}^j$	$X_4^j$	$a_4^j$
5. ЕРОА <sub>прим</sub> , Бк/м <sup>3</sup>		$ЕРОА_{прим}^{доп} = 50$ Бк/м ( $ЕРОА_{прим}^{РКР}$ )	$\Delta H_{эф.5}^j$	$X_5^j$	$a_5^j$



**Мал. 9.5.** Структурна модель забезпечення радіаційної якості на стадії проектування будинку

3. Виходячи із запитів заказчика до конструктивного рішення будинку, вибираються необхідні компоненти видів будівельної сировини на регіональному рівні (з банку вихідних параметрів) для будівельних виробів, що виготовляють, (конструкцій), виходячи з умови:

$$A_{\text{эф.си.і}} \leq A_{\text{эфси}}^{\text{доп}}; q_{\text{ексх.ок}} \leq q_{\text{ексх.ок}}^{\text{доп}}. \quad (9.3)$$

4. Знаючи можливості регіональних нормативно-правових і технологічних груп захисних заходів, оцінюваних коефіцієнтом ослаблення  $K_{\text{осл}}$ , вибираємо необхідні, щоб радіаційні параметри будівельних виробів задовольняли умові достатності:

$$A_{\text{эфсиі}}^{\text{зах}} = A_{\text{эфсиі}} \times (1 - K_{\text{ослі}}); A_{\text{эфсиі}}^{\text{зах}} \leq A_{\text{эфсиі}}^{\text{РКР}}$$

$$q_{\text{ексх.ок}}^{\text{зах}} = q_{\text{ексх.ок}} \times (1 - K_{\text{осл}j}); q_{\text{ексх.ок}i}^{\text{зах}} \leq q_{\text{ексх.ок}}^{\text{РКР}}. \quad (9.4)$$

Примітка: 1. Кожний  $j$ -ий захисний захід повинний відповідати соціальному  $H_{\text{еф}i}^j < H_{\text{еф}}^{\text{доп}} = 1$  мЗв/рік і економічному  $(a^j \times \Delta H_{\text{еф}}^j > X^j)$  показникам. 2. Сукупність реалізованих захисних заходів  $j=1, \dots, m$  повинна відповідати принципу оптимізації  $\sum_{j=1}^m (a^j \times \Delta H_{\text{еф}}^j - X^j) > 0$  (max).

5. Знання величини ефективної питомої активності ПРН в обраних будівельних виробках, використовуваних у якості несучих і конструкцій,

що обгороджують, будинків, дозволяє визначити створювану ними потужність поглиненої дози в приміщеннях проектного будинку  $ППД_{прим}$ , мкГр/год, величина якої однозначно характеризує зовнішню складову ефективної дози опромінення. Розрахункове значення  $ППД_{прим} = f(A_{эф.ок}^{зах} m_{окі})$  повинне задовольняти умові необхідності НРБУ-97:

$$ППД_{прим} \leq ППД_{прим}^{дон} . \quad (9.5)$$

6. Зменшити реальне значення  $ППД_{прим}$  до регіонального контрольного рівня можна реалізацією технічного захисного заходу ( $K_{ослс}$ ), щоб виконувалася умова достатності:

$$\begin{aligned} ППД_{прим}^{зах} &= ППД_{прим} \times (1 - K_{ослс}); \\ ППД_{прим}^{зах} &\leq ППД_{прим}^{РКР}. \end{aligned} \quad (9.6)$$

7. Величина еквівалентної рівноважної об'ємної активності радону в повітрі приміщень будинку  $ЕРОА_{Rn прим}$ , Бк/м<sup>3</sup> =  $f(q_{ексх.зр}, q_{ексх.ок}, \lambda_в)$ , що характеризує потужність внутрішньої складової ефективної дози опромінення, залежить від радононадходження із джерел і повинне задовольняти необхідній радіаційно-гігієнічній умові:

$$ЕРОА_{Rn прим} = f(q_{ексх.зр}^{зах}, q_{ексх.о}^{зах}, \lambda_в) \leq ЕРОА_{Rn прим}^{дон} . \quad (9.7)$$

8. Зменшити  $ЕРОА_{Rn прим}$  до регіонального контрольного рівня  $ЕРОА_{Rn прим}^{РКР}$  можна тільки, збільшивши повітрообмін у приміщенні, щоб виконувалася умова достатності:

$$ЕРОА_{Rn прим}^{зах} \leq ЕРОА_{Rn прим}^{РКР} \quad (9.8)$$

9. Регламентовані радіаційні параметри в приміщеннях будинку ( $ЕРОА_{Rn прим}^{зах}$  та  $ППД_{прим}^{зах}$ ) характеризують і визначають величини внутрішньої:

$$H_{эф.внутр}, \text{ мЗв/рік} = f(q_{ексх.зр}^{зах}, q_{ексх.ок}^{зах}, \lambda_в) \quad (9.9)$$

і зовнішньої

$$H_{\text{эф.зовн.}}, \text{ мЗв/рік} = f(A_{\text{эф.ок}}^{\text{зах}}) . \quad (9.10)$$

складової сумарної ефективної дози опромінення  $H_{\text{эф.}\Sigma}$ , мЗв/рік =  $H_{\text{эф.внутр}} + H_{\text{эф.зовн.}}$ . Показник рівня радіаційної якості об'єкта будівництва – ризик  $R_{\text{ос}}$  не повинен перевищувати припустимого рівня  $5 \cdot 10^{-5}$ , встановленого НРБУ-97 для населення:

$$R_{\text{ос}} = r \times H_{\text{эф}\Sigma} ; R_{\text{ос}} \leq R_{\text{ос}}^{\text{дон}} , \quad (9.11)$$

де  $r=7,3 \cdot 10^{-2}$  – коефіцієнт радіаційного ризику, Зв<sup>-1</sup>;  
 $H_{\text{эф}\Sigma}$  – сумарна ефективна річна доза, Зв.

10. Якщо рівень радіаційної безпеки проектного об'єкта будівництва  $R_{\text{ос}}$  задовольняє умові необхідності (форм. 9.11), але більше встановленого регіонального контрольного рівня, то необхідне проведення додаткових захисних заходів, оцінюваних коефіцієнтом  $K_{\text{осл.рез}}$ , для виконання умови:

$$R_{\text{ос}}^{\text{зах}} = R_{\text{ос}} \times (1 - K_{\text{осл.рез}}) \leq R_{\text{ос}}^{\text{ПКР}} . \quad (9.12)$$

Розглянутий алгоритм закладки радіаційної якості в кінцеву продукцію будівельного виробництва – радіаційний фон в приміщеннях будинку на стадії його проектування забезпечує виконання функції забезпечення, керування і підвищення рівня радіаційної якості, використовуючи повною мірою можливості вибору захисних заходів з урахуванням їх показників ефективності ( $\Delta H_{\text{эф}}^j$ , чол<sup>x</sup>Зв) і вартості  $X_i^j$ , грн.

Соціально-економічна доцільність застосування  $j$ -го захисного заходу щодо зменшення  $i$ -го параметра

$$u_i^j = u_i \times (1 - K_{осли}^j). \quad (9.13)$$

заснована на дотриманні принципів НРБУ-97:  
доцільності

$$(a_i^j \times \Delta H_{efi}^j) > X^j, \quad (9.14)$$

не перевищення

$$H_{ef}^j < H_{ef}^{don}, \quad (9.15)$$

оптимізації

$$\sum_{j=1}^m (a_i^j \times H_{efi}^j - X_i^j) > 0(\max), \quad (9.16)$$

де:  $\Delta H_{efi}^j = H_{ef}^j - H_{efi}^j$  – відвернена ефективна доза опромінення від і-го іонізуючого джерела за рахунок реалізації  $j$ -го захисного заходу;

$a_i^j$  – грошовий еквівалент перекладу величин відверненої ефективної дози опромінення  $\Delta H_{efi}^j$ , чол<sup>x</sup>Зв, при реалізації  $j$ -го захисного заходу у вартість, грн/чол<sup>x</sup>Зв

Величина грошового еквівалента  $a_i^j$ , грн/чол<sup>x</sup>Зв, кожного реалізованого  $j$ -го захисного заходу визначається на основі знання  $\Delta H_{efi}^j$  й  $X^j$ .

При цьому рівень кожного регламентованого радіаційного параметра не повинен перевищувати значення регіонального контрольного рівня, що відбиває вже досягнутий регіональний рівень радіаційної якості продукції:

$$u_i^j \leq u_i^{pkp}. \quad (9.17)$$



#### 9.4. Організаційно-технологічне забезпечення рівня радіаційної якості, закладеного при проектуванні будинку

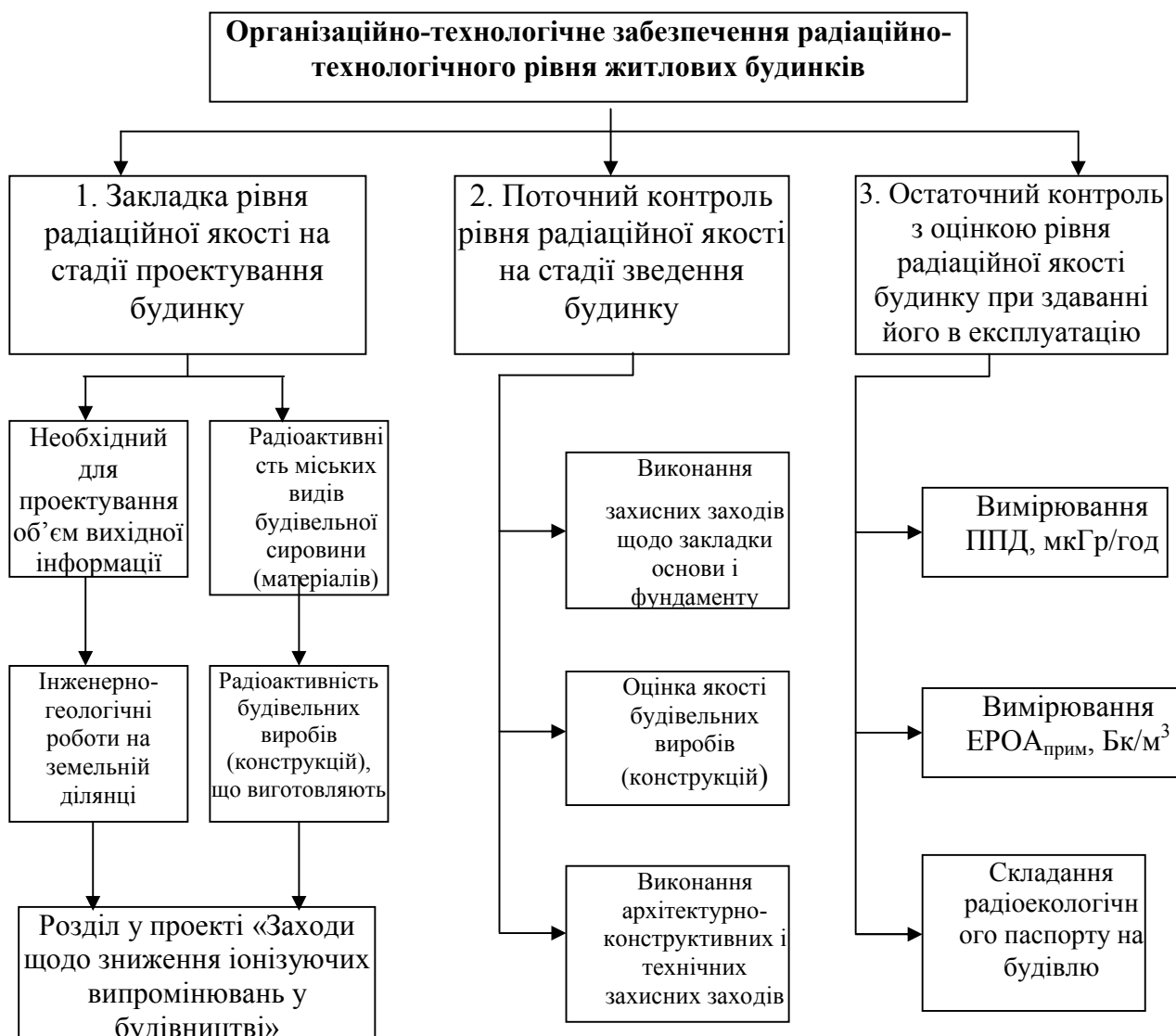
Для досягнення потенційного-можливого рівня радіаційної якості житлового будинку, що закладається при проектуванні, необхідно організаційно-технологічне забезпечення його на всіх етапах будівельного виробництва (мал. 9.6.).

