

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ІОНІЗУЮЧІ ВИПРОМІНЮВАННЯ .....	7
1.1. Основні види та характеристика іонізуючих випромінювань .....	7
1.2. Кількісні характеристики джерел іонізуючих випромінювань та їх впливу на середовище .....	9
1.3. Джерела іонізуючих випромінювань .....	11
1.4. Біологічна дія іонізуючих випромінювань.....	17
1.5. Ризик як функція дози .....	20
Запитання для самоконтролю .....	26
РОЗДІЛ 2. НОРМУВАННЯ І КОНТРОЛЬ ІОНІЗУЮЧИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ.....	28
2.1. Основні положення та принципи нормування опромінення.....	28
2.2. Нормування поточного опромінення .....	30
2.3. Нормування потенційного опромінення .....	45
2.4. Види та методи радіаційного контролю .....	55
2.5. Прилади та обладнання для радіаційного контролю .....	57
Запитання для самоконтролю .....	63
РОЗДІЛ 3. ОСНОВНІ РАДІАЦІЙНО-НЕБЕЗПЕЧНІ ОБ'ЄКТИ, ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ.....	64
3.1. Атомні електростанції.....	64
3.2. Підприємства з видобутку та переробки урановміщуючої сировини ..	66
3.3. Сховища радіоактивних відходів .....	67
3.4. Промислове обладнання з використанням ядерно-радіаційних технологій .....	72
3.5. Медичне обладнання з використанням ядерно-радіаційних технологій .....	80
Запитання для самоконтролю .....	87
РОЗДІЛ 4. ЗАХИСТ ВІД ІОНІЗУЮЧИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ .....	88
4.1. Загальні питання та принципи захисту .....	88
4.2. Засоби колективного захисту від іонізуючих випромінювань .....	91
4.3. Засоби індивідуального захисту .....	93
4.4. Організаційні заходи.....	101
4.5. Санітарно-гігієнічні заходи.....	108
4.6. Лікувально-профілактичні заходи.....	111
4.7. Заходи безпеки при поводженні з радіоактивними відходами.....	113
4.8. Заходи безпеки при аваріях на радіаційно-небезпечних об'єктах.....	127
Запитання для самоконтролю .....	132
РОЗДІЛ 5. ВИПРОМІНЮВАННЯ ОПТИЧНОГО ДІАПАЗОНУ .....	135
5.1. Загальні відомості про випромінювання оптичного діапазону .....	135
5.2. Вплив ІЧ та УФ випромінювань на людину .....	136
5.3. Нормування та контроль ІЧ та УФ випромінювань .....	138
5.4. Захист від ІЧ та УФ випромінювань .....	139

5.5. Захист від лазерного випромінювання .....	140
Запитання для самоконтролю .....	142
РОЗДІЛ 6. ВИПРОМІНЮВАННЯ РАДІОЧАСТОТНОГО ДІАПАЗОНУ...	143
6.1. Джерела електромагнітних полів та випромінювань .....	143
6.2. Основні характеристики електромагнітних випромінювань .....	144
6.3. Дія електромагнітного випромінювання на людину .....	145
6.4. Нормування та контроль електромагнітних випромінювань .....	146
6.5. Захист від електромагнітного випромінювання .....	148
Запитання для самоконтролю .....	151
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	152

## ВСТУП

Умови праці визначаються сукупністю факторів виробничого середовища і трудового процесу, що впливають на здоров'я і працездатність людини під час виконання нею трудових обов'язків. Серед факторів, що визначають умови праці прийнято виділяти фізичні (наприклад, температура повітря, рівень шумів і вібрацій, освітленість робочого місця) хімічні (наприклад, наявність токсичних газів і парів у повітрі робочої зони), психофізичні (наприклад, фізичні навантаження, перенапруга зору, монотонність праці) і біологічні (наприклад, наявність хвороботворних мікроорганізмів і бактерій).

Серед фізичних факторів виробничого середовища особливе місце займає радіація. Радіація (від лат. Radiātiō «сяйво», «випромінювання») в загальному випадку є синонімом слова «випромінювання». Радіація в радіотехніці це потік енергії в формі радіохвиль. Сонячна радіація це випромінювання Сонця, електромагнітна складова якого включає теплове випромінювання (інфрачервоне) з довжиною хвилі від 770 до 340000 нм, світлове випромінювання (380 – 770 нм) та ультрафіолетове випромінювання (10 – 380 нм). Сонячна радіація включає також випромінювання корпускулярної природи та більш жорсткі електромагнітні випромінювання з довжиною хвилі менше 10 мкм. Джерелом випромінювання корпускулярної природи та жорстких електромагнітних випромінювань є процеси ядерних перетворень які протікають в нестійких ізотопах хімічних елементів, а також створені людиною техногенні джерела випромінювання, такі, наприклад, як рентгенівські трубки, прискорювачі часток та штучно створені радіонукліди.

Радіація, і в першу чергу випромінювання Сонця, є для людства невичерпним джерелом енергії. Більш того, радіація це основа виникнення, розвитку і забезпечення умов для існування біоти на планеті, у тому числі і людини. Проте за певних умов вона може бути дуже небезпечною як для людини так і в цілому для біологічних об'єктів. Все залежить від величини і виду випромінювань.

Особливо небезпечні для людини ті види випромінювання які відрізняються високою енергією квантів і здатні викликати іонізацію оточуючого середовища. Таке випромінювання прийнято називати іонізуючим. Термін **«Іонізуюче випромінювання»** характеризує будь-яке випромінювання, що прямо або посередньо викликає іонізацію оточуючого середовища. Особливістю іонізуючих випромінювань є те, що всі вони відзначаються високою енергією і викликають зміни в біологічній структурі клітини, які можуть призвести до зміни їх структури чи загибелі. Поняття «іонізуюче випромінювання» об'єднує різноманітні за своєю природою види випромінювань. Подібність їх полягає в тому, що усі вони відрізняються високою енергією, мають властивості іонізувати і руйнувати біологічні об'єкти. На іонізуючі випромінювання не реагують органи чуття людини, що робить їх особливо небезпечними. Тому, при розгляді питань радіаційної безпеки основна увага приділяється саме цій складовій радіації.

**Радіаційна безпека** – науково-практична дисципліна, яка вирішує комплекс теоретичних і практичних завдань, пов'язаних з попередженням шкідли-

вого впливу випромінювань на людину, зменшенням ймовірності виникнення нещасних випадків, аварій і аварійних ситуацій на радіаційно-небезпечних об'єктах. Ця дисципліна є відносно новою. Її виникнення та розвиток пов'язані зі становленням атомної промисловості та широким використанням ядерно-радіаційних технологій в промисловості та медицині.

Першим завданням радіаційної безпеки є розробка критеріїв:

а) для оцінки іонізуючого випромінювання як шкідливого чинника впливу на окремих людей, популяцію в цілому і об'єкти навколишнього середовища;

б) способів оцінки і прогнозування радіаційної обстановки, а також шляхів приведення її у відповідність з виробленими критеріями безпеки на основі створення комплексу технічних, санітарно-гігієнічних, лікувально-профілактичних та організаційних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки в умовах застосування атомної енергії та використання ядерно-радіаційних технологій в усіх сферах людської діяльності.

Для розробки критеріїв використовуються багаторічні спостереження за людьми, які працюють на об'єктах з рівнем радіації, що перевищує природний фон, а також експерименти з тваринами та іншими складовими біоти, що штучно піддаються опроміненню. Прогнозування радіаційної обстановки при аваріях та аварійних ситуаціях здійснюється шляхом математичного моделювання з використанням даних, отриманих при вивченні аварій на об'єктах ядерно-радіаційних технологій.

Важливою задачею радіаційної безпеки є також розробка систем радіаційного контролю. Різні умови експлуатації радіаційних установок, різноманіття радіоактивних речовин, що знаходять практичне використання, обумовлюють необхідність усвідомленого вибору засобів контролю і періодичності вимірювання рівня радіації та концентрації радіаційно-небезпечних речовин.

**Мета вивчення дисципліни** – надати фахівцям теоретичні знання та практичні навички, які необхідні для прийняття обґрунтованих рішень, спрямованих на захист працюючих від дії іонізуючих випромінювань.

Дисципліна *радіаційна безпека* тісно пов'язана з рядом інших дисциплін: безпекою життєдіяльності, основами охорони праці, екологією, гігієною праці та виробничого середовища тощо. При вивченні стану виробничого середовища та розробці заходів, спрямованих на покращення умов і безпеки праці, необхідні знання основ таких фундаментальних дисциплін, як математика, фізика, хімія, а також знання технічних наук з тих галузей, де спеціалізуються майбутні фахівці.

## РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ІОНІЗУЮЧІ ВИПРОМІНЮВАННЯ

**Перелік умінь**, які фахівець з вищою освітою повинен набути в результаті засвоєння інформації, викладеної в першому розділі підручника.

Фахівець повинен уміти ідентифікувати шкідливі та небезпечні виробничі чинники, обумовлені наявністю різних джерел іонізуючого випромінювання та оцінювати наслідки їх дії на працівників та населення, яке може спричинити додаткову до природної дозу опромінення, у тому числі:

- визначати особливості різних видів іонізуючого випромінювання;
- виявляти джерела іонізуючих випромінювань;
- прогнозувати дозу опромінення від джерел іонізуючих випромінювань;
- оцінювати вплив іонізуючих випромінювань на працюючих;
- прогнозувати можливість виникнення віддалених та генетичних наслідків опромінення.

### 1.1. Основні види іонізуючих випромінювань

Електромагнітні випромінювання при проходженні через речовини взаємодіють з їх атомами і молекулами. При значній енергії квантів випромінювання така взаємодія може призвести до порушення атомів і виривання окремих електронів з електронних оболонок нейтрального атома. Внаслідок цього атом перетворюється у позитивно заряджений іон – відбувається іонізація. Вільні електрони можуть у свою чергу приєднатися до нейтрального атома, утворюючи негативно заряджені іони. Аналогічно впливати на речовини можуть і елементарні частки (електрони, протони тощо), які рухаються зі значною швидкістю. Випромінювання, взаємодія якого з середовищем призводить до його іонізації, називають *іонізуючим*.

До іонізуючих випромінювань відносяться корпускулярні (альфа-, бета-, а також потоки протонів, нейтронів та важких ядер віддачі) та електромагнітні випромінювання (гама-, рентгенівське та ультрафіолетове), що здатні при взаємодії з речовиною створювати у ній заряджені атоми та молекули (рис. 1.1).

Вплив іонізуючих випромінювань на речовину в першу чергу залежить від виду випромінювання та величини енергії часток чи квантів електромагнітного випромінювання. В атомній та ядерній фізиці для оцінки енергії часток та випромінювань зазвичай використовують таку несистемну одиницю як електрон-вольт (eV), або такі похідні від неї як кілоелектрон-вольт (keV) чи мегаелектрон-вольт (MeV). Один eV дорівнює енергії, необхідній для перенесення елементарного заряду в електростатичному полі між точками з різницею потенціалів в 1 В.

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}; 1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$$

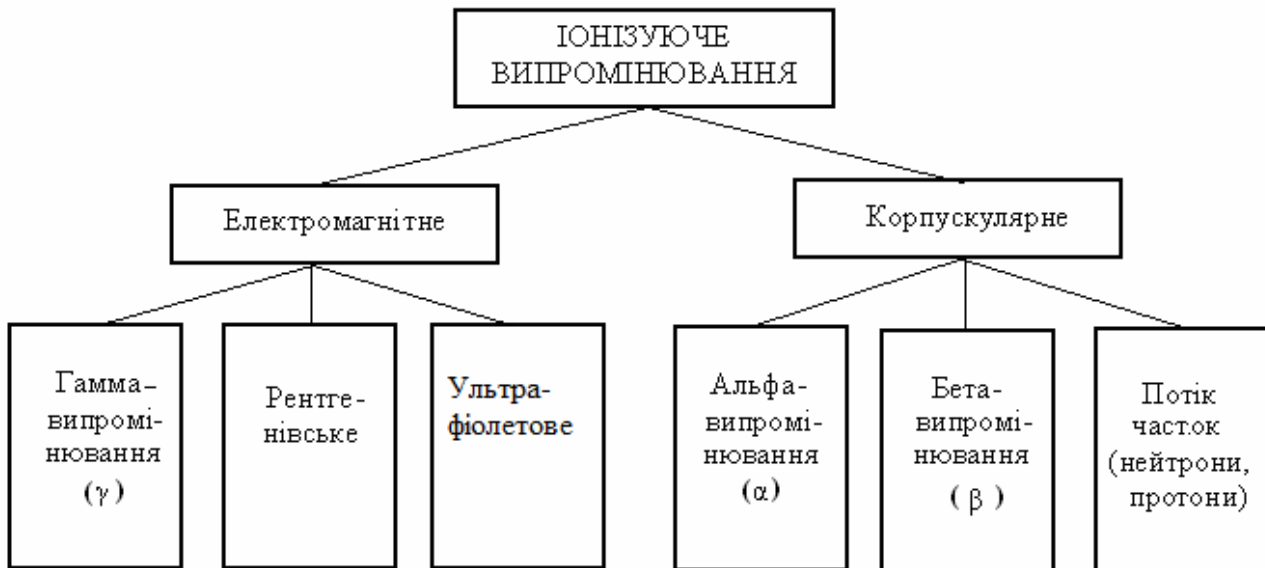


Рис. 1.1. Класифікація іонізуючих випромінювань

Іонізуючі випромінювання характеризуються своєю іонізуючою і проникливою здатністю. Іонізуюча здатність – це кількість пар іонів, що утворюються частинкою чи квантом електромагнітного випромінювання в одиниці об’єму, маси середовища або на одиницю довжини шляху. Проникаюча здатність радіації визначається довжиною пробігу частинки в речовині до її повного зникнення.