Рівень радіаційної безпеки об'єкта будівництва  $R_{oc} = 7,3 \cdot 10^{-2} \times H_{ef\Sigma}$  не повинен перевищувати припустимого рівня  $5 \cdot 10^{-5}$ , встановленого НРБУ-97 для населення.

Послідовність організаційно-технологічного забезпечення СРКБВ робіт зі зниження рівня іонізуючих впливів радіонуклідів на кожному етапі життєвого циклу будівельного виробництва включає: закладку рівня радіаційної якості на стадії проектування будинку; поточного контролю радіаційної якості на стадії зведення будинку, остаточний контроль з оцінкою рівня радіаційної якості будинку при здачі його в експлуатацію.

1. Закладка рівня радіаційної якості на стадії проектування будинку включає:

- вивчення проекту будинку (призначення будинку, його архітектурно-планувальні й конструктивні рішення, необхідні види будівельних матеріалів і підприємства їхньої поставки);
- вивчення геологічних структур гірських порід на території земельної ділянки, відведеної під будівництво будинку та ін.



**Мал. 9.6. Організаційно-технологічне забезпечення закладки рівня радіаційної якості на стадіях життєвого циклу зведення будинку**

На основі отриманих даних про необхідні будівельні матеріали і геологічну структуру ґрунту на ділянці під будівництво виконується експрес-визначення як радіаційних параметрів іонізуючих джерел проєктованого будинку ( $A_{\text{эф}}$ , Бк/кг, і  $q_{\text{ексх.гр(бв)}}$ , Бк/м<sup>2</sup>·с), так і створюваних ними радіаційно-гігієнічних параметрів у приміщеннях проєктованого будинку ( $\text{ППД}_{\text{прим}}$ , мкГр/год, і  $\text{ЕРОА}_{\text{прим}}$ , Бк/м<sup>3</sup>) з оцінкою їх на відповідність вимогам НРБУ-97.

Уточнення величин радіаційних параметрів будівельного виробництва виробляється в процесі:

- виконання обов'язкових інженерно-геологічних робіт на земельній ділянці, відведеній під будівництво даного будинку. За отриманими даними про геологічну структуру гірських порід, їх фізико-механічних і радіаційних параметрах уточнюється величина швидкості ексхаляції радону із ґрунту на досліджуваній земельній ділянці, виконується вимір даного параметра за допомогою радіометрів і накопичувальних камер;
- безпосередніх вимірів радіаційних параметрів будівельних (виробів, конструкцій), що поставляють підприємствами виготовлювачами ( $A_{\text{ef.бв}}$ ,  $Q_{\text{ексх.бв}}$ ).

За уточненими значеннями радіаційних параметрів іонізуючих джерел для проектуваного будинку виконується розділ «Заходи щодо зниження рівня іонізуючих джерел природних радіонуклідів», що направляє на експертизу в органи Державного санепіднагляду. Зміст розділу повинен відповідати вимогам діючих норм проектування і радіаційної безпеки.

## 2. Поточний контроль рівня радіаційної якості на стадії зведення будинку передбачає:

- оцінку якості будівельних виробів, що поставляють, конструкцій;
- виконання протирадонових захисних заходів при закладці основи і фундаменту будинку;
- виконання передбачених у проекті захисних заходів у ході будівельно-монтажних і опоряджувальних робіт шляхом контролю;
- виконання проектно-конструктивних захисних заходів в обсязі, передбачених проектом;
- оцінку якості герметизації уведень комунальних мереж у будинки;
- оцінку якості герметизації конструкцій, що обгороджують, і ґрунту, що підстилає, підвальних (підпільних) приміщень будинку;

- експрес оцінку показника природної (механічної) вентиляції у підвалах (підпільному просторі) і в приміщеннях будинку;
- якості виконання окремих робіт зі зменшення радононадходження з конструкцій, що обгороджують, у повітря приміщень будинку та ін.

### 3. Остаточний з оцінкою рівня радіаційної якості будинку контроль при здачі його в експлуатацію

Кожна будівельна організація (фірма), що споруджує, капітально ремонтує, реконструює і передає (продає) замовникові (споживачеві), закінчений об'єкт, зобов'язана провести остаточний радіаційний контроль об'єкта, що включає:

- радіаційний контроль рівнів потужності поглиненої дози гама-випромінювання у всіх приміщеннях будинку, що може проводитися до завершення опоряджувальних робіт, виходячи з радіаційної якості оздоблювальних матеріалів і конкретних фактичних величин радіаційних параметрів на даному об'єкті вимірюваних, за допомогою дозиметрів;
- контроль середньорічної еквівалентної рівноважної об'ємної активності радону і його ДПР у повітрі приміщень першого поверху будинку виконують у процесі здачі об'єкта в експлуатацію, вимірювальні прилади встановлюються не менш чим у двох окремих приміщеннях будинку на кожному 200 м<sup>2</sup> загальній площі поверху.

Результати вимірів радіаційно-гігієнічних параметрів у приміщеннях будинку оформляються за встановленою формою і типовими документами, передбачених ДБН В.1.4-0.01-97.

У табл. 9.2. наведені організаційно-технологічні складові системи забезпечення рівня радіаційної якості, закладеного в проєктований будинок, на окремих етапах виробництва.

Таблиця 9.2

**Організаційно-технологічні складові забезпечення  
радіаційної якості житлових будинків**

Складові забезпечення радіаційного контролю	Етапи будівельного виробництва			
	1. Видобуток сировини (матеріалів)	2. Виготовлення виробів (конструкцій)	3. Зведення будинку	
			3б. Монтажні і опоряджувальні роботи при зведенні	3а. Роботи із закладки основи фундаменту будинку
<b>Керована система забезпечення радіаційної якості будинку</b>				
Організаційна	- методика виміру $A_{\text{еф.}}$ , Бк/кг; - пости радіаційного контролю, групи вимірів $A_{\text{еф.}}$ ЛРК	- методика виміру $A_{\text{еф.}}$ , Бк/кг й $q_{\text{ексх.}}$ , мБк/м <sup>2</sup> хс; - групи вимірів $A_{\text{еф.}}$ АПР ЛРК	- методику виміру ППД <sub>прим</sub> , мкГр/год, ЕРОА <sub>прим</sub> , Бк/м <sup>3</sup> ; - групи ЕРОА, ППД, АПР ЛРК	- методика виміру $q_{\text{ексх.}}$ , мБк/м <sup>2</sup> хс; - відомчі ЛРК
Технологічна	$A_{\text{еф. cci}}^{\min} \div A_{\text{еф. cci}}^{\max}$ ↓ $A_{\text{еф. cci}}^{\text{РКР}}$ ; - нормативно-правова група ЗМ; - радіометри гамма-спектрометри	$A_{\text{еф. cuj}}^{\min} \div A_{\text{еф. cuj}}^{\max}$ ↓ $A_{\text{еф. cuj}}^{\text{РКР}}$ ; ↓ $q_{\text{ексх.оkj}}^{\min} \div q_{\text{ексх.оkj}}^{\max}$ ↓ $q_{\text{ексх.оkj}}^{\text{РКР}}$ ; - нормативно-правова група ЗМ; - радіометри гамма-спектрометра	$\text{ППД}_{\text{прим}}^{\min} \div \text{ППД}_{\text{прим}}^{\max}$ ↓ $\text{ПМПД}_{\text{прим}}^{\text{РКР}}$ ↓ $\text{ЕРОА}_{\text{прим}}^{\min} \div \text{ЕРОА}_{\text{прим}}^{\max}$ ↓ $\text{ЕРОА}_{\text{прим}}^{\text{РКР}}$ ; - архітектурно-конструктивна й технологічна групи ЗМ; - дозиметри, радонометри	$q_{\text{ексх.гр}}^{\min} \div q_{\text{ексх.гр}}^{\max}$ ↓ $q_{\text{ексх.гр}}^{\text{РКР}}$ ; - технічна група ЗМ; - радіометри і накопичувальні колонки

Алгоритм функціонування організаційно-технологічного забезпечення закладеного при проектуванні радіаційної якості житла, наведений у табл. 9.3.

Своєчасна закладка ефективних захисних заходів у структуру проєктованого будинку з урахуванням комплексної оцінки радіаційної небезпеки іонізуючих джерел виробництва дозволяє забезпечити рівень

радіаційної якості житлових будинків, що відповідає соціально-економічним вимогам НРБУ-97.

Вхідний радіаційний контроль (ВРК) охоплює етап видобутку сировини (матеріалів) і виконується силами постів радіаційного контролю підприємств і групою контролю  $A_{\text{еф.бс}}$  ВЛРК I рангу з установлення регіональних контрольних рівнів їхніх параметрів  $A_{\text{еф.сс}}^{PKP}$ , Бк/кг.

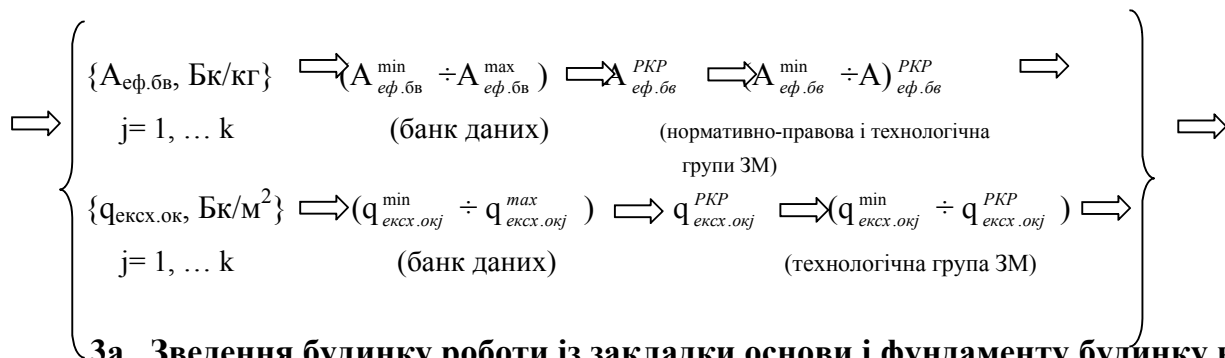
Таблиця 9.3

**Функціонування організаційно-технологічного забезпечення радіаційної якості будівельного виробництва**

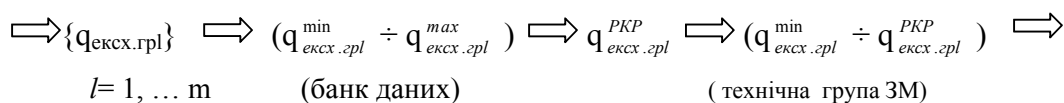
**1. Етап видобутку будівельної сировини (матеріалів)**



**2. Етап виготовлення будівельних виробів (конструкцій)**



**3а. Зведення будинку роботи із закладки основи і фундаменту будинку на земельній ділянці для будівництва**



**3б. Будівельно-монтажні і опоряджувальні роботи при зведенні будинку**



Організаційною структурою остаточного радіаційного контролю об'єкта (ОРКО) є відомча лабораторія радіаційного контролю I рангу (ВАРК Ір), що вже на стадії проектування будинку повинна мати необхідну апріорну інформацію про регіональні іонізуючі джерела, комплекс захисних заходів і конструкцій майбутнього будинку, на базі яких проектна організація виконує розділ «Заходи щодо зниження рівня іонізуючих випромінювань радіонуклідів будівельного виробництва».

Замовник одержує:

- розділ «Заходи щодо зниження рівня іонізуючих випромінювань радіонуклідів у будівництві», експертну оцінку якого дає СЕС міста;
- акти перевірки ППД<sub>прим</sub> й ЕРОА<sub>Рлприм</sub> у приміщеннях будинку, які затверджені СЕС міста і служить базою для радіоекологічного паспорта на будинок.

### 9.5. Контрольні питання

1. Які вихідні дані необхідні для виконання розділу «Заходи щодо зниження рівня іонізуючих випромінювань ПРН» при проектуванні будинку?

2. Чим можна пояснити найбільшу доцільність й ефективність закладки рівня радіаційної якості на стадії проектування будинку?

3. Як прийнято оцінювати розрахункові моделі визначення регламентованих радіаційних параметрів будівельного виробництва?

4. Які завдання вирішує організаційно-технологічне забезпечення рівня радіаційної якості житлових будинків?

### Висновок

В основу підвищення радіаційної якості житлових будинків покладені шляхи зменшення впливу іонізуючих випромінювань природних радіонуклідів у приміщеннях будинку на основі керованої організаційно-технологічної системи радіаційного контролю на всіх етапах життєвого циклу будівельного виробництва.

Для цього визначене коло організаційно-технологічних завдань, що підлягають рішенню на кожному етапі будівельного виробництва, для забезпечення керування рівнем радіаційної якості продукції, а саме:

- розробка структурної моделі будівельного виробництва, що описує процес формування радіаційного фону в приміщеннях будинку під впливом іонізуючих джерел на окремих етапах виробництва;
- вибір цільової функції розв'язуваного завдання, виходячи із принципів КРЗЗ і визначення необхідних керуючих її змінних, які дозволять регулювати соціально-економічні показники системи;
- забезпечення такого сполучення керуючих змінних (захисних заходів) при заданих параметрах іонізуючих джерел виробництва, що відповідає принципу оптимізації радіаційного захисту людини.

Одержуваний при цьому рівень інформації про іонізуючі джерела будівельного виробництва забезпечує прогностичність і контрольованість (керованість) рівнем радіаційної якості будинку на стадії проектування, що дозволяє розглядати радіоактивність будівельних матеріалів як фізичну властивість, яка підлягає контролю, поряд з іншими показниками якості будівельної продукції.

Для реалізації в житті принципів НРБУ-97 по забезпеченню радіаційної якості житлових будинків необхідно забезпечити:

- неухильне виконання всіма будівельними організаціями вимог нормативних документів по організації і веденню радіаційного контролю на кожному з етапів будівельного виробництва;
- розробку і виробництво технічних засобів для ведення радіаційного контролю, які б задовольняли вимогам по чутливості, точності, надійності, були прості в експлуатації та по можливості мали меншу вартість (у першу чергу це



стосується приладів для виміру питомої активності ПРН у будматеріалах і концентрації ізотопів радону і їхніх дочірніх продуктів у повітрі приміщень);

- підготовку фахівців всіх рівнів для ведення радіаційного контролю;
- видання підручників, навчальних і наочних приладів;
- підвищити рівень доведення інформації до населення по стану даного питання в регіоні (країні) та ін.

### Додаток 1

Основні положення законодавчих і нормативно-правових актів по забезпеченню радіаційної безпеки будівельного виробництва в

Україні

1. Закон України «Про захист людини від впливу іонізуючих випромінювань» Київ: ВР № 15/98 14.01.1998р.

**Стаття 1.** Визначення основних термінів.

У дійсному Законі наведені нижче терміни вживаються в наступному значенні:

втручання - будь-яка дія, спрямована на зменшення опромінення або запобігання йому, або можливості опромінення людини від джерел, що не ставляться до сфери контрольованої практичної діяльності або вийшли з-під контролю;

ефективна доза опромінення - розрахункова доза опромінення людини, що враховує внески ефектів опромінення різних органів і тканин людини на стан його здоров'я в цілому;

критична група людей - однорідна за умовами життя, віку і полу група, що може одержати максимальні ефективні дози опромінення по певному шляху опромінення внаслідок практичної діяльності;

опромінення - вплив на людину іонізуючого випромінювання, що може бути зовнішнім опроміненням внаслідок практичної діяльності від джерел іонізуючого випромінювання поза тілом людини або внутрішнім опроміненням від джерел іонізуючого випромінювання, які перебувають усередині тіла людини;

опромінення населення - опромінення, якому піддається (піддалася) людина від ядерних установок і джерел іонізуючого випромінювання, за винятком професійного і медичного опромінення і опромінення, обумовленого місцевим природним радіаційним фоном;

опромінення професійне - опромінення персоналу в процесі його роботи;

основна дозова границя опромінення - максимально припустимий рівень індивідуальної ефективної дози опромінення людини, встановлена дійсним Законом, перевищення якого вимагає застосування мір захисту людини;

практична діяльність - діяльність людини, під час здійснення якої вводяться додаткові джерела випромінювання, або додаткові шляхи опромінення, або збільшується число людей, що підпадають під вплив

опромінення, внаслідок якої збільшуються величини опромінення, його ймовірність або число опромінених людей;

природний радіаційний фоноопромінення, обумовлене космічним випромінюванням і випромінюванням природних радіонуклідів, природно розподілених у землі, воді, повітрі і інших елементах біосфери;

рівень втручання - очікувана розрахункова величина дози опромінення людини, що обумовлює необхідність обов'язкового вживання заходів по захисту людини від впливу іонізуючих випромінювань.

**Стаття 9.** Повноваження Кабінетів Міністра України, міністерств, інших центральних органів виконавчої влади по забезпеченню захисту людини від впливу іонізуючих випромінювань.

До повноважень Кабінету Міністрів України, міністерств і інших органів виконавчої влади по забезпеченню захисту людини від впливу іонізуючих випромінювань ставляться:

розробка і введення стандартів, норм і правил, виконання яких забезпечує не перевищення основних дозових меж опромінення людини і безпечне здійснення практичної діяльності;

здійснення методичного керівництва діяльністю державної системи обліку і контролю індивідуальних доз опромінення персоналу, експертних оцінок її повноти і достатності, а також проведення аналізів і оцінок стану дозових навантажень населення та персоналу;

організація й здійснення нагляду за виконанням мер по захисту людини від впливу іонізуючих випромінювань на відповідних територіях місцевими органами виконавчої влади;

здійснення державного контролю за безпечним веденням практичної діяльності;

здійснення міжнародного співробітництва в сфері захисту людини від впливу іонізуючих випромінювань.

**Стаття 10.** Повноваження місцевих органів виконавчої влади по забезпеченню захисту людини від впливу іонізуючих випромінювань.

До повноважень місцевих органів виконавчої влади по забезпеченню захисту людини від впливу іонізуючих випромінювань ставляться:

прийняття відповідно до законодавства України рішень про застосування на відповідній території заходів втручання у випадку радіаційних аварій;

організація проведення у встановленому порядку щорічних обстежень із метою оцінки стану захисту людини від впливу іонізуючих випромінювань і ведення екологічного паспорта території;

здійснення організаційного керівництва системою обліку і контролю доз опромінення населення на відповідній території;

організація контролю за виконанням мір по захисту від впливу, що втримуються в будівельних матеріалах;

узгодження планів мір по захисту населення від радіаційних аварій і їхніх наслідків;

забезпечення постійної готовності засобів оповіщення населення відповідної території про виникнення радіаційної аварії;

організація контролю за виконанням мір по захисту населення від радіаційних аварій і їхніх наслідків;

забезпечення населення, у місцях його проживання, інформацією відносно рівнів опромінення людини і мір захисту від впливу іонізуючих випромінювань, що виконуються на відповідній території;

розробка і впровадження регіональних програм захисту людини від впливу іонізуючих випромінювань.

**Стаття 11.** Оцінка стану захисту людини від впливу іонізуючих випромінювань.

Оцінка стану захисту людини від впливу іонізуючих випромінювань здійснюється з метою планування і проведення заходів захисту людини від впливу іонізуючих випромінювань і аналізу ефективності цих мір місцевими органами виконавчої влади.

Оцінка стану захисту людини від впливу іонізуючих випромінювань проводиться відповідно до наступних основних показників:

характеристика радіоактивного забруднення навколишнього середовища;

імовірність радіаційних аварій, їхній розмір і можливий вплив на людину;

ступінь готовності до ефективної ліквідації радіаційних аварій і їхніх наслідків;

аналіз доз опромінення окремих груп населення від всіх джерел іонізуючого випромінювання;

число осіб, які були підлягають опроміненню вище припустимих дозових меж;

аналіз забезпечення мір захисту людини від впливу іонізуючих випромінювань і дотримання стандартів, норм і правил у цій сфері на відповідній території.

Результати оцінки щорічно заносяться в екологічний паспорт території.