*Альфа-випромінювання* – це потік позитивно заряджених частинок, що складаються з двох протонів ті двох нейтронів, мають масове число 4 і заряд, який дорівнює 2 елементарним зарядам (елементарний заряд  $1,6 \cdot 10^{-19}$  К). За своєю фізичною природою це ядра атома гелію, що утворюються під час розпаду ядер нестійких ізотопів важких елементів. Енергія альфа-частинок досягає декількох МеВ. Для них характерна висока іонізуюча здатність (декілька тисяч пар іонів на 1 см шляху у повітрі) та незначна проникливість у речовину (десятки мкм у живій тканині).

*Бєта-випромінювання* – це потік електронів або позитронів, що виникає у результаті ядерних перетворень. Їх іонізуюча здатність значно нижча (десятки пар іонів на 1 см шляху у повітрі), а проникливість вища (близько 2,5 см у живій тканині).

*Нейтронне випромінювання* – це потік нейтронів – ядерних часток, що не несуть електричних зарядів. Швидкі нейтрони мають значну проникливість та незначну іонізуючу здатність. Вони можуть легко проникати через тіло людини і більш щільне середовище. Нейтрони взаємодіють з ядрами атомів, у результаті чого виникає як наведене випромінювання, так і спостерігається іонізація речовини.

Для протонів та важких ядер із значною енергією близька до альфа-випромінювання. Для них характерна висока іонізуюча здатність та незначна проникливість у речовину.

Гамма- та рентгенівське випромінювання – це жорсткі електромагнітні випромінювання, що виникають під час ядерних перетворень та взаємодії часток, а також у рентгенівських трубках, прискорювачах електронів тощо. Ці випромінювання характеризуються значною проникливістю та незначною іонізуючою здатністю. Чим менша довжина хвилі, тим вища енергія випромінювання і більша його проникаюча здатність.

Рентгенівські промені можна розглядати як гамма-промені низьких енергій, які одержують штучно. Наглядно проникна здатність іонізуючого випромінювання продемонстрована на рис. 1.2.

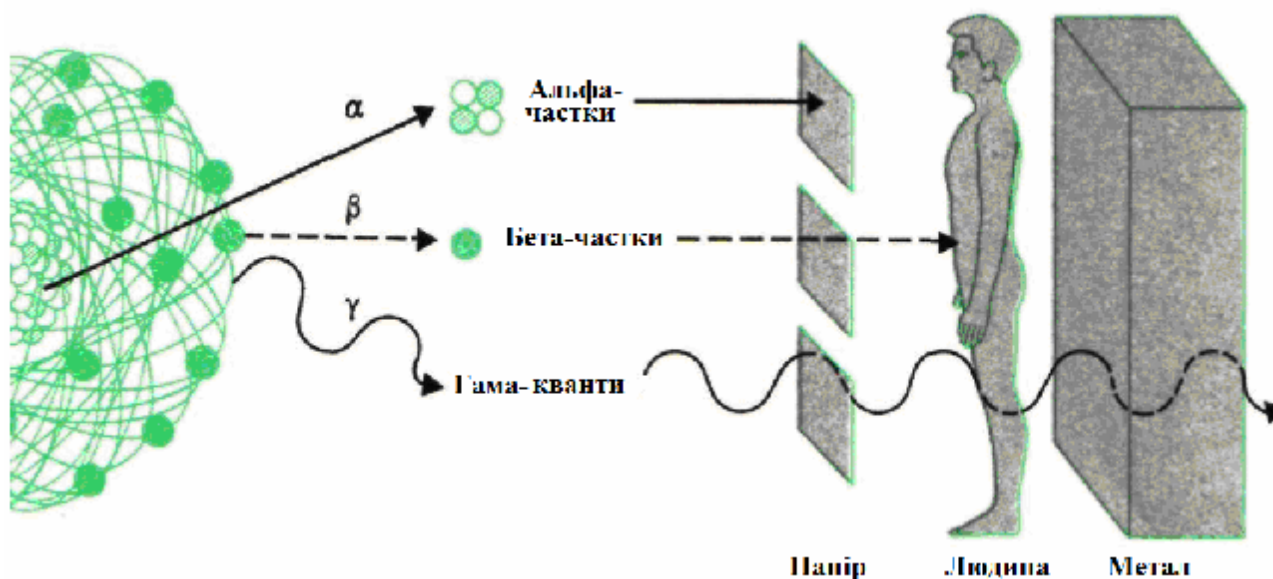


Рис. 1.2. Проникна здатність іонізуючого випромінювання

## 1.2. Кількісні характеристики джерел іонізуючих випромінювань та їх впливу на середовище

Джерела іонізуючих випромінювань прийнято характеризувати їх активністю  $A$ , що визначається відношенням кількості спонтанних перетворень ядер  $dN$  за інтервал часу  $dt$ , тобто

$$A = dN / dt.$$

Одиницею виміру активності є бекерель (Бк). 1 Бк дорівнює одному ядерному перетворенню за секунду. Використовують також несистемну одиницю активності – кюрі (Ки), яка дорівнює  $3,7 \cdot 10^{10}$  Бк. Питому активність речовини джерела випромінювання характеризують активністю одиниці її маси, об'єму або площі поверхні, наприклад, бекерель на кілограм, бекерель на літр.

При проходженні через речовину енергія іонізуючого випромінювання витрачається, в основному, на іонізацію середовища. Для характеристики дії іонізуючих випромінювань на речовину використовують такий показник, як *по-*

глинена доза  $D$ , що визначається величиною енергії іонізуючого випромінювання поглиненою одиницею маси речовини, а саме:

$$D = dE/dm,$$

де  $dE$  – енергія, що передана іонізуючим випромінюванням речовині у елементарному об'ємі;  $dm$  – маса елементарного об'єму речовини

Одиницею виміру поглиненої дози є Грей (Гр). Це енергія в 1 Дж будь-якого іонізуючого випромінювання, яка передана одному кілограму речовини, що опромінюється.  $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$ .

Дію випромінювання на органи тіла та тканини людини характеризує доза в органі  $D_T$ . Вона визначається за формулою

$$D_T = E_T / m_T,$$

де  $E_T$  – сумарна енергія, що виділилася в органі тіла чи тканині людини, Дж;  $m_T$  – маса органу тіла чи тканини людини, кг.

У зв'язку з тим, що однакова доза різних видів випромінювання поглинена в органі тіла викликає у живих організмах різні біологічні зміни, то введено поняття *дозы еквівалентної в органі або тканині*  $H_T$ . Вона визначається як

$$H_T = D_T W_R,$$

де  $W_R$  – радіаційний зважуючий фактор.

Одиниця еквівалентної дози – Зіверт (Зв). Широко використовують також похідні величини дози, наприклад мЗв.

При визначенні еквівалентної дози різних видів випромінювання прийнято використовувати такі значення радіаційного зважуючого фактора  $W_R$ :

рентгенівське та гама-випромінювання . . . . .	1
бета-випромінювання . . . . .	1
альфа-випромінювання . . . . .	20
нейтрони з енергією 10 - 100 KeV . . . . .	10
протони з енергією більше 2 MeV . . . . .	10

Іонізуюче випромінювання по-різному впливає на органи тіла і тканини людини. Чутливість органів тіла людини, на які діє іонізуюче випромінювання, враховується відносним стохастичним ризиком їх опромінювання. Для оцінки цього ризику введено поняття *тканинного зважуючого фактора*  $W_T$ , який використовується при розрахунках ефективної дози.

*Ефективна доза*  $E$  визначається як сума добутків еквівалентних доз в окремих органах тіла і тканинах людини на відповідні тканинні зважуючі фактори:

$$E = \dot{a} H_T * W_T,$$

Значення тканинних зважуючих факторів наведені у табл. 1.1.

Для характеристики іонізуючої здатності випромінювань при їх розповсюдженні в повітрі використовують поняття *експозиційної дози*  $X$ , що визначається величиною повного заряду іонів одного знаку, які виникають в одиниці



маси повітря під дією іонізуючого випромінювання. Одиниця експозиційної дози – кулон на кілограм (Кл/кг). Спеціальна одиниця – рентген.  $1\text{Р} = 0,285\text{ мКл/кг}$ .

Таблиця 1.1

Значення тканинних зважуючих факторів

Тканина або органи тіла людини	$W_T$
Гонади	0,20
Кістковий мозок (червоний), товста кишка, легені, шлунок	0,12
Сечовий міхур, молочна залоза, печінка, стравохід, щитовидна залоза	0,05
Шкіра, поверхня кістки	0,01
Інші органи тіла	0,05

Розглянуті показники характеризують лише індивідуальні дози іонізуючого випромінювання. Підсумувавши індивідуальні ефективні еквівалентні дози, здобуті певною групою людей, ми отримаємо **колективну ефективну еквівалентну дозу**, яку визначають в *людино-зівертах (люд-Зв)*.

Для оцінки колективної ефективної еквівалентної дози яка може бути отримана групою людей від певного джерела випромінювання за весь час його існування розраховують **повну (очікувану) колективну ефективну еквівалентну дозу**. Зважаючи на те, що багато відомих радіонуклідів розпадаються надзвичайно повільно і залишаються радіоактивними навіть у далекому майбутньому, ця доза може включати дози накопичені як нинішніми так і майбутніми поколіннями людей внаслідок опромінення від певного джерела випромінювання.

Визначити дозу від точкового джерела активністю  $A$  за час  $t$  можна за формулою

$$D = A K_m t / R^2,$$

де  $K_m$  – гама-постійна ізотопу,  $\text{Гр} \cdot \text{м}^2 / (\text{с} \cdot \text{Бк})$ ;  $R$  – відстань від джерела до об'єкта опромінювання, м.

Приріст дози за одиницю часу називають потужністю дози. Вона характеризує швидкість накопичення дози. Найбільш часто вживаються такі одиниці вимірювання потужності дози як мкЗв/год., мЗв/год., мЗв/рік. та Зв/рік.

### 1.3. Джерела іонізуючих випромінювань

Згідно НРБУ-97/Д-2000 джерело іонізуючого випромінювання (джерело випромінювання) - об'єкт, який містить радіоактивну речовину або технічний пристрій, що створює або в певних умовах здатний створювати іонізуюче випромінювання. На стадії проектування будь-якої практичної діяльності джерело іонізуючого випромінювання розглядається як джерело як поточного, так і потенційного опромінення.

Радіоактивність – самовільне перетворення (розпад) атомних ядер деяких хімічних елементів (урану, торію, радію та ін.), що призводить до зміни їх атом-

ного номера і масового числа. Такі елементи називаються радіоактивними. При їх розпаді утворюються різні частки або електромагнітне випромінювання, які здатні іонізувати середовище.

Ядра хімічних елементів складаються з нуклідів – позитивно заряджених протонів та нейтральних нейтронів, які зв'язані між собою за допомогою сильної взаємодії.

Кількість протонів в ядрі називається його зарядовим числом - це число дорівнює порядковому номеру елемента, до якого належить атом, в таблиці (періодичної системи елементів) Менделєєва. Кількість протонів в ядрі визначає структуру електронної оболонки нейтрального атома і, таким чином, хімічні властивості відповідного елемента. Кількість нейтронів в ядрі називається його ізотопічним числом. Ядра з однаковим числом протонів і різним числом нейтронів називаються ізотопами. Ядра з однаковим числом нейтронів, але різним числом протонів - називаються ізотон. Терміни ізотоп і ізотон використовуються також стосовно атомів, що містять зазначені ядра, а також для характеристики нехімічних різновидів одного хімічного елемента. Загальна кількість нуклонів в ядрі називається його масовим числом і приблизно дорівнює середній масі атома, зазначеній в таблиці Менделєєва.

Число протонів у ядрі визначає вид хімічного елемента, до якого відноситься цей атом. Наприклад, ядро атома водню має лише один протон, атома кисню – 8, а урану – 92. У кожному атомі кількість електронів на орбітах дорівнює кількості протонів у ядрі. Електрони мають негативні заряди, які рівні зарядам протонів, отож у цілому заряд атома стабільного хімічного елемента є нейтральним.

**Радіоактивний розпад.** Ядра ізотопів певних хімічних елементів утворюють групу *нуклідів*. Деякі нукліди зберігають стабільний стан, тобто без впливу зовнішньої дії вони ніколи не зазнають перетворень. Однак більшість нуклідів є нестабільними і періодично перетворюються в інші нукліди. Вони мають назву *радіонукліди*. Процес перетворення радіонуклідів називається *радіоактивним розпадом*.

Для прикладу розглянемо особливості процесу радіоактивного розпаду атома  $^{238}\text{U}$ , в ядрі якого протони і нейтрони ледве утримуються силами внутрішнього зчеплення. Час від часу від атома  $^{238}\text{U}$  відривається компактна група з чотирьох частинок: двох протонів і двох нейтронів. Таку групу називають  $\alpha$ -частинкою, а процес відокремлення *альфа-розпадом* або *альфа-випромінюванням* (рис. 1.3).

При цьому  $^{238}\text{U}$  перетворюється у торій-234 ( $^{234}\text{Th}$ ), проте й він нестабільний. Однак трансформація  $^{234}\text{Th}$  відбувається дещо інакше: один з нейтронів ядра змінюється на протон. Водночас один електрон втрачає пару і вилітає з атома. Такий процес називають *бета-розпадом* або *бета-випромінюванням*. Розрізняють *електронний* і *позитронний* бета-розпади. Під час таких розпадів виникає ядро нового хімічного елемента, який займає відповідно попереднє або наступне місце у таблиці Менделєєва. У нашому випадку – це протактиній-234 ( $^{234}\text{Pa}$ ).