Форма і порядок ведення екологічного паспорта території затверджуються у встановленому законодавством порядку.

**Стаття 15.** Забезпечення захисту людини від впливу радіонуклідів, що втримуються в будівельних матеріалах.

1. Вибором земельних ділянок для будівництва будинків і споруджень із урахуванням рівня виділення радону із землі і рівня гама-випромінювання;
2. Проектуванням і будівництвом будинків і споруджень із урахуванням захисту від надходження радону в повітря цих будинків і споруджень;
3. Веденням виробничого контролю за вмістом радіонуклідів, що втримуються в будівельних матеріалах, прийняттям споруджень в експлуатацію з урахуванням рівня вмісту радону у повітрі цих будинків, споруджень і рівня гама-випромінювання;
4. Експлуатацією будинків і споруджень із урахуванням рівня вмісту в них радону і рівня гама-випромінювання;
5. Зміною характеру використання будинків і споруджень, якщо реальні дози опромінення людини перевищують затверджені в встановленому порядку нормативи;
6. Заборонаю застосування будівельних матеріалів і виробів з них, що не відповідають вимогам захисту людини від впливу іонізуючих випромінювань.

**Стаття 16.** Забезпечення захисту людини від впливу радіонуклідів, що втримуються в продуктах живлення, продовольчій сировині і питній воді.

Вміст радіонуклідів у продуктах живлення, продовольчій сировині і питній воді не може перевищувати затверджених у встановленому порядку норм.

Продукти живлення, продовольча сировина і питна вода, а також супутні матеріали, що контактують із ними під час виробництва, зберігання, транспортування і реалізації, підлягають сертифікації в порядку, установленому законодавством України.

**Стаття 17.** Забезпечення захисту людини під час лікування і здійснення медичної діагностики.

Використання в медичній практиці будь-яких джерел іонізуючого випромінювання повинно здійснюватися з обов'язковим застосуванням засобів індивідуального захисту і контролю доз опромінення пацієнтів.

Дози опромінення пацієнтів під час лікування і проведення медичної діагностики повинні бути настільки низькими, наскільки це можливо для діагностичних або лікувальних цілей і не перевищувати затверджених у встановленому порядку норм.

Доза опромінення, отримана пацієнтом при медичному втручанні, повинна реєструватися, а інформація щодо дози опромінення повинна зберігатися в архіві медичних установ протягом 50 років, а після закінчення зазначеного строку передаватися в Національний архівний фонд.

Пацієнтові надається на його вимогу повна інформація про очікуваній або отриманій їм дозі опромінення і про можливі її наслідки.

Пацієнт має право відмовитися від медичного втручання, пов'язаного з його опроміненням, за винятком коли таке втручання пов'язане з виявленням небезпечних інфекційних захворювань.

**Стаття 19.** Компенсація за перевищення річної основної дозової границі опромінення.

Компенсація за перевищення річної основної дозової границі опромінення надається особам, які проживають або тимчасово перебувають на території України, у випадках:

опромінення, обумовленого впливом практичної діяльності;

у випадку помилкового або неправомірного опромінення пацієнтів при медичному втручанні;

внаслідок змушеного споживання забруднених радіонуклідами продуктів живлення і питної води;

внаслідок небезпечних умов проживання, роботи і опромінення.

Компенсація за перевищення річної основної дозової границі опромінення встановлюється в розмірі 1,2 не оподаткованого податком мінімуму доходів громадян за кожен милізиверт перевищення встановленого дійсним Законом припустимої границі опромінення.

Підставою для виплати компенсації особам за перевищення річної основної дозової границі опромінення є зафіксований районним (міським) дозовим реєстром опромінення факт перевищення річного основного дозового опромінення не по власній провині особи.

Порядок надання компенсації за перевищення річної основної дозової границі опромінення встановлюється Кабінетом Міністрів України.

#### **Стаття 20.** Відшкодування збитку.

Відшкодуванню підлягає збиток, заподіяний внаслідок впливу іонізуючих випромінювань життя і здоров'ю людей, а також майну фізичних осіб.

У випадку смерті особи, що наступила внаслідок впливу іонізуючих випромінювань, право на відшкодування збитку мають особи, що перебували на утриманні померлі або мали на день його смерті право на одержання від нього коштів, на отримання від нього коштів на утримання, а також дитина померлого, народжена після його смерті.

Підставою для відшкодування збитку, заподіяного впливом іонізуючих випромінювань, є встановлення факту заподіяння такого збитку відповідно до законодавства України.

## ДОДАТОК 2

### НОРМАМИ РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ (НРБУ-97)

#### 1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

1.1 НРБУ-97 є основним державним документом, що встановлює систему радіаційно-гігієнічних регламентів для забезпечення прийнятних рівнів опромінення як для окремої людини, так і суспільства взагалі.

1.2 Метою НРБУ-97 є визначення основних вимог до:

- охорони здоров'я людини від можливої шкоди, що пов'язана з опроміненням від джерел іонізуючого випромінювання;
- безпечної експлуатації джерел іонізуючого випромінювання;
- охорони навколишнього середовища.

1.3 Зазначена в п. 1.2 позначка НРБУ-97 досягається шляхом введення гігієнічних регламентів, які забезпечують:

- запобігання виникнення детерміністичних ефектів в осіб, що зазнали опромінення;
- обмеження на прийнятному рівні імовірності виникнення стохастичних ефектів.

1.4 НРБУ-97 встановлює два принципово відмінні підходи до забезпечення протирадіаційного захисту.

- при всіх видах практичної діяльності в умовах нормальної експлуатації індустріальних та медичних джерел іонізуючого випромінювання;

- при втручанні, що пов'язано з опромінюванням населення в умовах аварійного опромінення, а також при хронічному опромінюванні за рахунок техногенно-підсилених джерел природного походження.

1.5 Практична діяльність - діяльність людини, що пов'язана з використанням джерел іонізуючого випромінювання та спрямована на досягнення матеріальної чи іншої користі, яка призводить чи може призвести до контрольованого та передбачуваного наперед:

- деякого збільшення дози опромінення;
- та/або створення додаткових шляхів опромінення;
- та/або збільшення кількості людей, які зазнають опромінення;
- та/або зміни структури шляхів опромінення від усіх, пов'язаних з цією діяльністю джерел.



При цьому може збільшуватися доза, імовірність опромінення, або кількість людей, які опромінюються.

1.6 До практичної діяльності відносяться :

- виробництво джерел випромінювання;
- використання джерел випромінювання та радіоактивних речовин у медицині, дослідженнях, промисловості, сільському господарстві, освіті, тощо;
- виробництво ядерної енергії, включаючи всі елементи паливно-енергетичного циклу;
- зберігання та транспортування джерел іонізуючого випромінювання;
- поводження з радіоактивними відходами.

1.7 Радіаційна безпека та протирадіаційний захист стосовно практичної діяльності будуються з використанням наступних основних принципів:

- будь-яка практична діяльність, що супроводжується опроміненням людей, не повинна здійснюватися, якщо вона не приносить більшої користі опроміненним особам або суспільству в цілому в порівнянні зі шкодою, яку вона завдає (принцип виправданості);
- рівні опромінення від усіх значимих видів практичної діяльності не повинні перевищувати встановлені ліміти доз (принцип не перевищення);
- рівні індивідуальних доз та/або кількість опромінюваних осіб по відношенню до шкірного джерела випромінювання повинні бути настільки низькими, наскільки це може бути досягнуто з врахуванням економічних та соціальних факторів (принцип оптимізації).

1.8 Враховуючи особливості розподілу шкоди та користі при медичному опроміненні (пацієнт завжди особисто отримує одночасно і користь, і шкоду від опромінення, тоді як в інших сферах практичної діяльності це не завжди виконується), основні вимоги до обмеження опромінення в цих ситуаціях розглядаються окремим розділом даного документу.

1.9 Втручання - такий вид людської діяльності, що завжди спрямований на зниження та відвернення неконтрольованого та непередбачуваного опромінення або

імовірності опромінення в ситуаціях:

- аварійного опромінення (гострого, короткочасного або хронічного);
- хронічного опромінення від техногенно-підсилених джерел природного походження;
- інших ситуаціях тимчасового опромінення, визначених регулюючим органом, як таких, що вимагають втручання.

1.10 Радіаційна безпека та протирадіаційний захист у ситуаціях втручань будуються на наступних основних принципах:

- будь-який контрзахід повинний бути виправданим, тобто отримана користь (для суспільства та особи) від відвернутої цим контрзаходом дози повинна бути більша, ніж сумарний збиток (медичний, економічний, соціально-психологічний тощо) від втручання, пов'язаного з його проведенням (принцип виправданості);

- повинні бути застосовані всі можливі заходи для обмеження індивідуальних доз опромінення на рівні, нижчому за поріг детерміністичних радіаційних ефектів, особливо порогів гострих клінічних радіаційних проявів (принцип не перевищення);

- форма втручання (контрзахід або комбінація декількох контрзаходів), його масштаби та тривалість повинні вибиратися таким чином, щоб різниця між сумарною користю та сумарним збитком була не тільки додатковою, але і максимальною (принцип оптимізації).

1.11 НРБУ-97 не поширюються на:

- опромінення від природного радіаційного фону;
- опромінення в умовах повного звільнення практичної діяльності (джерел іонізуючого випромінювання) від регулювання.

## 2. ПРАВОВИЙ СТАТУС

2.1 НРБУ-97 є обов'язковими для виконання всіма юридичними та фізичними особами, які проводять практичну діяльність з джерелами іонізуючого випромінювання.

2.2 Контроль за виконанням НРБУ-97 покладається на державні регулюючі органи - Державну санітарно-епідеміологічну службу Міністерства охорони здоров'я України відносно виконання гігієнічних регламентів, передбачених НРБУ-97, та Міністерство охорони навколишнього природного середовища та ядерної безпеки України, відносно проведення технічних та організаційних заходів для забезпечення радіаційної безпеки об'єкту (джерела), на які

поширюються НРБУ-97.

2.3 Відповідальність за виконання НРБУ-97 покладається на:

- фізичні та юридичні особи, незалежно від форм власності та підпорядкованості які виробляють, переробляють, застосовують, зберігають, транспортують, здійснюють поховання, знищення чи утилізацію джерел іонізуючого випромінювання, а також проектують роботи з ними,
- керівників та посадових осіб органів Державної виконавчої влади і організацій, які планують та реалізують контрзаходи в частині Норм, що стосується обмеження опромінення при радіаційних аваріях та опромінення від техногенно-підсилених джерел природного походження.

2.4 Особи, які допустили протиправні дії з джерелами іонізуючих випромінювань, чи не планують або не реалізують контрзаходи по зменшенню рівнів опромінення до регламентованих НРБУ-97 величин, притягуються до відповідальності відповідно до чинного законодавства України.

2.5 З моменту офіційного опублікування Норм радіаційної безпеки України, дія НРБ-76/87 відміняється .