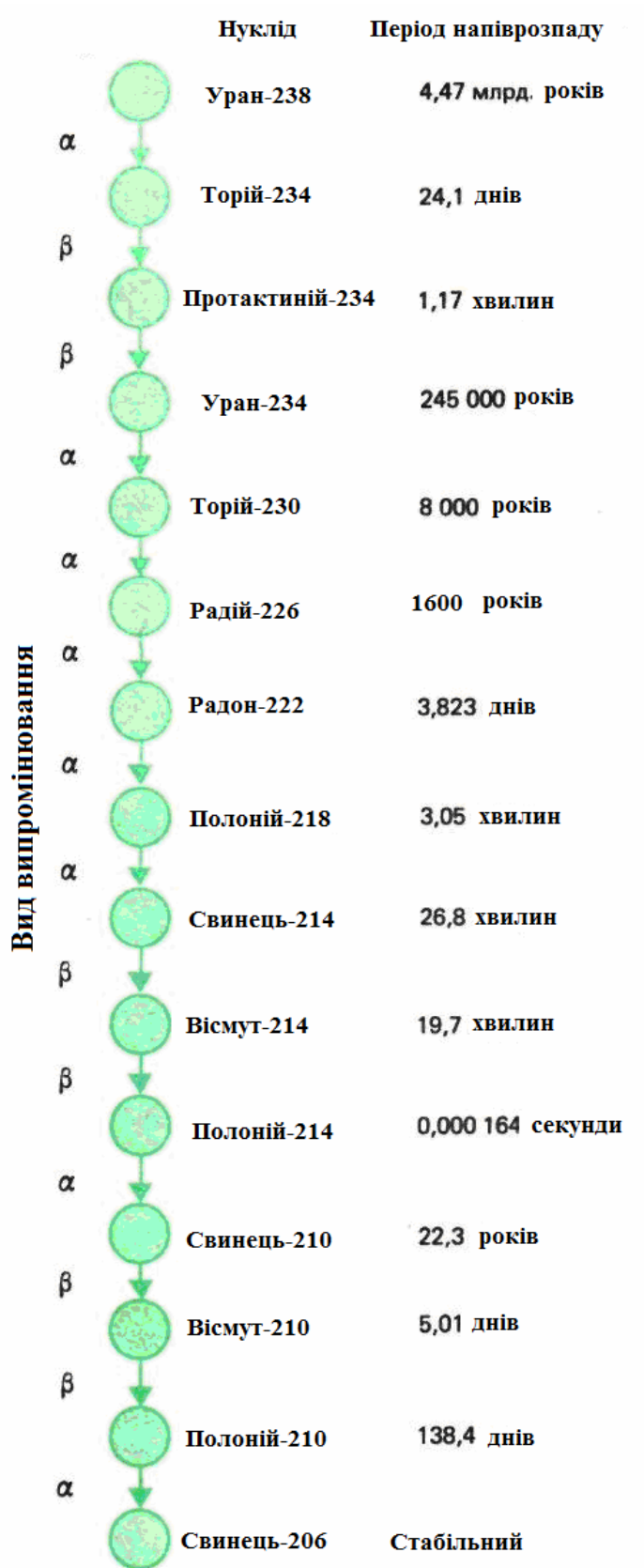


Рис. 1.3. Процес радіоактивного розпаду атома уран-238

Кожний альфа- або бета-розпад супроводжується звільненням енергії, яка передається далі у вигляді короткохвильового електромагнітного випромінювання. Нестабільний радіонуклід стає настільки збудженим, що викидає порцію

чистої енергії і при цьому не втрачаються будь-які його частинки. Спостерігається лише виділення  $\gamma$ -фотона у процесі *гамма-випромінювання*. Далі з  $^{238}\text{U}$  відбуваються інші перетворення, що супроводжуються альфа-, бета- і гамма-випромінюванням. Весь цей довгий ланцюг радіоактивних перетворень закінчується стабільним нуклідом свинцю.

Деякі радіонукліди перебувають у нестабільному стані, однак по-різному. Наприклад,  $^{234}\text{Pa}$  розпадається майже миттєво, а  $^{238}\text{U}$ , навпаки, дуже повільно. Його *період напіврозпаду*, тобто час, за який половина атомів  $^{238}\text{U}$  перетворюється у  $^{234}\text{Th}$ , становить близько 4,5 млрд. років.

За походженням радіоактивні речовини поділяють на природні й штучні. Основні радіоактивні ізотопи, які зустрічаються в гірських породах Землі, це калій-40, рубидій-87, і члени двох радіоактивних сімейств урану-238 та торію-232. Під дією космічної радіації утворюються ізотопи вуглецю-14 і тритію.

Радіоактивні мінерали – мінерали, які містять радіоактивні елементи у кількості, що значною мірою перевищує їх середній вміст у земній корі. Відомо біля 250 радіоактивних мінералів, які відносяться до різних класів - оксидів і гідроксидів, силікатів, фосфатів, сульфатів, арсенатів, ванадатів, молібдатів.

Розрізняють радіоактивні мінерали, в яких уран або торій є мінералоутворюючими елементами і радіоактивні мінерали, до складу яких радіоактивні елементи входять як ізоморфні домішки. При розпаді урану утворюється радон-222, при розпаді торію – радон-220 (торон). Це радіоактивні газы. Найбільше радону на території Фінляндії, а найменше – на території Англії. Понад 30% території України знаходиться на гранітному щиті, з якого виділяється радон.

Незалежно від бажання, людина завжди знаходиться під дією деякої природної фонової дози випромінювань (рис. 1.4). Джерела цих випромінювань знаходяться зовні (зовнішнє опромінення) або в організмі людини (внутрішнє опромінення). Причому, як правило, близько 1/3 дози припадає на зовнішнє і 2/3 – на внутрішнє опромінення. Зовнішнє опромінення складається з космічного випромінювання та випромінювання радіоактивних речовин земного походження (поверхня землі, вода, повітря тощо). Середнє значення потужності природної фонової дози зовнішнього опромінення, за винятком аномальних природних зон та зон антропогенного походження, становить близько 0,65 мЗв/рік (приблизно 0,3 мЗв від джерел космічного походження та 0,35 мЗв від джерел земного походження).

Внутрішнє опромінення виникає від радіоактивних речовин, що потрапляють в організм людини під час дихання, з водою та харчовими продуктами, а іноді і через шкіру. Потрапляючи в організм, ці речовини безперервно його опромінюють до повного розпаду або виведення їх з організму внаслідок фізіологічного обміну. Деякі радіоактивні речовини, наприклад Ra, U, Sr, мають здатність накопичуватися у критичних органах людського організму, що особливо небезпечно. Потужність природної фонової дози внутрішнього опромінення у середньому становить близько 1,35 мЗв/рік.

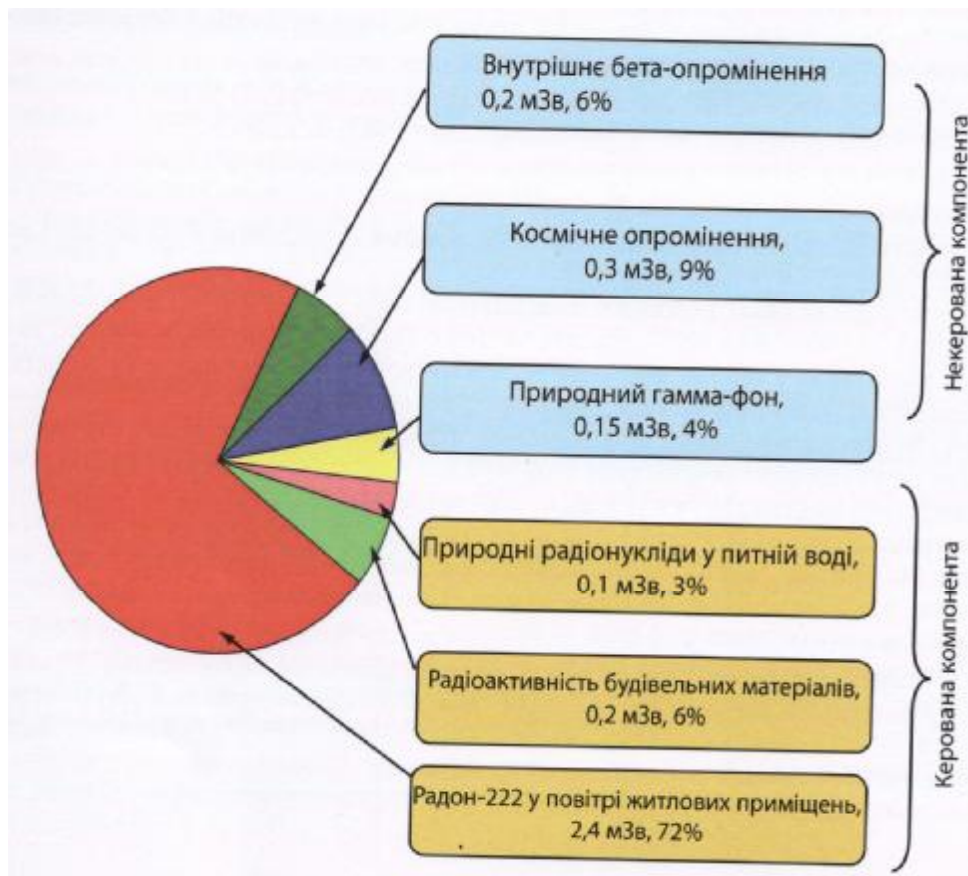


Рис. 1.4. Середньорічні ефективні дози опромінення населення України від природних джерел радіації.

Незначна частина цієї дози припадає на такі радіоактивні ізотопи, як тритій, вуглець-14, калій-40. Значно більшу частину дози внутрішнього опромінення людина одержує від радіонуклідів (продуктів радіоактивного розщеплення) урану-238 та торія-232. Деякі з них, наприклад свинець-210 та полоній-210, надходять в організм з продуктами харчування, але найбільшу частину вказаної дози дає газ радон (приблизно 3/4 дози внутрішнього опромінення).

Радон – інертний газ, без запаху та смаку, в 7,5 раз важчий за повітря, виділяється із земної кори. Основну частину дози від радону людина отримує тоді, коли вона знаходиться у приміщеннях. Радон суттєво концентрується у приміщеннях (просочується через фундамент та підлогу, виділяється з будівельних матеріалів) лише тоді, коли вони погано провітрюються. Так, взимку, в зонах з помірним кліматом, концентрація радону в закритих приміщеннях у середньому у 8 разів більше, ніж у зовнішньому повітрі.

Компоненти природної фонові дози випромінювань, значення яких не залежить від людини, прийнято виділяти як некеровану компоненту опромінення, а ту, на величину якої людина може впливати (вибором води, харчових продуктів, шляхом провітрювання та вологого прибирання приміщень тощо) – як керовану компоненту опромінення

Крім фонові, деяку дозу людина отримує від техногенних джерел радіації. Серед них можна виділити таке джерело, як діагностика та лікування захво-

рювань з використанням рентгенівського випромінювання. В середньому доза від цих джерел становить близько 0,4 мЗв/рік, але індивідуальні дози, які отримують різні люди, дуже сильно відрізняються – від нуля (у тих, що жодного разу не проходили рентгенівського обстеження) до декількох Зв (у пацієнтів, які лікуються від онкологічних захворювань).

Радіоактивні препарати – радіоізотопи або їх сполуки з різними неорганічними або органічними речовинами, які застосовуються для діагностики і лікування пухлин. Радіоактивні препарати, які використовують для діагностики, не мають фармацевтичної дії, оскільки, вводяться в мінімальних дозах. З діагностичною метою застосовують ті радіоактивні препарати, які при введенні в організм включаються до обміну речовин або діяльності органів і систем органів, які вивчаються.

Незначні додаткові дози опромінення людина отримує від таких техногенних джерел, як теплові електростанції (підвищена активність їх відходів та аерозолів), підприємств, які пов'язані з видобуванням та переробкою корисних копалин, а також різноманітних приладів та обладнання з джерелами випромінювання, що знаходять широке використання у промисловості і сільськогосподарському виробництві.

За останні 40 років кожна людина одержує додаткові дози від радіоактивних речовин, які утворились у результаті випробувань ядерної зброї. Радіоактивні продукти частково випадають неподалік від місця випробування, а частково потрапляють у тропосферу та стратосферу і звідти розсіюються по всій поверхні земної кулі. Після заборони ядерних випробувань в атмосфері доза додаткового опромінення від цього джерела знизилась до 1% від природної фонові.









Джерелом випромінювання, навколо якого виникають найбільші суперечки і яке викликає найбільше занепокоєння всього людства, є атомні електростанції. За звичайної роботи ядерного обладнання атомних електростанцій викиди радіоактивних матеріалів у довкілля незначні і не перевищують викидів теплових електростанцій. Але за аварійних обставин, страшним прикладом яких є катастрофа на Чорнобильській АЕС, ці викиди у сотні і тисячі разів перевищують викиди, що утворюються від вибуху ядерної бомби.

Крім того, для виробництва електроенергії на атомних електростанціях необхідне ядерне паливо, виробництво якого, починаючи від видобування уранової руди і закінчуючи виготовленням та транспортуванням паливних елементів, також пов'язане з додатковим радіоактивним забрудненням довкілля. Аналогічні проблеми виникають при вирішенні питань, пов'язаних із захованням відходів підприємств паливно-енергетичного циклу та атомних електростанцій.

Середні значення потужності дози зовнішнього опромінення від деяких джерел наведені у табл. 1.2.

Таблиця 1.2

## Дози опромінення від різних джерел випромінювання

	Район біля ТЕС на вугіллі 5-50 мкЗв/рік		Рентгенодіагностика 1 мЗв Флюорографія 0,4 мЗв Рентгеноскопія 9 мЗв
	Космічні промені 0,37 мЗв/рік		Перегляд телепередач 5-10 мкЗв/рік
	Поблизу АЕС 1-10 мкЗв/рік		Наслідки ядерних ви- пробувань 15-20 мкЗв/рік
	Дерев'яні будинки 0,3 – 0,4 мЗв/рік		Цегляні будинки і бу- динки із залізобетону 0,8 - 1 мЗв/рік

**1.4. Біологічна дія іонізуючих випромінювань**

Біологічна дія випромінювання на організм людини має ряд специфічних особливостей. Це, в першу чергу, пов'язано з тим, що у людини відсутні органи почуття до іонізуючих випромінювань і її високою чутливістю до опромінення. Незначна кількість поглиненої енергії випромінювання може викликати значні біологічні зміни в організмі. Характерною особливістю дії випромінювання є також наявність прихованого періоду прояви його дії та можливість накопичення за часом негативних змін в організмі при дії малих доз (кумулятивний ефект).

Дія іонізуючого випромінювання на біологічні тканини залежить від величини поглиненої дози. Іонізація біологічних тканин приводить до порушення молекулярних зв'язків та зміни хімічної структури органічних сполук. Під дією випромінювань у живих тканинах відбувається також розщеплення води на радикали  $H^+$  та  $OH^-$ , які, маючи значну активність, взаємодіють з органічними сполуками, що веде до створення нових, нетипових для здорових тканин сполук.

Дія радіації на здоров'я може бути соматичною і спадковою. Радіаційний ефект називають соматичним, якщо він спостерігається безпосередньо в опро-

міненої особи. Спадкові ефекти впливають на велику кількість людей і наступні покоління

Соматичні ефекти можуть виявлятися швидко і через значний час. Тому їх поділяють на ранні і пізні. Ранні ефекти виявляються за кілька днів або тижнів, пізні — за кілька місяців або років. Наприклад, катаракта виявляється після кількох місяців, рак — за кілька років..

Водночас наслідки соматичних ефектів можуть бути детермінованими та імовірними. Спадкові наслідки розглядаються як імовірні (рис. 1.5).



Рис. 1.5. Дія радіації на людське тіло

Детерміновані ефекти спостерігаються тоді, коли доза радіації перевищує певну величину, яку називають порогом. Чим більше перевищення порогу, тим більший негативний ефект. Для імовірних ефектів зі збільшенням дози збільшується вірогідність їх появи. У цьому разі прояв негативного впливу (ефекту) радіаційного опромінення не збільшується зі збільшенням дози опромінення.

Детерміновані ефекти мають широкий спектр — від відносно тривіальних (наприклад, почервоніння шкіри) до дуже серйозних (наприклад, безпліддя). Поріг залежить від властивостей тканини, що піддається опроміненню (рис. 1.6). Якщо на тіло діє дуже велика доза, людина гине протягом кількох днів або тижнів. На відміну від детермінованих ефектів, практично неможливо провести зв'язок між захворюванням на рак або іншу загальну хворобу і дозою радіації, яку отримала людина. Якщо людина отримала дозу і згодом захворіла на рак, необов'язковим є те, що це спричинила радіація більший негативний ефект. Для імовірних ефектів зі збільшенням дози збільшується вірогідність їх появи. У цьому разі прояв негативного впливу (ефекту) радіаційного опромінення не збільшується зі збільшенням дози опромінення.

Безпосередньо після опромінення значними дозами проявляються гострі наслідки (табл. 1.3). Доза у 100 Гр і більше викликає смерть через декілька годин внаслідок порушень центральної нервової системи. Дози у 10 – 50 Гр викликають смерть через один-два тижні внаслідок внутрішніх крововиливів. Менші дози не викликають значних пошкоджень внутрішніх органів, але в цьому випадку смерть може настати через один – два місяці внаслідок пошкодження



червоного кісткового мозку – головного компоненту кровотворної системи організму; від дози 3 – 5 Гр вмирає приблизно половина опромінених.

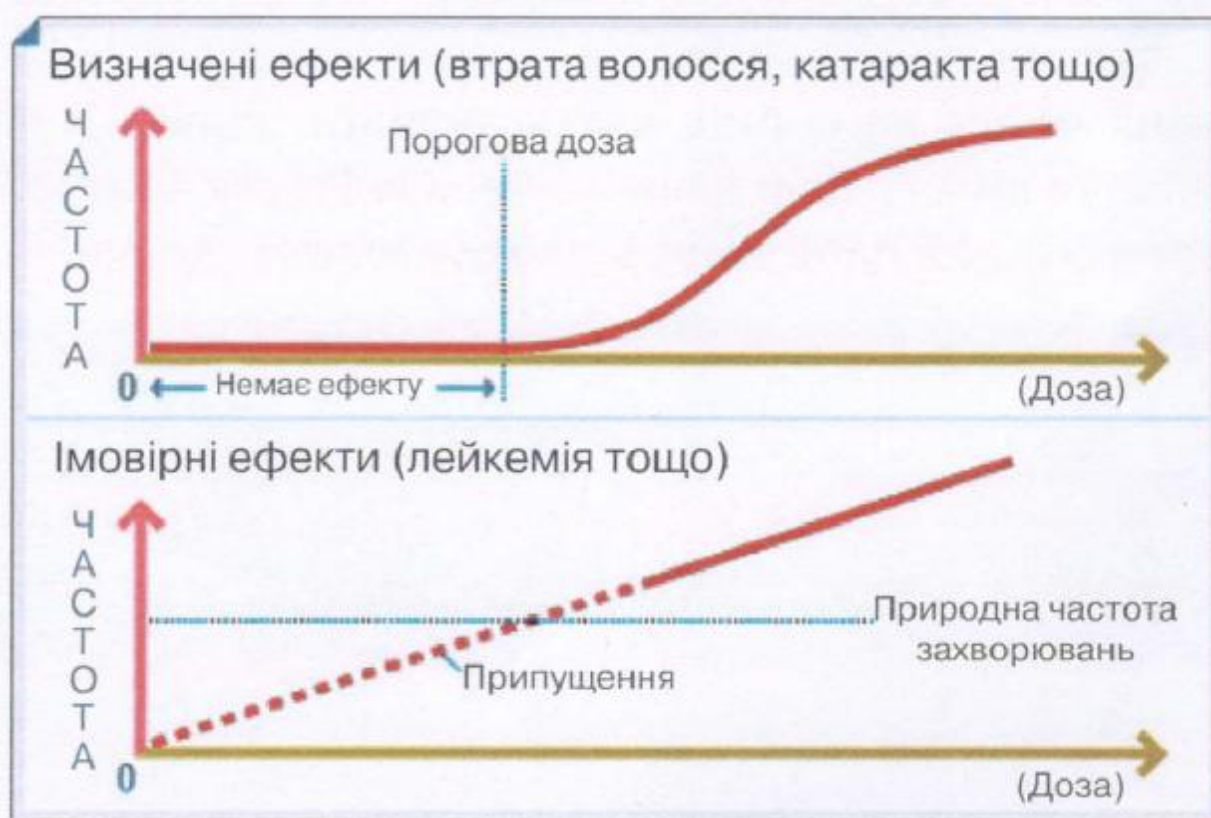


Рис. 1.6. Зв'язок між дозою і частотою захворювання

Таблиця 1.3

Дія іонізуючих випромінювань на людину

Поглинена доза, Гр	Порушення в організмі людини
До 0,25	Видимих порушень немає
0,25 - 0,50	Можливі зміни в крові
0,5 - 1,0	Зміни в крові, нормальний стан працездатності порушується
1,0 - 2,0	Погіршується самопочуття, можлива втрата працездатності
2,0 - 4,0	Втрата працездатності, можливий смертельний наслідок
4,0 - 5,0	Смертельні випадки до 50 % від загальної кількості опромінених
6,0 і більше	Смертельні випадки до 100 % від загальної кількості опромінених

Червоний кістковий мозок найбільш чутливий до опромінення і перші прикмети променевої хвороби (зміни в крові людини) проявляються вже при дозах 0,5 – 1 Гр. Дуже чутливі до опромінення також репродуктивні органи та очі. Так, одноразове опромінення сім'яників дозою всього лише в 0,1 Гр веде до тимчасової стерильності чоловіків, а дозою в 2 Гр призводить до постійної їх стерильності.

Найбільш поширені віддалені наслідки опромінення невеликими дозами – ракові захворювання. Першими в групі ракових знаходяться захворювання крові – лейкози, причому пік захворювань спостерігається в середньому через 10

років після опромінення. Від кожної дози опромінення в 1 Гр у середньому дві людини із тисячі опромінених помирають від лейкозу.

Найбільш розповсюдженими видами захворювань, що спричиняються дією радіації, є рак молочної та щитовидної залози. Ці захворювання виникають приблизно у десяти з тисячі опромінених дозою в 1 Гр, але смертність від них менша, оскільки обидві хвороби нині досить ефективно лікуються, особливо рак щитовидної залози (з десяти випадків дев'ять). Рак легенів практично не лікується. Він також належить до розповсюджених видів захворювань, ймовірність виникнення якого становить п'ять випадків на тисячу опромінених дозою в 1 Гр. Рак інших органів та тканин зустрічається серед опромінених не так часто, наприклад, рак шлунку та печінки з ймовірністю 1/1000 серед опромінених дозою в 1 Гр.

У випадках опромінення меншими дозами ймовірність виникнення віддалених наслідків змінюється пропорційно відношенню величини отриманої дози до дози в 1 Гр.

Генетичні наслідки опромінення зв'язують зі збільшенням ймовірності народження дітей з різноманітними генетичними дефектами, починаючи від незначних фізичних недоліків і закінчуючи тяжкими пороками їх розвитку. Згідно з оцінками наявних генетичних наслідків, опромінення батьків дозою в 1 Гр призводить до виникнення близько 2000 випадків генетичних захворювань на кожний мільйон новонароджених в першому поколінні, а з урахуванням генетичних наслідків, що можуть проявлятися в наступних поколіннях опромінених, загальна їх кількість може становити 15000.

Якщо виразити генетичні наслідки через такі показники, як скорочення тривалості життя та періоду працездатності, то опромінення населення дозою в 1 Гр на покоління скорочує період працездатності та тривалість життя приблизно на 50000 років на кожен мільйон новонароджених дітей першого покоління.

Молоді люди більш чутливі до радіації. На дітей радіація діє в 2—3 рази сильніше, ніж на дорослих. Що стосується статі, то різниця несуттєва, хоча частота захворювання на лейкемію серед жінок на 20% вища.

Для людей, які постраждали від опромінення, поки не виявлено детермінованих ефектів негативного впливу опромінення батьків на здоров'я їхніх дітей. Це стосується навіть тих, хто постраждав під час атомних бомбардувань Хіросіми та Нагасакі. Коли дози опромінення невеликі, виявити детерміновані ефекти впливу на здоров'я людей на тлі існування багатьох інших факторів практично неможливо.

## **1.5. Ризик як функція дози**

Питання про дію радіації на людину і навколишнє середовище приковують до себе постійну увагу громадськості і викликають досить багато суперечок. Особливо серйозну занепокоєність із приводу впливу радіації на людину і навколишнє середовище світова громадськість стала проявляти з початку 50-х років минулого століття. Причина цього полягала як у появі жахливих наслідків бомбардувань Хіросіми і Нагасакі, так і у тому, що в результаті випробувань

ядерної зброї в атмосфері, радіоактивні речовини стали поширюватися по всій земній кулі. Про дію цих речовин на людину і навколишнє середовище інформації в той час було досить мало. Все зводилося в основному до гіпотез та припущень стосовно того, як вплине на здоров'я людини іонізуюче випромінювання від джерел радіації.

Щоб дослідити це питання, Генеральна Асамблея ООН у грудні 1955 року заснувала Науковий комітет з дії атомної радіації (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR). Матеріали багаторічної роботи цього комітету заклали підвалини багатьох прикладних наук та стали основою для подальших наукових досліджень з цих питань.

Детерміновані ефекти спостерігаються тоді, коли доза радіації перевищує певну величину, яку називають порогом. Чим більше перевищення порогу, тим більший негативний ефект. Для імовірних ефектів зі збільшенням дози збільшується вірогідність їх появи. У цьому разі прояв негативного впливу (ефекту) радіаційного опромінення не збільшується зі збільшенням дози опромінення.

На відміну від детермінованих ефектів, практично неможливо провести зв'язок між захворюванням на рак або іншу загальну хворобу і дозою радіації, яку отримала людина. Якщо людина отримала дозу і згодом захворіла на рак, необов'язковим є те, що більша доза радіації спричинила більший негативний ефект. Для імовірних ефектів зі збільшенням дози збільшується вірогідність їх появи. У цьому разі прояв негативного впливу (ефекту) радіаційного опромінення не збільшується зі збільшенням дози опромінення.

Чим більша доза, тим більша імовірність появи негативних наслідків. Теоретично навіть невеликі дози можуть спричинити у майбутньому ракові захворювання, але на практиці виділити наслідки опромінення людей малими дозами на тлі дії інших факторів дуже складно. Порогового значення дози, після якого починаються негативні наслідки немає. Детерміновані ефекти за малих доз опромінення не можна виявити достовірно.

Прийнято вважати, що дози радіації, які відповідають природному фонові, нешкідливі для життєдіяльності переважної більшості організмів та їхнього потомства. Проте, навіть природний рівень випромінювання в окремих випадках може спричинити шкідливі мутації. З підвищенням дози іонізуючої радіації імовірність виникнення таких змін зростає.

Донині чітко не визначено, які дози слід вважати малими, спостерігається розбіжність у кількісних значеннях доз, котрі відносять до малих. Найчастіше під малими розуміють дози, кількісні значення яких не більше, ніж на один-два порядки перевищують значення доз, що зумовлені природним рівнем опромінення. Природні дози опромінення характеризуються потужностями порядку 1 - 4 мЗв/рік, отже малі дози становлять 10 - 400 мЗв/рік.