2.6 Будь-які діючі відомчі та галузеві норми, правила, інструкції та інші нормативно-правові акти, які прямо або опосередковано пов'язані з протирадіаційним захистом людини повинні бути приведені у відповідність до вимог НРБУ-97 у рядка, узгоджені з органами Державного санітарно-епідеміологічного нагляду, а ті, що створюються - не повинні їм суперечити.

### **3. ОСНОВНІ РЕГЛАМЕНТОВАНІ ВЕЛИЧИНИ НРБУ-97**

3.1 НРБУ-97 поширюються на ситуації опромінення людини джерелами іонізуючого випромінювання в умовах:

- нормальної експлуатації індустриальних джерел іонізуючого випромінювання;
- медичної практики;
- радіаційних аварій;
- опромінення техногенно-підсиленими джерелами природного походження.

3.2 НРБУ-97 включають чотири групи радіаційно-гігієнічних регламентованих величин:

## ДОДАТОК 2

---

Перша група - регламенти для контролю за практичною діяльністю, метою яких є додержання опромінення персоналу та населення на прийнятному для індивідуума та суспільства рівні, а також підтримання радіаційно-прийнятного стану навколишнього середовища та технологій радіаційно-ядерних об'єктів як з позицій обмеження опромінення персоналу та населення, так і з позицій зниження імовірності виникнення аварій на них. До цієї групи входять:

- ліміти доз;
- похідні рівні;
- допустимі рівні;
- контрольні рівні.

Друга група - регламенти, що мають за позначку обмеження опромінення людини від медичних джерел. До цієї групи входять:

- рекомендовані рівні.

Третя група - регламенти щодо відвернутої внаслідок втручання дози опромінення населення в умовах радіаційної аварії. До цієї групи входять:

- рівні втручання;
- рівні дії.

Четверта група - регламенти щодо відвернутої внаслідок втручання дози опромінення населення від техногенно-підсилених джерел природного походження.

До цієї групи входять:

- рівні втручання;
- рівні дії.

3.3 Нормами радіаційної безпеки встановлюються такі категорії осіб які зазнають опромінювання :

Категорія А (персонал) - особи, які постійно чи тимчасово працюють безпосередньо з джерелами іонізуючих випромінювань.

Категорія Б (персонал) - особи, які безпосередньо не зайняті роботою з джерелами іонізуючих випромінювань, але у зв'язку з розташуванням робочих місць у приміщеннях та на промислових майданчиках об'єктів з радіаційно-ядерними технологіями можуть отримувати додаткове опромінення.

Категорія В - всі населення .

## 4. РАДІАЦІЙНО-ГІГІЄНИЧНІ РЕГЛАМЕНТИ ЧЕТВЕРТОЇ ГРУПИ

4.1 Регламенти цієї групи спрямовані на зменшення доз хронічного опромінення людини від техногенно-підсилених джерел природного походження.

4.2 Протирадіаційний захист в умовах хронічного опромінення базується на системі заходів (контрзаходів), які завжди є втручанням у життєдіяльність людини чи сферу господарського та соціально-побутового функціонування території.

4.3 Підставою для рішення про доцільність проведення того чи іншого контрзаходу є оцінка та порівняння користі для здоров'я за рахунок відвернутої даним втручанням дози, та шкоди, що може бути заподіяна цим втручанням при реалізації контрзаходу.

4.4 Кількісними критеріями, що забезпечують виконання вимог п. 8.3 є:

- (а) рівні втручання;
- (б) рівні дій.

Рівні втручання виражаються в термінах відвернутої дози, тобто дози, яку передбачається відвернути за годину дії контрзаходу, що пов'язаний з втручанням.

Рівні дій виражаються в термінах таких показників радіаційної ситуації, які можна вимірювати, зокрема:

- ефективної питомої активності ( $A_{e(i)}$ ) природних радіонуклідів у мінеральній сировині та будівельних матеріалах;
- потужності поглиненої в повітрі дози (ППД) гама-випромінювання;
- середньорічної еквівалентної рівноважної об'ємної активності (ЕРОА) ізотопів радону в повітрі приміщень та робочих місцях;
- питомої активності природних радіонуклідів у питній воді;
- питомої активності природних радіонуклідів у мінеральних добривах;
- питомої активності природних радіонуклідів у виробках з порцеляни та глини;
- питомої активності природних радіонуклідів у мінеральних барвниках.

4.5 У випадку, коли перевищується відповідний рівень дій на конкретному об'єкті (джерелі питного водопостачання, будівлі,

сировині чи продукції та ін.), втручання планується на підставі визначення структури та величини всіх складових сумарної дози опромінення від техногенно-підсилених джерел природного походження з подальшою процедурою оптимізації контрзаходу по зменшенню сумарної дози опромінення. Ймовірно можуть траплятися випадки, коли оптимальний контрзахід для зменшення сумарної дози опромінення буде спрямований не на джерело, що перевищує рівень дій, а на інше техногенно-підсилене джерело природного походження.

### 4.6 Рівні дії.

4.6.1 Ефективна питома активність природних радіонуклідів у будівельних матеріалах та мінеральній сировині:

(а) Величина ефективної питомої активності природних радіонуклідів у будівельних матеріалах та мінеральній сировині визначається як зважена сума питомих активностей радію-226 ( $A_{Ra}$ ), торію-232 ( $A_{Th}$ ) і калію-40 ( $A_K$ ) за формулою:

$$A_{\text{еф}} = A_{\text{удRa}} + 1.31 \times A_{\text{удTh}} + 0.085 \times A_{\text{удK}},$$

де 1.31 й 0.085 - зважуючі коефіцієнти для торія-232 і калія-40 відповідно по відношенню до радія-226.

(б) Коли величина  $A_{\text{еф}}$  у будівельних матеріалах та мінеральній сировині нижче або дорівнює  $370 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$ , то вони можуть використовуватись для всіх видів будівництва без обмежень (I клас).

(в) Будівельні матеріали та мінеральна сировина, у яких  $A_{\text{еф}}$ , вище  $370 \text{ Бк/кг}$ , але нижче або дорівнює  $740 \text{ Бк/кг}$  (II клас), можуть бути використані:

- для промислового будівництва;
- для будівництва шляхів.

(г) Будівельні матеріали та мінеральна сировина, у яких перевищує  $740 \text{ Бк/кг}$ , але нижче, або дорівнює  $1350$  (III клас), можуть бути використані наступним чином у межах населених пунктів:

- для будівництва підземних споруд, покритих кулею ґрунту товщиною понад  $0.5 \text{ м}$ , де виключено тривале перебування людей;

- поза межами населених пунктів;
- для будівництва шляхів;
- для спорудження веслувань;
- для спорудження інших об'єктів з малию годиною перебування людей.

(д) Для матеріалів, що мають естетичну цінність величина  $A_{\text{еф}}$  не повинна перевищувати  $3700 \text{ Бк/кг}$ . Використання їх для внутрішнього

та зовнішнього оздоблення об'єктів громадського призначення, за виключенням дитячих закладів, та для зовнішнього оздоблення цокольних частин житлових будинків може бути дозволене на підставі окремих регламентів, затверджених головним державним санітарним лікарем України, або особою, якій надані відповідні повноваження.

(г) Наведені значення  $A_{сф}$  відносяться до усереднених значень у межах покладів корисних копалин, дільниці, відвалу або партії матеріалу, який використовується.

4.6.2 Потужність поглиненої в повітрі дози (ППД) гамма-випромінювання в повітрі будинках та приміщеннях:

(а) Встановлені рівні дій ППД розповсюджуються на гамма-випромінювання, сформоване за рахунок активності природних радіонуклідів, включаючи природний радіаційний фон.

(б) ППД всередині приміщень будівель та споруд, які проектуються, будуються та реконструюються для експлуатації з постійним перебуванням людей<sup>1</sup>, рівень дій становить 4,4 нгр-с-1 (30 мкР/год), включаючи компоненту від природного фонового опромінення.

(в) ППД всередині приміщень будівель та споруд, які експлуатуються з постійним перебуванням людей, рівень дій становить 7,3 нГр/с (50 мкР<sup>x</sup>год<sup>-1</sup>), включаючи компоненту від природного радіаційного фону, за виключенням дитячих, санаторно-курортних та оздоровчолікувальних закладів де рівень дій відповідає п. 4.6. 2.(б)

4.6.3 Середньорічна еквівалентна рівноважна об'ємна активність (ЕРОА) ізотопів радону в повітрі будівель:

(а) У приміщеннях будівель та споруд, які будуються та реконструюються для експлуатації з постійним перебуванням людей, рівень дій для середньорічної ЕРОА радону-222 у повітрі становить 50 Бк/м<sup>3</sup>, середньорічної ЕРОА радону-220 (торону) -3 Бк/м<sup>3</sup>.

(б) Рівень дій для середньорічної ЕРОА радону-222 у зоні дихання в повітрі приміщень, які експлуатуються з постійним перебуванням людей становить 100 Бк/м<sup>3</sup>; а для ЕРОА радону-220 (торону) – 6 Бк/м<sup>3</sup>, за виключенням дитячих, санаторно-курортних та оздоровчолікувальних закладів де рівень дій відповідає п. 4.6. 3.(а)

(в) При перевищенні наведених рівнів дій проведення контрзаходів для дитячих, санаторно-курортних та оздоровчолікувальних закладів, а також громадських приміщень є обов'язковими; для житлових приміщень - тільки за згодою власника житла. При цьому останнім винна бути надана повна інформація про дози опромінення та ризику для здоров'я.

(г) Якщо середньорічну сумарну ЕРОА радону-222 та радону-220, після проведення протирадонових заходів неможливо знизити нижче рівня  $400 \text{ Бк/м}^3$  (рівень дій безумовно виправданого втручання), то прийняття рішення про подальші дії належить відповідним державним органам, порядок яких регламентується окремим документом.

4.6.4 Питома активність природних радіонуклідів у воді джерел господарсько-питного водопостачання.

Рівні дій для природних радіонуклідів в джерелах господарчо-питного водопостачання становлять:

для  $^{222}\text{Rn}$  -  $100 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$ ;

для урану (сумарна активність природної суміші ізотопів) -  $1 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$ ;

для  $^{226}\text{Ra}$  -  $1 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$ ;

для  $^{228}\text{Ra}$  -  $1 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$ .

У разі використання води артезіанських свердловин для господарчо-питного водопостачання або реалізації води артезіанських та інших джерел через торговельну мережу кожне джерело (свердловина або група свердловин, що використовуються одночасно) винний мати паспорт радіаційної якості води.

4.6.5 Питома активність природних радіонуклідів у мінеральних добривах.

(а) Для добрив, що не пилять (гранульованих) рівень дій по сумі питомих активностей урані-238 та торію-232 -  $1,9 \text{ Бк/кг}$ .

(б) Для добрив, що пилять (не гранульованих), окрім додержання умови п. 8.6. 5.(а), рівень дій по сумі питомих активностей торію-230 та торію-232 -  $1,9 \text{ Бк/кг}$ .