Для малих доз опромінення є характерним кумулятивний ефект, тобто вони можуть накопичуватися і підсумовуватися в організмі, а також генетичний ефект, тобто вони впливають не лише на організм, який опромінюється, але і на його потомство.

Одноразове опромінення великими дозами викликає більш глибокі наслідки, ніж порційне опромінення такою ж дозою за тривалий проміжок часу.

Зважаючи на це за визначенням Наукового комітету ООН з дії атомної радіації (UNSCEAR) малі дози опромінення становлять 200 мЗв для іонізуючого випромінювання із низькою швидкістю накопичення дози й 50 мЗв – із значною за потужністю поглинутої дози.

Іноді вважають, що малі дози іонізуючого випромінювання відповідають значенням, які на два або більше порядків менші за летальні. Так у клінічній практиці під малими розуміють дози 0,5...1,0 Зв, під впливом яких не виявляються ефекти ураження. Іноді малою вважають дозу, за якої починає проявлятися досліджуваний нелетальний ефект, але навіть у одній і тій же клітині рівні радіобіологічні ефекти проявляються під впливом різних доз опромінення.

Отже, малими дозами іонізуючого опромінення є ті, за умови дії яких спостерігається радіобіологічний ефект нелетального характеру. Так само як і за великих доз опромінення, під впливом малих доз проявляються стохастичні детерміністичні ефекти.

До стохастичних ефектів належать ті радіобіологічні реакції, що не мають дозового порога (хромосомні аберації, точкові мутації, трансформація клітин, втрата проліферативної активності), тобто від значення дози залежить частота їх прояву. Оскільки трансформацією клітин розпочинається пухлинне перетворення тканини, то формування зл�кїсних пухлин, індукованих опроміненням, також є стохастичним ефектом. Як типово стохастичні ефекти проявляють ті форми ушкоджень, котрі не піддаються інтегративним процесам. Для прояву стохастичних ефектів іноді потрібні досить тривалі проміжки часу після опромінення: первинні ушкодження ДНК можуть реалізуватись у віддалених нащадків опромінених клітин. Це свідчить про наявність латентного періоду у формуванні стохастичних ефектів опромінення. Стохастичні ефекти ґрунтуються на ймовірній природі влучень іонізуючих частинок або фотонів у певні клітинні структури-мішені. Стохастичні ефекти або проявляються повною мірою, або взагалі не проявляються.

Стохастичні й детерміністичні радіобіологічні ефекти в багатьох складних системах досить тісно пов'язані між собою, оскільки первинні процеси променевого ураження є ймовірними за своєю природою. Виявлено, що спостерігається діапазон малих доз опромінення, у межах якого здійснюється стимуляція росту й розвитку тваринних і рослинних організмів. Такі явища називають радіостимуляцією або гормезисом.

Гормезис спостерігають у рослин, тварин, одноклітинних організмів, у культурі клітин. Найповніше це явище досліджено у рослин. Так, опромінення насіння у малих дозах сприяє збільшенню схожості, інтенсивнішому росту паростків, що свідчить про підвищений рівень метаболічних і фізіологічних процесів. Існує думка, що радіаційний гормезис є явищем тотожним за умови застосування деяких токсичних речовин у дуже малих дозах.

Значення стимулювальних доз для багатьох видів культурних рослин виявляються не такими вже і малими, наприклад, для гороху – 3...10 Гр, кукурудзи – 5... 10 Гр, льону – 10 Гр, озимої пшениці – 25 Гр [37, 38].

Радіостимуляцію рослин виявляють не лише у разі опромінення насіння, а й при опромінюванні цибулин, бульб та інших органів вегетативного розмно-

ження. Кількісно гормезисний ефект оцінюють за збільшенням біомаси, висоти рослин або врожайності відносно неопромінених рослин. Підвищення врожаю внаслідок дії стимулюючих доз може сягати 40...60%. Регулярність прояву гормезисного ефекту в різних рослин неоднакова. Вважають, що розвиток гормезису розпочинається з появи вільно радикальних станів молекул у клітині, а вільні радикали можуть досить швидко дезактивуватися внаслідок рекомбінаційних процесів.

Явище гормезису не свідчить про те, що малі дози опромінення є безпечними для біологічних систем. Гормезис є проявом соматичних реакцій і водночас із ним можуть виникати молекулярні ушкодження, внаслідок яких формуватимуться стохастичні ефекти – генетичні порушення й трансформація клітин, що можуть проявитися до 10-20 покоління, тобто протягом періоду до 500 років.

У разі хронічного опромінення малими дозами спостерігається порушення життєдіяльності різних видів тварин і рослин. Так, у безхребетних за умов хронічного опромінення гальмується розвиток. У тварин за малих потужностей поглинутих доз ефекти більше обумовлюються наслідками подразнення, ніж радіаційного ураження.

Проблема біологічної дії малих доз іонізуючого випромінювання є надзвичайно важливою з огляду на необхідність достовірної оцінки малих доз для здоров'я людини й уточнення норм дозових навантажень.

На підставі даних, отриманих при вивченні багатотисячного контингенту жертв, що вижили після атомного бомбардування в Хіросімі і Нагасакі, і враховуючи принципову відсутність порога канцерогенної дії випромінювань, Міжнародна комісія з радіологічного захисту рекомендувала при оцінці канцерогенного ризику іонізуючих випромінювань в біляпороговому діапазоні доз керуватися лінійно-безпороговою залежністю (рис 1.7, крива «а»).

Багато вчених, незважаючи на недостатню обґрунтованість лінійно-безпорогової залежності канцерогенного ризику радіації виходячи з попереджувального характеру такого ставлення до опромінення людей, вважає правомочним оцінювати канцерогенний ризик доз променевих впливів прямо пропорційно дозі. При цьому допускається, що така оцінка ризиків не завжди буде збігатися з їх реальним значенням, але навряд чи виявиться заниженою.

Друга група фахівців вважає, що застосування лінійно-безпорогової залежності для оцінки канцерогенного ризику призводить до сильно завищених результатів в порівнянні з фактичними. Вони виступають як проти лінійності, так і проти безпороговості радіаційних ефектів. Вони вважають, що сукупність захисно-компенсаторних механізмів клітини і організму, очевидно, створює практичний поріг (рис 1.7, крива «б»).

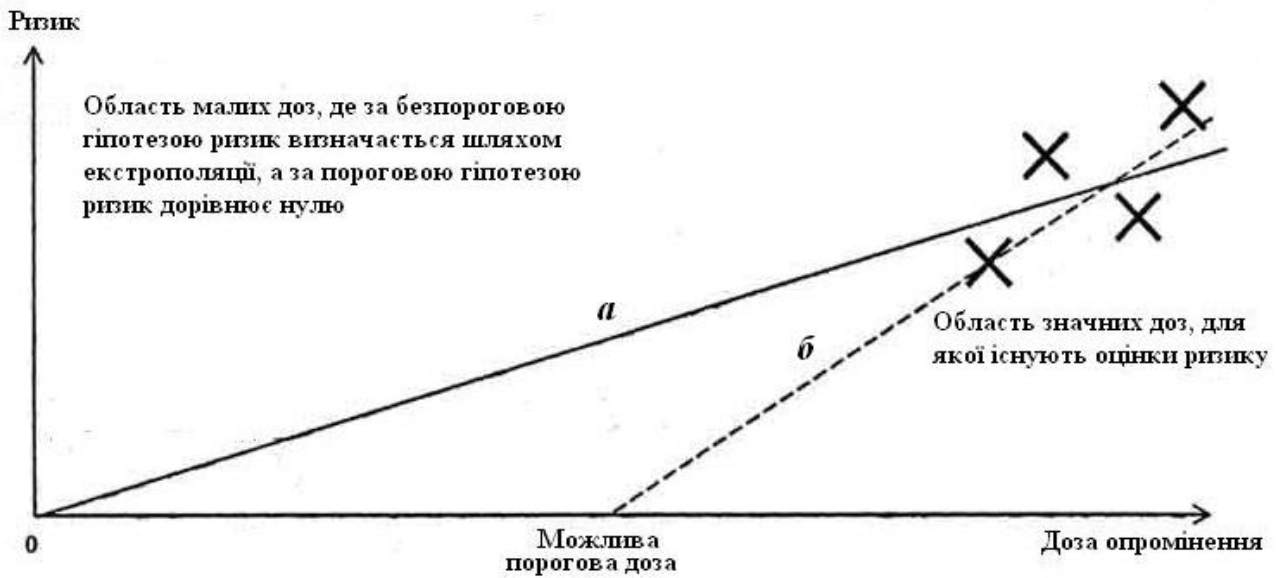


Рис. 1.7. До питання про порогову (б) і безпорогову (а) залежність.

Ще одна група фахівців звертає увагу на те, що в багатьох випадках спостерігається суттєве порушення монотонної залежності «доза – ефект». Сутність такого порушення полягає в тому, що при досить малих дозах опромінення спостерігається до кінця незрозуміле за механізмами, але стійко повторюване різке зростання чутливості організмів до опромінення, а за значно більших доз в деякому інтервалі їх значень чутливості організмів до опромінення зменшується (рис. 1.8).

Так, на Землі є території, де люди протягом багатьох поколінь проживають в умовах дії більш високих доз природного радіаційного фону: Бразилія (5 мЗв/рік), Франція (1,8-3,5 мЗв/рік), Індія (13 мЗв/рік), острів Ніуе (10 мЗв/рік), Єгипет (4 мЗв/рік).

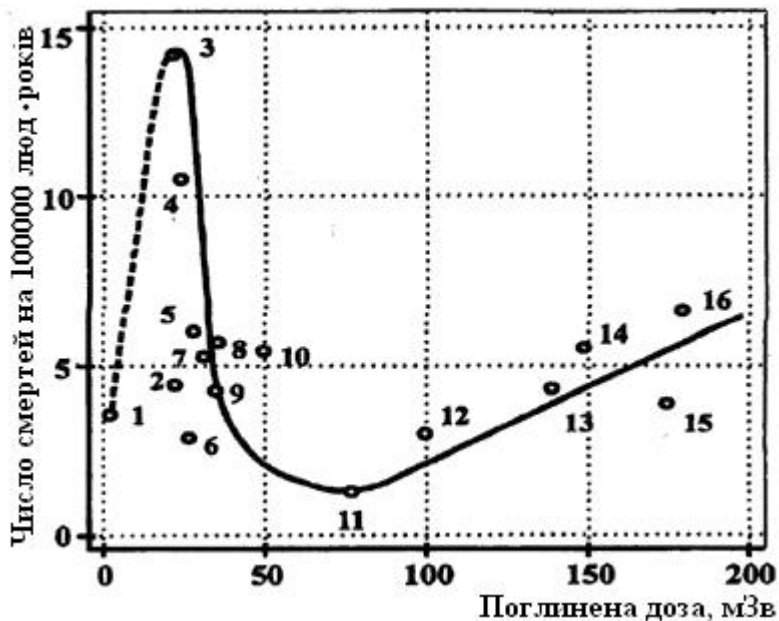


Рис. 1.8. Залежність смертності від лейкемії (на 100 000 чол. · років) від поглинутої дози.

Обстеження стану здоров'я жителів цих регіонів не виявили кореляції між рівнем природного радіаційного фону і захворюваністю на рак. Більш того, дослідження поширеності раку легенів у некурящих жінок в США (штат Північна Дакота), Швеції і Фінляндії, де природний радіаційний фон підвищений, показали, що захворюваність в цих регіонах менше ніж в аналогічних групах жінок Англії і США, з більш низьким рівнем радіаційного фону. Таким чином, багаторічне істотне перевищення середнього рівня природного радіаційного фону може не надавати негативного впливу на стан здоров'я жителів регіону. Більш того, здоров'я населення в цих областях може бути кращим, ніж в районах з більш низьким радіаційним фоном. Підтвердженням цього є результати останніх досліджень захворюваності на рак легень у китайок, які виявили меншу захворюваність серед осіб, що проживали в будинках з об'ємною активністю радону більше  $350 \text{ Бк/м}^3$  у порівнянні з тими, які проживали в будинках з об'ємною активністю радону  $4\text{-}70 \text{ Бк/м}^3$ . В той час, як за лінійною концепцією (рис. 1.7) захворюваність у першому випадку повинна була зрости в 80 разів. У японців при  $11 \text{ Бк/м}^3$  радону в будинках рак легені спостерігався майже вдвічі частіше, ніж при  $35 \text{ Бк/м}^3$ , що у багато разів перевищувала ризик за лінійною залежністю.

У 1972 році учений А. Петко з Ядерної дослідної установи Канадської Комісії з атомної енергії в Манітобі зробив відкриття. Він опромінював клітинні мембрани і відкрив, що, якщо опромінення продовжувалось тривалий час, мембрани проривалися при більш низькому загальному рівні поглиненої дози радіації, ніж якщо б ця доза була короткотерміновою. Для отримання руйнівного ефекту при тривалому опроміненні виявлялася достатньою доза, менша в 5 тисяч разів. Відомо, що клітинні мембрани не тільки утримують водянисту плазму, але виконують важливі функції в біологічних процесах. Тому неушкоджені клітинні мембрани є суттєвими для здорового життя. Це показало, що наслідки опромінення малими хронічними дозами можуть бути більш небезпечними, ніж великими дозами короткострокового опромінення.

Це відкриття знаходиться в різкому протиріччі з генетичним ефектом при дії опромінення на ядро клітини. У всіх дослідженнях з опромінення ядра клітини не виявлялося відмінностей по ефекту між загальною дозою, отриманою за короткий період або за тривалий період. Загалом у цьому випадку частіше виявлялося менший вплив малої дози, розтягнутою у часі.