4.6.6 Активність природних радіонуклідів у глиняному, порцеляно-фаянсовому та скляному посуді побутового призначення.

Рівень дій по ефективній питомій активності природних радіонуклідів у готовому виробі з фаянсу, порцеляни, скла та виробів з глини визначається за формулою:

$$A_{\text{еф}} = A_{\text{удRa}} + 1,31 \times A_{\text{удTh}} + 0,085 \times A_{\text{удK}},$$

де 1.31, 0.085 - зважуючи коефіцієнти по відношенню до радію-226 для торію і калію відповідно, і становить  $A_{\text{еф}}$ , більше  $370 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$ .

4.6.7. Питома активність природних радіонуклідів у мінеральних барвниках. Рівень дій винний задовольняти наступним умовам:

$$A_{\text{U(Ra)}} + 1,31 \times A_{\text{Th}} = 1400 \text{ Бк/кг}$$



де  $A_{U(Ra)}$ ,  $A_{Th}$  - ефективна питома активність урану-238 (чи радію-226) і торію-232 у рівновазі з іншими членами уранового чи торієвого ряду; 1,31 - зважувачий коефіцієнт по відношенню до радію-226.

4.7. Вимоги до протирадіаційного захисту людини від техногенно-підсиленних джерел природного походження на виробництві.

4.7.1. Рівні дій для окремих радіонуклідів природного походження в повітрі виробничих приміщень складають:

- ППД на робочому місці - 7,3 нГр/год (50 мкР/год);
- середньорічна ЕРОА радону-222 у повітрі приміщення – 300 Бк/м<sup>3</sup>;
- середньорічна ЕРОА радону-220 (торону) у повітрі приміщення -20 Бк/м<sup>3</sup>.

Рівні дій для окремих радіонуклідів природного походження у виробничому пилку приміщень з умови радіоактивної рівноваги радіонуклідів уранового та торієвого сімейств складають:

активність урану-238 і торію-232 у рівновазі з дочірніми продуктами розпаду у виробничому пилку повинні відповідати формулам:

$$A_U = 28/fkBk \times \text{кг}^{-1},$$

$$A_{Th} = 24/fkBk \times \text{кг}^{-1}$$

де  $f$  - безрозмірний коефіцієнт, що чисельно дорівнює середньорічній загальній запиленості повітря в зоні дихання, мг·м<sup>-3</sup>.

4.7.2. Для окремих виробництв чи робочих місць, рівні дій визначаються на підставі атестації робочих місць відповідних підприємств чи технологій. Затвердження таких рівнів дій проводиться затверджених головним державним санітарним лікарем України, або особою, якій надано відповідні повноваження.

### Основні терміни, що використовуються в НРБУ-97

Активність - величина, яка визначається відношенням кількості спонтанних перетворень ядер  $d$  за інтервал години  $dt$

$$A = \frac{d}{dt}$$

Одиниця вимірювання - бекерель (Бк)

Альфа випромінювання ( $\alpha$ -випромінювання) - корпускулярне іонізуюче випромінювання, яку складається з альфа-часток (ядер гелію), що випромінюється при радіоактивному розпаді чи при ядерних реакціях, перетворення.

Безпосередньо іонізуюче випромінювання - іонізуюче випромінювання, що складається з заряджених часток (електронів, протонів, альфа-часток та інше) які мають кінетичну енергію, достатню для іонізації атомів і молекул речовини.

Бета-випромінювання ( $\beta$ -випромінювання) - корпускулярне електронне або позитронне іонізуюче випромінювання з безперервним енергетичним спектром, що виникає при перетвореннях чи ядер нестабільних часток (наприклад, нейтронів). Характеризується граничною енергією спектру  $E_{\beta}$  чи середньою енергією спектру.

Відвернута доза - доза, яка відвертається внаслідок застосування конкретного контрзаходу і вираховується як різниця між дозою без застосування контрзаходу і дозою після припинення дії введеною контрзаходу.

Внутрішнє опромінення - опромінювання тіла людини та окремих її органів і тканин від джерел іонізуючих випромінювань, що знаходяться в самому тілі.

Втручання - такий вид людської діяльності, що завжди спрямований на зниження та відвернення неконтрольованого та непередбачуваного опромінення, або імовірності опромінення в ситуаціях:

- аварійного опромінення (гострого, короткочасного або хронічного);
- хронічного опромінення від техногенно-підсилених джерел природного походження;
- інших ситуаціях тимчасового опромінення, визначених регулюючим органом, як таких, що вимагають втручання.

Втручання виправдане - таке втручання, якщо користь для здоров'я від відвернутої їм дози більше загального збитку, завданого введенням цього втручання.

Гамма-випромінювання ( $\gamma$ -випромінювання) короткохвильове електромагнітне випромінювання з довжиною хвилі  $< 0,1$  нм, що виникає при розпаді радіоактивних ядер, переході ядер із збудженого стану в основний, при взаємодії швидких заряджених часток з речовиною, анігіляції електронно-позитронних пара, тощо.

Доза - у рамках даного документа скорочена назва ефективної дози.

Доза еквівалентна в органі або тканині  $T$  ( $H_T$ ) - величина, яка визначається як добуток поглиненої дози  $D_T$  в окремому органі або тканині  $T$  на радіаційний зважуючий фактор  $W_R$

$$H_T = D_T \times W_R$$

Доза ефективна (E) - торба добутків еквівалентних доз  $H_T$  в окремих органах і тканинах на відповідні тканинні зважуючі фактори

$$E = \sum H_T \times W_R,$$

Використання поняття ефективної дози допускається при значеннях еквівалентних доз, що знаходяться в області значень, нижчих за поріг виникнення детерміністичних ефектів.

Доза поглинання(D) — відношення середньої енергії  $d_c$ , що передана іонізуючим випромінюванням речовині в елементарному об'ємі до маси  $d_m$  речовини в цьому об'ємі:

$$D = \frac{d_c}{d_m}$$

Одиниця вимірювання в системі Сі - грій, Гр.

Ефекти детерміністичні (не стохастичні) - ефекти радіаційного впливу, що виявляються тільки при перевищенні певного дозового порогу і тяжкість наслідків яких залежить від величини отриманої дози (гостра променева хвороба, променеві опіки та інше).

Ефекти стохастичні - без порогові ефекти радіаційного впливу, імовірність виникнення яких існує при будь яких дозах іонізуючого випромінювання і зростає із збільшенням дози, тоді як відносна їх тяжкість виявлень опромінення від дози не залежить. До стохастичних ефектів належати злоякісні новоутворення (соматичні стохастичні ефекти) та генетичні зміни, що передаються нащадкам (спадкові ефекти).

Збиток - загальна міра всіх несприятливих ефектів опромінюваної групи людей (шкоди здоров'ю від стохастичних та детерміністичних ефектів, занепокоєності і збентеження індивідуумів за своє здоров'я та здоров'я своїх близьких і усі наслідки, що негативно позначаються на комфорті цих індивідуумів і які пов'язані з обмеженнями внаслідок самого опромінення та застосування відповідних контрзаходів) з врахуванням імовірності, скрутності та години проявлення цих ефектів.

Індустріальне джерело - джерело іонізуючого випромінювання штучного або природного походження, яке використовується у виробничих потребах, науковій, медичній та інших сферах з метою отримання матеріальної чи іншої користі на всіх етапах від видобутку (створення) до поховання (утилізації).

Категорія А - особи з числа персоналу, які постійно чи тимчасово працюють безпосередньо з джерелами іонізуючих випромінювань.

Категорія Б - особини з числа персоналу, які безпосередньо не зайняті роботою з джерелами іонізуючих випромінювань, алі у зв'язку з розташуванням робочих місць у приміщеннях та на промислових майданчиках об'єктів з радіаційно-ядерними технологіями можуть отримувати додаткове опромінення.

Категорія В - все населення.

Контроль дозиметричний (радіаційно-дозиметричний) - система вимірювань та розрахунків, які спрямовані на оцінку доз опромінення окремих осіб або груп людей, а також радіаційного стану виробничого та навколишнього середовищ.

Користь - у загальному розумінні - певні позитивні наслідки, блага, вигоди. Користь у галузі протирадіаційного захисту - це міра позитивних для здоров'я людини наслідків втручання за рахунок відвернутої внаслідок цього втручання дози опромінення.

Потенційна альфа-енергія - сумарна енергія альфа-часток, яка виділиться при повному розпаді суміші короткоживучих дочірніх продуктів розпаду радону (полонію-218, свинцю-214, вісмуту-214 та полонію-214) до свинцю-210.

Принцип виправданості - принцип радіологічного захисту, який вимагає, щоб користь від вибраної людської діяльності перевищувала пов'язаний з цією діяльністю сумарний збиток для суспільства чи людини.

Принцип не перевищення - принцип радіологічного захисту, який вимагає обмеження (не перевищення) величин опромінення, пов'язаних з вибраною людською діяльністю, встановлених рівнів.

Принцип оптимізації - принцип радіологічного захисту, який вимагає, щоб користь від вибраної людської діяльності не тільки перевищувала пов'язаний з нею збиток, але й була максимальною.

Природний радіаційний тло - опромінення, що створюється космічними джерелами та теригенними (властивими Землі) радіонуклідами за виключенням техногенно-підсилених джерел природного походження. Зменшення опромінення цими джерелами завжди є недоцільним.

Протирадіаційний захист - сукупність нормативно-правових проектно-конструкторських, медичних, технічних організаційних заходів, що забезпечують радіаційну безпеку.

Таблиця Д. 1 1.1 - Значення коефіцієнтів ( $W_R$ )

Вид випромінювання	$W_R$
Фотони, всі енергії	1
Електрони та іони, всі енергії	1
Протони з енергією $> 2$ MeV	5
Нейтрони з енергією $< 10$ keV	5
з енергією 10-100 keV	10
з енергією від 100 keV до 2 MeV	20
з енергією 2-20 MeV	10
з енергією $> 20$ MeV	5
Альфа-опромінювання, важкі ядра	20

Радіаційний ризик - імовірність того, що у особи внаслідок опромінювання виникне певний стохастичний ефект.

Радіоактивність - властивість радіонуклідів спонтанно перетворюватися в атоми інших елементів (нукліди чи радіонукліди) внаслідок переходу ядра з одного енергетичного стану в інший, що супроводжується іонізуючим випромінюванням.

Радіонуклід - радіоактивні атоми з даним масовим числом і атомним номером. Радіонукліди одного й того ж хімічного елемента називаються його радіоактивними ізотопами.

Середньорічна еквівалентна рівноважна активність радону - усереднене за рік значення об'ємної активності радону в рівновазі з його дочірніми продуктами розпаду, які малі б таку саму потенційну альфа-енергію на одиницю об'єму, як їх існуюча суміш.