Тому вважають, що навіть при малих дозах, можлива поява шкідливих впливів. Ці впливи не носять характер радіаційного синдрому і виражені у появі звичайних хвороб, які проявляються серед людей під впливом малих доз радіації. Радіобіологи продовжують досліджувати ефекти малих доз іонізуючої радіації, їх вплив на імунітет, на кровотворення, на клітинний метаболізм – процеси, що протікають в клітині живого організму. Великий інтерес проявляється до встановлення закономірностей адаптивної відповіді. Виявлено відсутність адаптивної відповіді клітини на малі дози. Тобто у випадку малих доз і альфа-випромінювання клітина не розпізнає загрозу і не включає механізми захисту.

Оцінка ризику для однієї людини чи групи населення завжди є складним завданням. Для малих доз статистична вибірка населення, яка потрібна для отримання надійного результату, є дуже великою і часом перевищує кількість населення забрудненої зони (рис. 1.9).

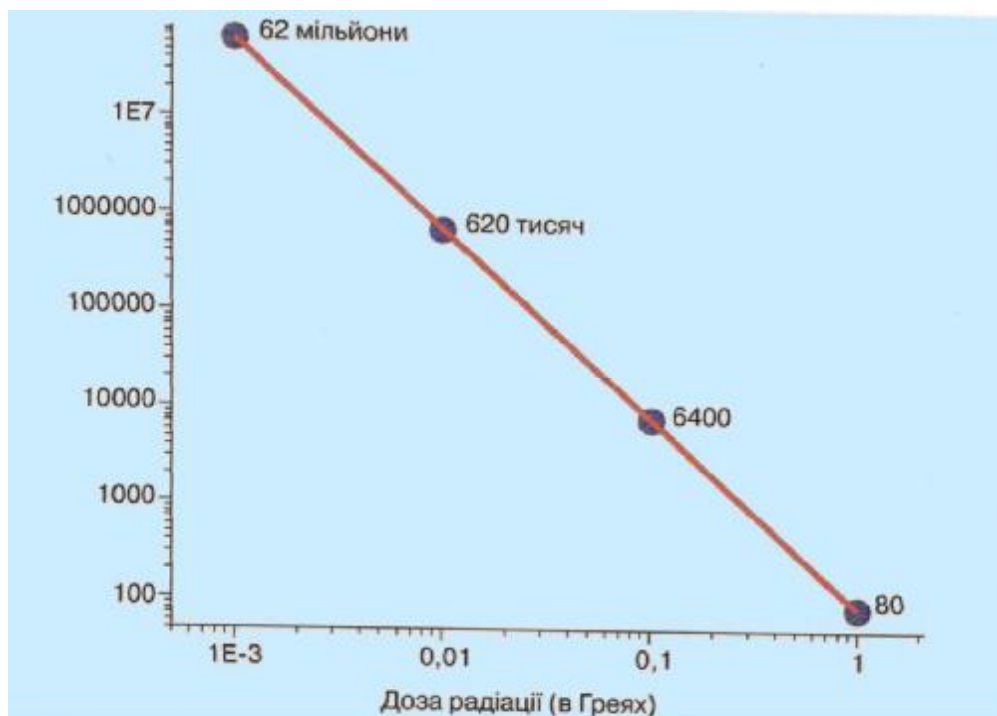


Рис. 1.9. Розмір вибірки за рівня достовірності 5%.

Слід розуміти і те, що для певних районів зі значним антропогенним навантаженням, зокрема об'єктів збагачення урану, може існувати не лише радіоактивне, а ще й хімічне забруднення довкілля. Тому оцінки ризиків мають бути комплексними і враховувати весь комплекс негативних ефектів на здоров'я людей.

На їхній стан може також впливати неадекватне сприйняття інформації, зокрема щодо негативного впливу забруднення на здоров'я. Побоювання людей позбавляє їх відчуття комфортності, спричинює пригніченість. Зрозуміло, що це також має братися до уваги під час визначення наслідків радіаційного забруднення довкілля.

### Запитання для самоконтролю

1. Які випромінювання відносяться до іонізуючих?
2. Наведіть основні характеристики різних видів випромінювань.
3. Наведіть характеристики джерел іонізуючих випромінювань.
4. Розкрийте поняття «поглинена доза».
5. Розкрийте поняття «еквівалентна доза».
6. Розкрийте поняття «ефективна доза».
7. Розкрийте поняття «потужність дози».



8. Як визначити дозу опромінення при наявності точкового джерела випромінювання?
9. Охарактеризуйте природні джерела іонізуючого випромінювання.
10. Охарактеризуйте техногенні джерела іонізуючого випромінювання.
11. Охарактеризуйте біологічну дію іонізуючих випромінювань.
12. Що відноситься до соматичних наслідків опромінення.
13. Як впливає доза опромінення на виникнення віддалених наслідків?
14. Як впливає доза опромінення на виникнення генетичних наслідків?
15. Охарактеризуйте лінійно-безпорогову залежність канцерогенного ризику радіації.

## **РОЗДІЛ 2. НОРМУВАННЯ І КОНТРОЛЬ ІОНІЗУЮЧИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ**

**Перелік умінь**, які фахівець з вищою освітою повинен набути в результаті засвоєння інформації, викладеної в другому розділі підручника.

Фахівець повинен уміти визначати гігієнічні регламенти поточного і потенційного опромінювання від різних джерел іонізуючого випромінювання та оцінювати радіаційну ситуацію при використанні джерел іонізуючого випромінювання та на радіаційно-забруднених територіях, у тому числі:

- визначати гігієнічні регламенти поточного опромінювання діяльності в умовах нормальної експлуатації індустриальних джерел іонізуючого випромінювання;
- визначати гігієнічні регламенти поточного опромінювання в умовах радіаційних аварій та від техногенно-підсилених джерел природного походження;
- вибирати рівні дій та рівні втручання в умовах радіаційних аварій;
- визначати гігієнічні регламенти потенційного опромінювання;
- вибирати прилади та обладнання для радіаційного контролю;
- здійснювати дозиметричний та радіометричний контроль з використанням вибраних приладів.

### **2.1. Основні положення та принципи нормування опромінення**

Основними документами, що встановлюють радіаційно-гігієнічні регламенти для забезпечення прийнятих рівнів опромінення, є «Норми радіаційної безпеки України» (НРБУ-97) та доповнення до НРБУ-97: «Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення» (НРБУ-97/Д-2000).

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.

Метою нормування випромінювань 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.

Це досягається шляхом введення гігієнічних регламентів, які забезпечують:

- запобігання виникнення детерміністичних ефектів у осіб, що зазнали опромінення;
- обмеження на прийнятному рівні імовірності виникнення стохастичних ефектів.

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.

Під **практичною діяльністю** вважають 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;
- появи додаткових шляхів опромінення;
- збільшення кількості людей, які зазнають опромінення;
- зміни структури шляхів опромінення від усіх, пов'язаних з цією діяльністю джерел.

При цьому може збільшуватися доза, імовірність опромінення, або кількість людей, які опромінюються.

До практичної діяльності відносяться:

- виробництво джерел випромінювання;
- використання джерел випромінювання і радіоактивних речовин в 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.

**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.

Нормування опромінення при практичній діяльності здійснюється з використанням наступних основних принципів:

- будь-яка практична діяльність, що супроводжується опроміненням людей, не повинна здійснюватися, якщо вона не приносить більшої користі опроміненню особам або суспільству в цілому у порівнянні зі шкодою, яку вона завдає (**принцип виправданості**);
- рівні опромінення від усіх значимих видів практичної діяльності не повинні перевищувати встановлені ліміти доз (**принцип неперевищення**);
- рівні індивідуальних доз та/або кількість опромінюваних осіб по відношенню до кожного джерела випромінювання повинні бути настільки низькими, наскільки це може бути досягнуто з врахуванням економічних та соціальних факторів (**принцип оптимізації**).

Згідно НРБУ-97/Д-2000 опромінення персоналу та населення в умовах практичної діяльності поділяють на дві категорії: **поточне та потенційне**.

Під **поточним** опроміненням розуміється опромінення, яке за даного технологічного (виробничого) процесу завжди супроводжує (або з високою ймовірністю може супроводжувати) практичну діяльність.

**Потенційне** опромінення персоналу та населення розглядається на стадії проектування, якщо воно реалізується безпосередньо після певної непередбаченої проектним технологічним процесом події, що визначається як критична; ця подія, в свою чергу, є прямим або опосередкованим результатом порушень технології, виходів з ладу та відмов обладнання, неправильних дій персоналу, аномальних зовнішніх впливів (включаючи природні) та інших подібних процесів і явищ; ймовірність такої критичної події не перевищує значення  $1 \cdot 10^{-2} \text{ рік}^{-1}$ .

## 2.2. Нормування поточного опромінення

НРБУ-97 регламентують опромінення людини джерелами іонізуючого випромінювання в умовах:

- нормальної експлуатації індустриальних джерел іонізуючого випромінювання;
- медичної практики;
- радіаційних аварій;
- опромінення техногенно-підсиленими джерелами природного походження.

Відповідно до цього НРБУ-97 встановлено чотири групи радіаційно-гігієнічних регламентів:

- перша – обмежує опромінення персоналу та населення при всіх видах практичної діяльності в умовах нормальної експлуатації індустриальних джерел іонізуючого випромінювання;
- друга – обмежує опромінення людей від медичних джерел;
- третя – обмежує опромінення в умовах радіаційних аварій;
- четверта – обмежує опромінення від техногенно підсилених джерел природного походження.

Враховуючи різнобічні наслідки опромінення людей іонізуючим випромінюванням, їх нормування здійснюється залежно від категорії людей, що опромінюються, а також від чутливості органів тіла людини, на які діє іонізуюче випромінювання.

Виділяють наступні категорії опромінених осіб:

Категорія А – особи з числа персоналу, які постійно чи тимчасово працюють безпосередньо з джерелами іонізуючого випромінювання;

Б – особи з числа персоналу, які безпосередньо не зайняті роботою з джерелами іонізуючого випромінювання, але у зв'язку з розташування робочих місць в приміщеннях та на промислових майданчиках об'єктів з радіаційно-ядерними технологіями можуть отримувати додаткове опромінення;

В – все населення.

Частину населення, яке за своїми статевовіковими, соціально-професійними умовами, місцем проживання та іншими ознаками може отримувати найбільші рівні опромінення від даного джерела, прийнято виділяти як критичну групу.

**Радіаційно-гігієнічні регламенти першої групи.**

Числові значення лімітів доз встановлюються на рівнях, що виключають можливість виникнення детерміністичних ефектів опромінення і, одночасно, гарантують настільки низьку імовірність виникнення стохастичних ефектів опромінення, що вона є прийнятною як для окремих осіб, так і для суспільства в цілому.

Для осіб категорій А і Б НРБУ-97 встановлюються ліміти річних ефективних доз зовнішнього опромінення, а також ліміти річних еквівалентних доз зовнішнього опромінення окремих органів і тканин людини. Аналогічні ліміти вводяться і для критичних груп осіб категорії В. Ліміти дози опромінення наведені в табл. 2.1.

Для персоналу (категорії А і Б) індивідуальна річна ефективна доза не повинна перевищувати значення відповідного ліміту дози для даної категорії (табл. 2.1). Особи, молодші за 18 років, не допускаються до роботи з джерелами іонізуючого випромінювання.

Таблиця 2.1

Ліміти дози опромінення (мЗв/рік)

Назва лімітів	Категорія осіб, які зазнають опромінення		
	А*	Б	В
<i>ЛД<sub>E</sub></i> (ліміт ефективної дози)	20**	2	1
Ліміт еквівалентної дози зовнішнього опромінення:			
<i>ЛД<sub>lens</sub></i> (для кришталика ока)	150	15	15
<i>ЛД<sub>skin</sub></i> (для шкіри)	500	50	50
<i>ЛД<sub>eltrim</sub></i> (для кистей та стіп)	500	50	-

\* Потужність дози опромінення протягом календарного року не регламентується. Для жінок дітородного віку (до 45 років), які відносяться до категорії А, доза за будь-які послідовні місяці не повинна перевищувати 1,5 мЗв.

\*\* У середньому за будь-які 5 років підряд, але не більше 50 мЗв за окремий рік.

Є також обмеження стосовно швидкості накопичення дози для вагітних жінок, підвищеного опромінення в непередбачуваних ситуаціях та інші.

Підвищене опромінювання персоналу, що планується – це опромінення персоналу (категорія А) вище встановлених лімітів доз в непередбачуваних ситуаціях при практичній діяльності.

Непередбачувані ситуації, при яких допускається планувати підвищене опромінення персоналу, характеризуються наступними умовами:

- не можуть бути усунення без проведення технологічних операцій, що передбачають перевищення лімітів доз;
- потребують термінового усунення;
- можуть призвести до розвитку радіаційної аварії або значних соціально-економічних збитків.

Обґрунтування підвищеного опромінення персоналу полягає в тому, що шкода від перевищення лімітів доз у окремих осіб з персоналу буде значно меншою, ніж можлива шкода у випадку розвитку радіаційної аварії.

При плануванні підвищеного опромінення персоналу використовується значення ЛДтах за один окремий рік - 50 мЗв.

В окремих виняткових випадках, за погодженням з органами Державного нагляду допускається перевищення ЛДтах, максимальне значення такого опромінювання становить 5ЛДтах. Особи, які зазнали одноразового опромінення в дозі 2 ЛДтах і більше, мають бути виведені з зони опромінювання і направлені на медичне обстеження. Подальша робота з джерелами випромінювання цим особам дозволяється в індивідуальному порядку за умови інформування про ризики для їх здоров'я та отримання письмової згоди від них.

Для персоналу додатково до ліміту річної ефективної дози встановлюються ліміти річної еквівалентної дози зовнішнього опромінення окремих органів і тканин (табл. 2.1):

- кришталика ока;
- шкіри;
- кистей та стіп.