Техногенно-підвищені джерела природного походження (ТПДПП) - джерела іонізуючого випромінювання природного походження, які в результаті господарської та виробничої діяльності людини були піддані концентруванню або збільшилася їхня доступність, внаслідок чого утворилося додаткове до природного радіаційного тлу опромінювання.

## Список літератури

1. Ананьев В.П., Корот В.И. Инженерная геология. М.: В. школа, 1991, – 134 с.
2. Ахременко С.А. Управление радиационным качеством строительной продукции. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2000. – 235 с.
3. Белов С.В. Охрана окружающей среды. – М.: Высшая школа, 2000. – 318 с.
4. Броневицкий С.П. Методика организационно-технологического проектирования уменьшения дозы радиационного излучения на объектах строительства. \ \ Строительство Украины, №2, 1996. – 45-46с.
5. Виленчик М.М. Радиобиологические эффекты и окружающая среда. – М.: Энергоатомиздат, 1983. 171 с.
6. Виноградов А.П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры. \ \ Геохимия, 1962, №7. – 254 с.
7. Влияние низких доз ионизирующей радиации и других факторов окружающей среды на организм. Под ред. д.мед.н. Руднева М.И. Научный центр радиационной медицины АМН Украины. – Киев: Наукова думка, 1994. – 137 с.
8. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 263 с.
9. Войтевич Г.В. Радиоактивность в истории Земли. – М.: Недра, 1970. – 148 с.
10. Вредные химические вещества. Радиоактивные вещества. Под ред. Л.А. Ильина. Л.: Химия, 1991. – 243 с.
11. Гайсинский А., Адлов И. Радиохимический словарь элементов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 168 с.
12. Геологический словарь, т.1. – М.: Недра, 1973, – 483 с.
13. Горицкий А.В., Лихтарева Т.М., Лось И.П., Сабалдырь В.П. Радиоактивность строительных материалов. – Киев: Будивельник, 1990. – 36 с.
14. Горицкий А.В., Лихтарева Т.М., Лось И.П., Сабалдырь В.П. Радиационный контроль строительных материалов. \ \ Жилищное строительство, 1990 №5. – 24-35 с.

15. Государственные строительные нормы ДБН В.1.4-97. "Система норм и правил снижения уровня ионизирующих излучений радионуклидов в строительстве". – Киев: Госкомградостроительства, 1997. – 125 с.
16. Государственный стандарт Украины ДСТУ ISO-9000 (1)-95. Стандарты по управлению качества и обеспечению качества. – К.: Госстандарт, 1995, 212с.
17. Губин А. Радиационный риск в теории и практике радиационной безопасности. Атомная энергия. т. 85. вып. 2. – 1998.
18. Гулабянд Л.А. Источники радона и способы радонозащиты зданий. // Жилищное строительство №9, 1992 г., С.15-18
19. Гусев Н.Г., Дмитриев П.П. Радиоактивные цепочки.- Справочник, 3-е издание, – М.: Энергоатомиздат, 1994 г. – 136 с.
20. ДБН А.3.1.-5.96 Управління, організація і технологія. Організація будівельного виробництва. – К.: Укрархбудінформ, 1996, – 53 с.
21. Дворкин Л.И. Оптимальное проектирование составов бетонов. – Львов: Вища школа, 1981. – 160 с.
22. Демин В.Р., Шмелев В.М. Цена риска в системе обеспечения радиационной безопасности – Радиационная безопасность и защита АЭС. Вып. 11. Под ред. Ю.А. Егорова. – М.: Энергоатомиздат, 1986, – 243 с.
23. Демин В.Р., Кутьков В., Голиков В., Сазыкина Т., Яцало Б. Анализ риска в принятии мер радиационной и социальной защиты населения. Атомная энергия. т. 87, -1994.
24. Джур Е., Крикун Ю.А. Новые радиационно-защитные материалы. – Материалы международного симпозиума. – Днепропетровск, 2001. – с.14
25. Дозиметрические и радиометрические приборы. Отраслевой каталог. – М.: УНИИАтоминформ, 1988. – 87 с.
26. Джонсон Н., Дион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных. \ Пер. с англ под ред. Э.К. Лецкого. – М.: Мир, 1980. – 176 с.
27. Дозиметрический и радиометрический контроль при работе с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений. // Под ред. В.И. Гришмаковского. Т. 2. Индивидуальный контроль. Радиометрия проб. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 168 с.
28. Дозовые зависимости нестохастических эффектов. Публикация 41 МКРЗ. – М.: Энергоатомиздат, 1987. -38 с.
29. Дозы облучения населения. \ Крисюк Э.М., Константинов Ю.О., Никитин В.В. // Гигиена и санитария, 1984, №5. – 63-66 с.

## Список літератури

---

30. Дози опромінення населення України джерелами природної радіоактивності Лось І.П., Павленко Т.А., Бузинний М.Г. та інші Радіаційна безпека в Україні, Бюлетень НКРЗУ, Київ, 1994, №1.–26-29 с.
31. Дубровский В.Г., Аблевич З. Строительные материалы и конструкции защиты от ионизирующих излучений. – М.: Стройиздат, 1983. – 236 с.
32. Егоров Ю.Я. О требованиях к точности определения удельной активности радионуклидов в объектах окружающей среды. \ \ Радиационная безопасность и защита АЭС. Вып. 11. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 243 с.
33. Жизнь и радиация: Пер. с англ. \ Под ред. П.В. Рамзаева. М.: Энергоатомиздат, 1993. – 187 с.
34. Жуковский М.В., Ярмошенко И.В. Радон: измерение, дозы, оценка риска. Екатеринбург, УРО РАН, 1997. – 230 с.
35. Заиченко А.И., Польский О.Г., Коренков И.П. Контроль радиационной безопасности. М.: – Медицина, 1989 г.
36. Закон Украины «О защите человека от воздействия ионизирующих излучений» – К.: ВР № 15, 1998.
37. Закон Украины «Об использовании ядерной энергии и радиационной безопасности» – К.: ВР № 39, 1995
38. Закон Украины «Об обеспечении санитарного и эпидемиологического благополучия населения» – К.: ВР № 43, 1994
39. Запрудин В.Ф., Соколов И.А., Пилипенко А.В. Радиоэкология строительного производства: Учебное пособие. – Дн-ск: ПГАСА, 2003.– 136 с.
40. Защита от радона-222 в жилых зданиях и на рабочих местах. Публикация 65 МКРЗ. М.: Энергоиздат, 1995.
41. Зеленский А.В., Лось И.П., Павленко Т.А., Григораш В.В. Колебания концентраций радона в жилых помещениях \ \ Актуальные проблемы ликвидации медицинских последствий аварии Чернобыльской АЭС: Тез. докл. укр. науч. -практ. конф. – К.: 1992. – 88с.
42. Ильин Л.А. Основы защиты организма от воздействия радиоактивных веществ. М.: Атомиздат, 1977. – 168 с.
43. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Нормы проектирования СНИП-II-9-79. М.: 1979. -23 с.
44. Информация об аварии на Чернобыльской АЭС и ее последствия. Подготовлена для МАГАТЭ \ \ Атомная энергия, 1986, №5. – С.301-320



45. Интерпретация рекомендаций Комиссии о необходимости поддерживать дозы облучений на таких низких уровнях, какие только можно реально достигнуть. Публикации 22 МКРЗ. – М.: Изд-во Минздрав. 1975. – 86 с.
46. Информационный бюллетень: – Авария на Чернобыльской АЭС: радиационный мониторинг, клинические проблемы, социально-психологические аспекты, демографическая ситуация, малые дозы ионизирующего излучения. – К.: 1992. – Выпуск 2. – Т. 1. – 255 с.
47. Источники и действие ионизирующей радиации: Доклад НКДАР ООН за 1977 г. на Генеральной Ассамблее. Нью-Йорк, 1978. Т. 1-3.
48. Источники, эффекты и опасность ионизирующей радиации: Доклад НКДАР ООН за 1988. М.: Мир, 1992, Т. 1.
49. Истра А.А., Бахуров В.Г. Естественные радионуклиды в биосфере. М.: Энергоатомиздат, 1981. – 147 с.
50. Катаев В.Г., Строганов М.П. Гамма-фон территории и жилищ населенных пунктов. \ \ Обзор. – М., 1974, 56 с.
51. Карта типизации инженерно-геологических условий, строительных свойств грунтов и оптимальных фундаментов территории г. Днепропетровска \ Под ред. Кравченко А.И. – Днепропетровск: ДИСИ, 1980. – 11 с.
52. Касьянов С.П. Управление уровнем радоновой безопасности объектов строительства на этапе проектирования и реконструкции. Диссертация канд. техн. наук. – Днепропетровск: 1998. – 138 с.
53. Кеирим-Маркус И.Б. Новые сведения о действии на людей малой дозы ионизирующего излучения – кризис господствующей концепции регламентации облучения. \ \ Атомная энергия, 1995. Т. 79, №4, – С. 279-285
54. Киевский Л.В. Организационно-технологическое проектирование инвестиционной деятельности в промышленности и жилищном строительстве: Автореферат д.т.н. 05.23.08. – М.: 1993, 43 с.
55. Киммель Л.Р., Машкович В.П. Защита от ионизирующих излучений. Справочник. – М.: Энергоиздат, 1982. – 310 с.
56. Киптык В.А. Обеспечение радиационной безопасности населения на основе технологического управления свойства строительных материалов и изделий. Диссертация канд. техн. наук. – Днепропетровск: 2000. – 146 с.
57. Кириллов В.Ф., Черкасов Е.Ф. Радиационная гигиена. – М.: Медицина, 1982. – 244 с.

## Список літератури

---

58. Кирнос В.М. Научно-методологические основы организационно-технологического регулирования продолжительности и стоимости реконструкции промышленных зданий: Диссертация д.т.н. 05.23.08. – Харьков: 1994, – 333 с.
59. Ковалев Е.Е. Радиационный риск на земле и в космосе. – М.: Атомиздат, 1976. -186 с.
60. Количественное обоснование единого индекса вреда. Публикация 45 МКРЗ. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 87 с.
61. Козлов В.Ф. Справочник по радиационной безопасности. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 350 с.
62. Конович А.Л. К экономическому нормированию допустимых концентраций радиоактивных веществ \ \ Экология – 1992, №6. – С.72-74.
63. Кошеленко В.В. Обеспечение радиационной безопасности жилых зданий в соответствии с социально-экономическими требованиями. Диссертация к.т.н.. – Днепропетровск: 2006. – 171 с.
64. Крикунов Г.Н., Беликов А.С., Залуин В.Ф., Довгаль В.Н. Безопасность жизнедеятельности (часть третья). Уко ИМА-пресс. – Днепропетровск: 1995. – 195 с.
65. Крисюк Э.М. Радиационный фон помещений. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 118 с.
66. Лаврухина А.К., Алексеев В.А., Герш В.Д., Ивлев А.И. Низкофоновая радиометрия. М.: Наука, 1992. – 259 с.
67. Лось И.П., Зеленский А.В., Бузынный М.Г. и др. Уровни облучения населения Украины за счет природных источников радиоактивности \ \ Информационный бюллетень. Авария на ЧАЭС. Киев: 1992. Т. 1. Выпуск 2. – 382-386 с.
68. Лось И.П., Семенютин А.М., Сабалдырь В.П., Лещинский М.Ю. Оценка радиоактивности строительных материалов, содержащих золу ТЭС \ \ Строительные материалы, 1986. №5. – 31-33 с.
69. Лысенко М.П. Состав и физико-механические свойства грунта. М.: Недра, 1980. – 272 с.
70. Лыков А.В. Тепломассообмен \ \ Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1972. – 308 с.
71. Маргулис У.Я. Атомная энергия и радиационная безопасность. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 160 с.
72. Маренный А., Савкин М., Шинкарев С. Оценка облучения населения России радоном. Медицинская радиология и радиационная безопасность. 1999, т.44. № 6.