Крім лімітів дози опромінення, встановлюють також допустимі рівні (ДР): надходження радіонукліду через органи дихання, концентрація радіонукліду в повітрі робочої зони, забруднення поверхонь тощо, які визначають виходячи із наведених лімітів дози опромінення. Перелік цих рівнів залежить від категорії опромінених осіб.

Для категорії А встановлено:

- допустиме надходження радіонукліду через органи дихання;
- допустима концентрація радіонукліду в повітрі робочої зони;
- допустима щільність потоку частинок;
- допустиме радіоактивне забруднення шкіри, спецодягу та робочих поверхонь.

Для категорії Б встановлено:

- допустиме надходження радіонукліда через органи дихання;
- допустима концентрація радіонукліда в повітрі робочої зони;

Для категорії В встановлено:

- допустиме надходження радіонукліда через органи дихання і травлення;
- допустимі концентрації радіонукліда в повітрі та питній воді.

Числові значення допустимих рівнів розраховані для умов впливу одного радіонукліду та одного шляху надходження при референтних умовах опромінення наведені в НРБУ-97. Під референтними умовами опромінення розуміють сукупність стандартизованих параметрів, що використовуються в НРБУ-97 з метою радіаційно-гігієнічного нормування опромінення людини (вік людини, маса органів, що опромінюються, об'єми повітря, що вдихається, тощо).

### ***Радіаційно-гігієнічні регламенти другої групи.***

*Медичне опромінення* – це опромінення людини: *пацієнтів*, внаслідок медичних обстежень чи лікування, та *добровольців*.

Нормування медичного опромінення при практичній діяльності здійснюється з використанням наступних основних принципів:

- опромінення повинно бути обґрунтованим і призначеним тільки лікарем для досягнення корисних діагностичних та терапевтичних ефектів, які неможливо отримати іншими методами діагностики та лікування (принцип виправданості);

- колективні дози, що отримує населення при проведенні рентгенологічних та радіологічних процедур, повинні бути настільки низькими, наскільки це розумно досягається з урахуванням економічних та соціальних факторів (принцип оптимізації);

- величина дози опромінення встановлюється тільки лікарем індивідуально для кожного пацієнта, виходячи з клінічних показань, і повинна враховувати необхідність запобігти виникненню детерміністичних ефектів в здорових тканинах та в організмі в цілому (принцип неперевищення).

Ліміти доз для обмеження медичного опромінення не встановлюються, а необхідність проведення певної рентгенологічної чи радіологічної процедури обґрунтовується лікарем на основі медичних показань.

Повторність однотипних рентгенологічних та радіологічних діагностичних процедур допускається тільки необхідністю і можливістю отримання нової чи розширеної інформації. Необґрунтоване дублювання однотипних діагностичних процедур забороняється.

Рекомендовані рівні медичного опромінення та детальні вимоги до обмеження і контролю за опроміненням пацієнтів регламентуються окремими спеціальними документами Міністерства охорони здоров'я України. При проведенні профілактичного обстеження населення річна ефективна доза не повинна перевищувати 1 мЗв. Перевищення цього рівня допускається лише в умовах несприятливої епідемічної ситуації за узгодженням з органами МОЗ України.

**Радіаційно-гігієнічні регламенти третьої групи** - втручання в умовах радіаційної аварії.

У відповідності з прийнятими у НРБУ-97 визначеннями, незапланована подія на будь-якому об'єкті з радіаційною чи радіаційно-ядерною технологією кваліфікується як радіаційна аварія, якщо при виникненні цієї події виконуються дві необхідні і достатні умови:

- втрата регулюючого контролю над джерелом;
- реальне (або потенційне) опромінення людей, пов'язане з втратою регулюючого контролю над джерелом.

Будь-яка незапланована подія, яка відповідає зазначеним умовам і виникла на енергетичному, транспортно-енергетичному, дослідницькому чи промисловому атомному реакторі, кваліфікується як радіаційна аварія незалежно від причин і масштабів цієї аварії.

Під визначення радіаційної аварії підпадає також широкий спектр таких подій, як крадіжки чи втрати поодиноких закритих джерел гамма-випромінювання, неконтрольовані розгерметизації джерел, що містять гамма-, бета- і альфа-випромінювачі, включаючи радіонуклідні нейтронні джерела.

У випадку, якщо радіаційна аварія призвела до одночасної втрати контролю над ланцюговою ядерною реакцією і виникненням реальної чи потенційної загрози самочинної ланцюгової реакції, то така подія кваліфікується як аварія радіаційно-ядерна.

Усі радіаційні аварії поділяються на дві групи:

1 - аварії, які не супроводжуються радіоактивним забрудненням виробничих приміщень, промайданчику об'єкту та навколишнього середовища;

2 - аварії, внаслідок яких відбувається радіоактивне забруднення середовища виробничої діяльності і проживання людей.

У результаті аварії першої групи втрата регулюючого контролю над джерелом може супроводжуватися додатковим зовнішнім рентгенівським, гамма-, бета- і нейтронним опроміненням людини.

До аварій другої групи належать:

а) аварії на об'єктах, де проводяться роботи з радіоактивними речовинами у відкритому виді, які супроводжуються локальним радіоактивним забрудненням об'єктів виробничого середовища;

б) аварії, пов'язані з радіоактивним забрудненням виробничого та навколишнього середовища, викликані проникненням у них радіоактивних речовин внаслідок розгерметизації закритих джерел гамма-, бета- і альфа-випромінювання;

в) радіаційні аварії на об'єктах ядерно-енергетичного циклу, експериментальних ядерних реакторах і критичних збірках, а також на складах радіоактивних речовин і на пунктах поховання радіоактивних відходів, де можливі аварійні газоаерозольні викиди та/або рідинні скиди радіонуклідів в навколишнє середовище.

Масштаб радіаційної аварії визначається розміром територій, а також чисельністю персоналу і населення, які втягнені до неї. За своїм масштабом радіаційні аварії поділяються на два великих класи: промислові і комунальні.

До класу промислових відносяться такі радіаційні аварії, наслідки яких не поширюються за межі територій виробничих приміщень і промайданчика об'єкту, а аварійне опромінювання може отримувати лише персонал.

До класу комунальних відносяться радіаційні аварії, наслідки яких не обмежуються приміщеннями об'єкту і його промайданчиком, а поширюються на оточуючі території, де проживає населення. Останнє стає, таким чином, об'єктом реальної чи потенційної аварійної опромінювання.

За масштабом комунальні радіаційні аварії більш детально поділяються на:

а) локальні, якщо в зоні аварії проживає населення загальною чисельністю до десяти тисяч чоловік;

б) регіональні, при яких в зоні аварії опиняються території декількох населених пунктів, один чи декілька адміністративних районів і навіть областей, а загальна чисельність утягненого в аварію населення перевищує десять тисяч чоловік;

в) глобальні - це комунальні радіаційні аварії, внаслідок яких утягується значна частина (чи уся) територія країни і її населення.



У розвитку комунальних радіаційних аварій виділяють три основних часових фази:

- а) рання (гостра) фаза аварії;
- б) середня фаза аварії, чи фаза стабілізації;
- в) пізня фаза аварії, чи фаза відновлення.

В умовах радіаційної аварії усі роботи виконуються аварійним персоналом, до складу якого входять:

а) персонал аварійного об'єкту, а також члени спеціальних, заздалегідь підготовлених аварійних бригад (медичні бригади швидкого реагування, дозиметричні аварійні групи, спеціально підготовлені для робіт в умовах радіаційної аварії пожежні команди, бригади для ремонтно-відновлювальних та будівельних робіт і інші подібні формування) - основний персонал ;

б) особи, залучені до аварійних робіт - залучений персонал, який також має бути заздалегідь навчений та інформований про радіаційну ситуацію в місцях виконання робіт.

До робіт з ліквідації наслідків промислової радіаційної аварії залучається лише основний персонал як з числа робітників об'єкту, так і професійно підготовлені робітники аварійних бригад.

Обмеження опромінення основного персоналу, зайнятого на аварійних роботах, виконується таким чином, щоб не були перевищені встановлені НРБУ-97 значення регламентів першої групи для категорії А.

На час робіт в умовах комунальної радіаційної аварії залучений персонал прирівнюється до категорії А. При цьому залучений персонал має бути забезпечений в однаковій мірі з основним персоналом усіма табельними і спеціальними засобами індивідуального і колективного захисту (спецодяг, засоби захисту органів дихання, зору і відкритих поверхонь шкіри, засоби дезактивації та ін.), а також системою вимірювання і реєстрації отриманих у ході проведення робіт доз опромінення.

Аварійний персонал повинен бути постійно поінформованим про вже отримані та можливі дози опромінення і можливу шкоду для здоров'я.

Допускається заплановане підвищене опромінення осіб зі складу аварійного персоналу (за виключенням жінок, а також чоловіків віком до 30 років) у випадках, якщо роботи в зоні аварії поєднуються з:

- а) здійсненням втручання для запобігання серйозних наслідків для здоров'я людей, які опинилися у зоні аварії;
- б) зменшенням чисельності осіб, які можуть зазнати аварійного опромінення (запобігання великих колективних доз);
- в) запобіганням такого розвитку аварії, який може призвести до катастрофічних наслідків;

При цьому мають бути застосовані усі заходи для того, щоб величина сумарного опромінення не перевищила 100 мЗв (подвоєне значення максимального ліміту ефективної дози професійного опромінення за один рік, ЛД<sub>max</sub>).

При здійсненні заходів, в яких доза може перевищити максимальний ліміт дози (ЛД<sub>max</sub>), особи з числа аварійного персоналу, які виконують ці роботи, мають бути добровольцями, які пройшли медичне обстеження, причому,

кожний з них має бути чітко і всесторонньо проінформований про ризик подібного опромінення для здоров'я, пройти попередню підготовку і дати письмову згоду на участь у подібних роботах.

У виключних випадках, коли робота виконуються з метою збереження життя людей, мають бути застосовані усі можливі заходи для того, щоб особи з числа аварійного персоналу, які виконують ці роботи, не могли отримати еквівалентну дозу на будь-який з органів (включаючи рівномірне опромінення всього тіла) більше 500 мЗв. Виконання цієї вимоги забезпечує запобігання детерміністичних ефектів.

Дози, отримані внаслідок проведення аварійних робіт, не можуть служити підставою для усунення робітників, які брали участь в цих роботах, від продовження (чи початку) такої професійної діяльності, яка пов'язана з виробничим контактом з джерелами іонізуючого випромінювання.

### ***Населення в умовах радіаційної аварії***

При виникненні комунальної радіаційної аварії окрім термінових робіт щодо стабілізації радіаційного стану (включаючи відновлення контролю над джерелом) мають бути одночасно здійснені заходи, спрямовані на:

а) зведення до мінімуму кількості осіб з населення, які зазнають аварійного опромінення;

б) запобігання чи зниження індивідуальних і колективних доз опромінення населення;

в) запобігання чи зниження рівнів радіоактивного забруднення продуктів харчування, питної води, сільськогосподарської сировини і сільгоспугідь, об'єктів довкілля (повітря, води, ґрунту, рослин тощо), а також будівель і споруд.

Протирадіаційний захист населення в умовах радіаційної аварії базується на системі протирадіаційних заходів (контрзаходів), які практично завжди є втручанням в нормальну життєдіяльність людей, а також у сферу нормального соціально-побутового, господарського і культурного функціонування територій.

При плануванні і реалізації втручань, спрямованих на мінімізацію доз і чисельності осіб з населення, які потрапили у сферу дії аварійного опромінення, слід керуватися трьома головними принципами протирадіаційного захисту в умовах радіаційної аварії

### ***Види контрзаходів***

Усі захисні контрзаходи, які застосовуються в умовах радіаційної аварії поділяються на прямі і непрямі.

До прямих відносяться контрзаходи, реалізація яких призводить до запобігання чи зниження індивідуальних і/або колективних доз аварійного опромінення населення.

До непрямих відносяться усі види контрзаходів, які не призводять до запобігання індивідуальних і колективних доз опромінення населення, але зменшують (компенсують) величину збитку для здоров'я, пов'язаного з цим аварійним опроміненням.

У залежності від масштабів і фаз радіаційної аварії, а також від рівнів прогнозованих аварійних доз опромінення контрзаходи умовно поділяються на термінові, невідкладні і довгострокові.

До термінових відносяться такі контрзаходи, проведення яких має за мету відвернення таких рівнів доз гострого та/або хронічного опромінення осіб з населення, які створюють загрозу виникнення радіаційних ефектів, що виявляються клінічно.

Контрзаходи кваліфікуються як невідкладні, якщо їх реалізація спрямована на відвернення детерміністичних ефектів.

До довгострокових належать контрзаходи, спрямовані на відвернення доз короткочасного або хронічного опромінення, значення яких, як правило, нижче порогів індукування детерміністичних ефектів.

Основою для прийняття рішення стосовно доцільності (недоцільності) проведення того чи іншого контрзаходу є оцінка і порівняння збитку, завданого втручанням, викликаним даним контрзаходом, з користю для здоров'я, за рахунок дози, відвернутої цим втручанням.

Кількісними критеріями, які є основою для вибору контрзаходу, є регламенти третьої групи:

- а) рівні втручання;
- б) рівні дії.

Рівень втручання виражається у значеннях відвернутої дози, тобто дози, яку передбачається відвернути за час дії контрзаходу, пов'язаного з цим втручанням.

Рівні дії є похідними величинами від рівнів втручання. Вони визначаються у вигляді таких показників радіаційної ситуації, які можуть бути вимірні: потужність поглинутої дози в повітрі на відкритій місцевості, об'ємна активність радіонуклідів в повітрі, концентрації їх в продуктах харчування, щільність випадіння радіонуклідів на поверхню ґрунту та ін., при перевищенні яких може розглядатися питання про проведення втручання.