73. Машкович В.П., Панченко А.М. Основы радиационной безопасности. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 187 с.
74. Методические рекомендации по проведению измерений радона-222 в воздухе жилых помещений методом пассивной трековой радонометрии в соответствии с существующими гигиеническими регламентами и разработанным искровым счетчиком «TRACK-2010Z». Научный центр радиационной медицины АМН Украины. Киев – 1994 г.
75. Международный Чернобыльский проект. Оценка радиологических последствий и защитных мер \\\ Технически доклад МАГАТЭ. – Вена, Австрия, 1991. – 161 с.
76. Моисеев А.А. Иванов В.И. Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене. – М.: Энергоиздат, 1990. -247 с.
77. Мощанский Н.А., Путляев И.Е. Современные химически стойкие полы. – Стройатомиздат, 1973. – 135 с.
78. Налимов В.В. Теория эксперимента. – М.: Наука, 1971. – 207 с.
79. Нацерофф В.В., Дейн Л.М. Поступление радона в домах с подвальными помещениями \\\ Безопасная физика, 1985, т. 48. – 265-285 с.
80. Нормы радиационной безопасности Украины (НРБУ-97). – Киев: МОЗ, 1997. – 121 с.
81. Нормы радиационной безопасности Украины (НРБУ-97), "Государственные гигиенические нормативы" ГГН 6.6.1.-6.5.001-98, МОЗ Украины. Комитет по вопросам гигиенического регламентирования. Национальная комиссия радиационной защиты населения Украины, Киев, 1998.
82. Обатуров Г., Потетня В. Комбинированное действие излучения разного качества. Атомная энергия. т.84. Вып. 1, 1998 г.
83. Окружающая среда. Энциклопедический словарь-справочник. – М.: "Прогресс" и "Пангея", 1993. – 640 с.
84. Оптимизация радиационной защиты на основе анализа соотношения "затраты-выгода". Публикация 37МКРЗ. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 41 с.
85. Основні санітарні правила противорадіаційного захисту України (ОСПУ) ДСП 6.074.120.01. – Київ: МОЗ, 2001, 136 с..
86. Павленко Т.А. Научное обоснование системы радиационной защиты населения Украины от радона-222. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук УДК 546.298.6;616.001 АМНУ НЦРМ, Киев, 1996 г., фонды УНЦРМ.
87. Парчевская Д.С. Статистика для радиоэкологов. Наукова думка: – Киев, 1969 г., 61 с.

88. Пархоменко В.И., Крисюк Э.М., Лисиченко Э.П. Радиационно-гигиеническая характеристика отходов промышленности, используемых в строительной индустрии \ Гигиена и санитария, 1981, №8. – 34-37 с.
89. Пределы ингаляционного поступления ДПР радона для профессиональных работников. Публикация 32 МКРЗ. – М.: Энергоатомиздат, 1987. -43 с.
90. Петрова Л.И. Защитные строительные материалы от ионизирующих излучений. Диссертация кандидата техн. наук, – Днепропетровск, 1992. – 156 с.
91. Пилипенко А.В. Пути достижения радиационной безопасности объектов строительства на стадии проектирования. Диссертация кандидата техн. наук. – Днепропетровск, 2004. – 151 с.
92. Принципы нормирования облучения населения от естественных источников ионизирующего излучения. Публикация 39 МКРЗ. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 86 с.
93. Принципы мониторинга в радиационной защите населения. Публикация 43 МКРЗ. М.: Энергоатомиздат, 1988. – 51 с.
94. Проблемы, связанные с разработкой показателя вреда от воздействия ионизирующего излучения. Публикация 27 МКРЗ. М.: Энергоатомиздат, 1981. – 76 с.
95. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (СниП202.901-83) – М.: Стройиздат, 1989. – 414 с.
96. Пособие к ДБН В.1.4- (0.01-2.01)-97 «Система норм и правил снижения уровня ионизирующих излучений естественных радионуклидов в строительстве». Радиационный контроль строительных материалов и объектов строительства. К.: Госкомградостроительство, 1997.- 100с.
97. Пунагин В.Н., Шишкин А.А., Дзюбан А.В. Теория и практика назначения составов бетона. – К.: УМК ВО, 1990. – 60 с.
98. Путкма М.И., Шишкин В.Л. Справочник по радиометрической разведке и радиометрическому анализу. Изд. 2-е. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
99. Пэнтл Р. Методы системного анализа окружающей среды. – М.: Мир, 1979. – 289 с.
100. Радаев Н. Оценка необходимого объема наблюдений для проверки адекватности моделей зависимости доза-эффект. Атомная энергия. т. 85. Вып. 1, 1998 г.
101. Радиация. Дозы, эффекты, риск. – Перевод с англ. Ю.А. Банникова. – М.: Мир, 1990. – 78 с.

102. Радон и его дочерние продукты распада в воздухе жилых зданий и объектов коммунально-бытового назначения. Отчет о НИР НИИПММ, г. Санкт-Петербург, 1992 г.
103. Радиационная защита. Публикация 2 МКРЗ. – М.: Госатомиздат, 1950.
104. Радиационная защита населения. – Рекомендации МКРЗ. Публикации №40,43: Пер с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1987. –
105. Радиационная защита работающих в рудниках. Публикация №47 МКРЗ. Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
106. Радиационная безопасность. Рекомендации МКРЗ 1990 года. Публикация 60, ч. 2 МКРЗ. Пер. с англ. \ Под ред. И.Б. Кеприм-Маркуса. – М.: "Прогресс" и "Пангея", 1993. – 187 с.
107. Радиационная безопасность при геолого-разведочных работах \ Ю.В. Середин, В.В. Никольский, И.В. Павлов, Е.Н. Камнев. – М.: Недра, 1983. – 192 с.
108. Риск заболевания раком легких в связи с облучением дочерними продуктами распада радона внутри помещений. Публикация МКРЗ 50. Пер. с англ. \ Под ред. И.А. Лихтарева. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 48 с.
109. Рогалис В., Ананьев А., Голубкова И. Радиационный фон в помещениях жилых зданий г. Москвы. / Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2001. т. 46, №2
110. Рябухин Ю. Низкие уровни ионизирующего излучения и здоровье: системный подход. Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2000. т. 45. № 4.
111. Сергеев А.М. Использование в строительстве отходов энергетической промышленности. – К.: Будівельник, 1984. – 120 с.
112. Сердюкова А.С., Капитонов Ю.Т. Изотопы радона и продукты их распада в природе. М.: Атомиздат, 1975. – 149 с.
113. Сидельникова О.П. Влияние естественных радионуклидов на безопасность жизнедеятельности людей (на примере Днепропетровской области). Диссертация канд.техн.наук. – Днепропетровск: 1994. – 123 с.
114. Сидельникова О.П., Козлов Ю.Д. Влияние активности естественных радионуклидов строительных материалов на радиационный фон помещений. (Учебное пособие). – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 161 с.
115. Соболев И.А., Коренков И.П. и др. Охрана окружающей среды при обезвреживании радиоактивных отходов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 165 с.

## Список літератури

---

116. Соколов І.А. Організаційно-технологічні основи забезпечення якості житлового середовища в умовах іонізуючого впливу природних радіонуклідів.: Дисертація доктора технічних наук: – Дніпропетровськ, 2005. – 306 с.
117. Справочник по инженерной геологии. // Под ред. М.В. Гуринова. 3-е издание. – М.: Недра, 1981. – 325 с.
118. Сытин В.И., Теплов Ф.Н., Череватенко Г.А. Радиоактивные источники ионизирующих излучений. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 138 с.
119. Терентьев М.В., Базюкин А.Б. Оценка «скрытой энергии» дочерних продуктов радона в рудничном воздухе // Атомная энергия. 1988 г., т.65. Вып. 3, 480 с
120. Тетиор О.Н. Строительная экология. – К.: Будівельник, 1992. - 196 с.
121. Филиппов М.С., Комлев Л.В. Уран и торий в гранитоидах Среднего Приднепровья \ \ Геохимия. №5, 1959. – 16 с.
122. Хигерович М.И., Маркин А.П. Физико-химические и физические методы исследования строительных материалов. – М.: Высшая школа, 1968. – 191 с.
123. Хикс Ч. Основные принципы планирования эксперимента. Пер. с англ. – М.: Мир, 1995. – 558 с.
124. Чернобыльская катастрофа. \ гл. редактор В.Г. Барьяхтар. – Киев: Наукова думка, 1995. – 558 с.
125. Чесанов В.Л. Уменьшение дозовой нагрузки облучения человека в помещениях зданий с помощью противорадионных защитных мероприятий. Диссертация кандидата техн. наук. – Днепропетровск: ПГАСиА, 2001. – 161 с.
126. Чухин С.Г. Социально-экономические критерии приемлемости радиационного риска новых радиационных технологий. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 64 с.
127. Шалак Н.И., Крисюк Э.М. Измерение эманирования строительных материалов. Радиационная гигиена, 1980, №9. – 35-37 с.
128. Штангрет Б.С. Оценка снижения воздействия естественных радионуклидов строительного производства на безопасность жизнедеятельности. Диссертация на соискание ученой степени кандидата техн. наук. – Днепропетровск: ПГАСиА, 2000. –143 с.
129. Экологические основы природопользования. Под ред. докт. биол. наук Грицан Н.П. НАН Украины, Институт проблем природопользования и экологии.

130. Ядерная энергетика, человек и окружающая среда, 2-е изд. Бабаев Н.С., Демин В.Ф., Ильин Л.А. и др./Под ред. А.П. Александрова. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 134-143 с.

---

**І.А. Соколов, В.Ф. Запрудін, А.С. Бєліков,  
О.В. Пилипенко, М.В. Савицький, О.С. Гупало**

# **Радонова безпека житлових будівель**

Підписано до друку 6.11.08. Формат 30x42/4 . Папір офсетний. Різограф.  
Ум. друк. Арк.18,2, Обл.-вид.арк. 17,8.  
Тираж 350 прим. Зам. №7.Вид.№17.

49041, г. Днепропетровск, а/я 2493  
Идентификатор издателя в системе ISBN: 8490