При реалізації контрзаходу, як правило, відвертається не вся доза від даного аварійного джерела, а деяка її частина, так що зберігається залишковий (невідвернутий) рівень дози. В процедурі оптимізації залишковий рівень має відповідати деякій дозі опромінення, запобігання якої даним контрзаходом стає неприйнятним тому, що суттєво збільшується збиток.

Величина відвернутої дози, яка відповідає, усередненій для усієї популяції, яка опромінюється внаслідок радіаційної аварії дозі. Проте, величина прогнозованої дози для найбільш опромінених осіб з населення не повинна перевищувати таких значень, при яких можливі гострі клінічні прояви радіаційних уражень.

### ***Виправданість втручання***

У відповідності з принципами виправданості і оптимізації будь-яке втручання, пов'язане з цим контрзаходом, може бути кваліфіковано як:

- а) невиправдане,
- б) виправдане,
- в) безумовно виправдане.

Втручання є невиправданим, якщо величина дози відвернутої внаслідок такого втручання менше рівня, визначеного як найнижча межа виправданості. Межі виправданості відповідає така величина відвернутої дози, при якій користь від проведеного контрзаходу дорівнює величині завданого цим втручанням збитку.

Усі рішення щодо доцільності чи недоцільності проведення того чи іншого контрзаходу базуються на порівнянні величин відвернутої даним контрзаходом дози з відповідним значенням межі виправданості. Через те, що на практиці подібні порівняння у більшості випадків мають проводитися оперативно і на основі тих показників радіаційної обстановки, які можуть бути виміряні, значення цих показників порівнюються з відповідними рівнями дії.

Втручання кваліфікуються як безумовно виправдані, якщо значення відвернутої дози настільки великі, що користь для здоров'я від подібних втручань безумовно перевищує той сумарний збиток, яким ця акція супроводжується.

Безумовно виправданими терміновими втручаннями слід вважати такі, при реалізації яких величина відвернутої дози відповідає тим рівням опромінення, що можуть викликати гострі клінічні прояви променевого ураження: променевої хвороби, променевих опіків шкіри та ін.

В табл. 2.2. наведено значення рівнів безумовного термінового втручання при гострому і хронічному опроміненні.

Таблиця 2.2

Найнижчі межі виправданості та рівні безумовної виправданості для невідкладних контрзаходів

Контрзахід	Відвернута доза за перші 2 тижні після аварії					
	Межі виправданості			Рівні безумовної виправданості		
	мЗв	мГр		мЗв	мГр	
	На все тіло	На щитовидну залозу	На шкіру	На все тіло	На щитовидну залозу	На шкіру
Укриття	5	50	100	50	300	500
Евакуація	50	300	500	500	1000	3000
Йодна профілактика						
Діти	-	50	-	-	200	-
Дорослі	-	200	-	-	500	-
Обмеження перебування на відкритому повітрі						
Діти	1	20	50	10	100	300
Дорослі	2	100	200	20	300	1000

**Рівні втручання та рівні дії для термінових і невідкладних контрзаходів.**

До термінових і невідкладних протирадіаційних захисних заходів гострої фази аварії належать:

- укриття населення;
- обмеження у режимі поведінки (обмеження часу перебування на відкритому повітрі);
- евакуація;

- фармакологічна профілактика опромінення щитовидної залози радіоактивними ізотопами йоду з допомогою препаратів стабільного йоду (йодна профілактика);

- тимчасова заборона вживання окремих продуктів харчування місцевого виробництва і використання води з місцевих джерел.

Значення рівнів втручання та/або рівнів дії для різних типів невідкладних контрзаходів наведені в табл. 2.3.

Рішення про проведення термінових і невідкладних захисних заходів мають бути прийняті не лише з урахуванням поточного стану радіаційної ситуації, але, у першу чергу, базуватися на прогнозі її розвитку у зв'язку з очікуваними аварійними викидами і скидами, а також з використанням гідрометеорологічних прогнозів.

Таблиця 2.3

Нижні межі виправданості, безумовно виправдані рівні втручання і рівні дії для прийняття рішення про переселення

Критерії для прийняття рішення	Нижні межі виправданості	Безумовно виправдані рівні втручання і рівні дій
Доза, відвернута за період переселення, Зв	0,2	1
Доза, відвернута за перші 12 місяців після аварії, Зв	0,05	0,5
Щільність радіоактивного забруднення території довгоживучими радіонуклідами, кБк.м <sup>-2</sup>		
- <sup>137</sup> Cs	400	4000
- <sup>90</sup> Sr	80	400
- α-випромінювачі ( <sup>238</sup> , <sup>240</sup> Pu, <sup>241</sup> Am та ін.)	0,5	4
Потужність дози γ-випромінювання в повітрі на відкритій радіоактивно забрудненій місцевості, нГр.сек <sup>-1</sup> :		
- мононуклідне забруднення <sup>137</sup> CS	0,3	3
- забруднення свіжою осколочною сумішшю(на 15-день після початку аварійних випадів)	5	50

Основні організаційні і технологічні характеристики, а також перелік і розміри ресурсів, необхідних для проведення термінових і невідкладних втручань (включаючи укриття, евакуацію і йодну профілактику) мають бути визначені у відповідних аварійних планах. Такі плани мають бути заздалегідь підготовлені для сценаріїв гіпотетичних комунальних аварій різного масштабу.

Плани повинні містити також значення рівнів втручання і дій, встановлені НРБУ-97. В аварійні плани слід також включити значення рівнів дії для таких контрзаходів, як вилучення і заміна різних продуктів харчування і питної води.

В умовах гострого дефіциту продуктів харчування і питної води чи будь-яких інших складних соціально-економічних обставин можуть бути використані більш високі рівні дії, ніж наведені в табл. 2.3, для вилучення радіоактивно забруднених продуктів харчування і питної води. Проте подібні рішення мають

бути обґрунтовані застосуванням процедур виправданості і оптимізації втручання і узгоджені з органами Державного нагляду.

***Рівні втручання і рівні дії для довгострокових контрзаходів***

До довгострокових контрзаходів, які можуть здійснюватися і на ранній, і на пізній фазах аварії, належать:

- а) тимчасове відселення;
- б) переселення (на постійне місце проживання);
- в) обмеження вживання радіоактивно забруднених води і продуктів харчування;
- г) дезактивація територій;
- д) різноманітні сільськогосподарські контрзаходи;
- е) інші контрзаходи (гідрологічні, включаючи протиповеневі, обмеження, пов'язані з лісокористуванням, полюванням, рибною ловлею та ін.).

Сільськогосподарські, гідротехнічні та інші індустриально-технічні контрзаходи повинні розглядатися лише після повного завершення аварійного радіоактивного забруднення території, включаючи водойми, з урахуванням результатів детального радіаційного моніторингу.

В аварійних планах мають бути передбачені і детально визначені усі умови для такого втручання, як тимчасове відселення (і повернення) людей, включаючи:

- а) рівень втручання для подібного протирадіаційного заходу;
- б) умови відселення людей, включаючи необхідні транспортні ресурси, місця розміщення людей на період тимчасового відселення;
- в) система інформування населення про час відселення і передбачуваний час їхнього повернення;
- г) система охорони їх власності;
- д) система компенсацій завданого внаслідок відселення збитку;
- е) вимоги до структури і обсягу радіаційно-дозиметричних даних, необхідних для прийняття рішення про тимчасове відселення.

Та частина аварійного плану, яка розглядає можливості і умови переселення людей, має включати основні умови переселення:

- а) чисельні значення рівнів втручання (величина дози, відвернутої переселенням);
- б) максимальну тривалість тимчасового відселення, перевищення якої робить доцільним переселення людей на постійне місце проживання;
- в) систему обов'язкового інформування і консультацій з людьми та/або представницькими органами того населеного пункту, жителів якого планується переселити на постійне місце проживання;
- г) комплекс гарантій, відносно компенсації матеріального і соціально-психологічного збитку, пов'язаного з переселенням;
- д) вимоги до структури і обсягу радіаційно-дозиметричних даних, необхідних для прийняття рішення про переселення.

Необхідно вжити всі заходи для отримання оцінок доз опромінення, яке зазнали особи з населення, за період до проведення втручання, а також оцінок доз прогнозного опромінення, якщо прийнято рішення про відмову від будь-

якого довгострокового контрзаходу. Результати цих оцінок мають бути загальнодоступними.

Оцінки доз повинні базуватися на результатах усієї доступної інформації і постійно уточнюватися з отриманням нових, уточнених та/або розширених даних радіаційного моніторингу.

### ***Припинення втручання***

Будь-який довгостроковий контрзахід має бути призупинений, коли оцінки доз показують, що подальше його продовження не виправдане, оскільки величина невідвернутого залишкового рівня дози виявляється нижче прийнятнього.

НРБУ-97 встановлює наступний залишковий прийнятний сумарний рівень зовнішнього і внутрішнього опромінення:

- а) 1 мЗв за рік для хронічного опромінення тривалістю більше 10 років;
- б) 5 мЗв сумарно за перші два роки;
- в) 15 мЗв сумарно за перші 10 років.

Ці значення повинні враховуватись при визначенні розмірів (границь) зони аварії (комунальної).

### ***Радіаційно-гігієнічні регламенти четвертої групи***

Регламенти цієї групи спрямовані на зменшення доз хронічного опромінення людини від техногенно-підсилених джерел природного походження.

Протирадіаційний захист в умовах хронічного опромінення базується на системі заходів, які завжди є втручанням у життєдіяльність людини чи сферу господарського та соціально-побутового функціонування території.

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.

Кількісними критеріями, що забезпечують виконання зазначених вимог є:

- а) рівні втручання,
- б) рівні дій.

Рівні втручання виражаються у величинах відвернутої дози, тобто дози, яку передбачається відвернути за час дії контрзаходу, що пов'язаний з втручанням.

Рівні дій виражаються в термінах таких показників радіаційної ситуації, які можна вимірювати, зокрема:

- ефективної питомої активності (А<sub>еф</sub>) природних радіонуклідів у мінеральній сировині та будівельних матеріалах;
- потужності поглиненої в повітрі дози (ППД) гамма-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, фарфору та глини;
- питомої активності природних радіонуклідів у мінеральних барвниках.

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.

#### **Рівні дій.**

*Ефективна питома активність природних радіонуклідів у будівельних матеріалах та мінеральній сировині.*

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:

$$A_{ef} = A_{Ra} + 1,31 A_{Th} + 0,085 A_K.$$

де 1,31 і 0,085 - зважуючі коефіцієнти для торію-232 і калію-40 відповідно по відношенню до радію-226.

Коли величина  $A_{ef}$  у будівельних матеріалах та мінеральній сировині нижче або дорівнює  $370 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ , то вони можуть використовуватися для всіх видів будівництва без обмежень (I клас).

Будівельні матеріали та мінеральна сировина, в яких  $A_{ef}$  вище  $370 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ , але нижче або дорівнює  $740 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$  (II клас), можуть бути використані:

- для промислового будівництва;
- для будівництва шляхів.

г) Будівельні матеріали та мінеральна сировина, в яких  $A_{ef}$  перевищує  $740 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ , але нижче, або дорівнює  $1350 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$  (III клас), можуть бути використані наступним чином:

в межах населених пунктів:

- для будівництва підземних споруд, покритих шаром ґрунту товщиною понад 0.5 м, де виключено тривале перебування людей;

поза межами населених пунктів:

- для будівництва шляхів;
- для спорудження гребель;
- для спорудження інших об'єктів з малим часом перебування людей.

Для матеріалів, що мають естетичну цінність величина  $A_{ef}$  не повинна перевищувати  $3700 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ . 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 надано відповідні повноваження.

Наведені значення  $A_{ef}$  відносяться до усереднених значень в межах покладів корисних копалин, дільниці, відвалу або партії матеріалу, який використовується.

*Потужність поглиненої в повітрі дози (ППД) гамма-випромінювання в повітрі будинках та приміщеннях.*



Встановлені рівні дій ППД розповсюджуються на гамма-випромінювання, сформоване за рахунок активності природних радіонуклідів, включаючи природний радіаційний фон.

ППД всередині приміщень будівель та споруд, які проектуються, будуються та реконструюються для експлуатації з постійним перебуванням людей не повинна перевищувати  $4,4 \text{ нГр}\cdot\text{с}^{-1}$ , включаючи компоненту від природного фонового опромінення.

ППД всередині приміщень будівель та споруд, які експлуатуються з постійним перебуванням людей не повинна перевищувати  $7,3 \text{ нГр}\cdot\text{с}^{-1}$ , включаючи компоненту від природного фонового опромінення.

*Середньорічна еквівалентна рівноважна об'ємна активність (ЕРОА) ізотопів радону в повітрі будівель.*

В приміщеннях будівель та споруд, які будуються та реконструюються для експлуатації з постійним перебуванням людей середньорічна ЕРОА радону-222 в повітрі не повинна перевищувати  $50 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ , середньорічної ЕРОА радону-220 (торону) –  $3 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ .

В приміщеннях будівель та споруд, які експлуатуються з постійним перебуванням людей, середньорічна ЕРОА радону-222 в зоні дихання в повітрі приміщень не повинна перевищувати  $100 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ ; середньорічна ЕРОА радону-220 (торону) -  $6 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ .

При перевищенні наведених значень ЕРОА проведення контрзаходів для дитячих, санаторно-курортних та оздоровчо-лікувальних закладів, а також громадських приміщень є обов'язковими: для житлових приміщень - тільки за згодою власника житла. При цьому останнім повинна бути надана повна інформація про дози опромінення та ризики для здоров'я.

Якщо середньорічну сумарну ЕРОА радону-222 та радону-220, після проведення протирадонових заходів неможливо знизити нижче  $400 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$  (рівень обов'язкового втручання), то прийняття рішення про подальші дії належить державним органам управління.

*Питома активність природних радіонуклідів у воді джерел господарчо-питного водопостачання.*

Вміст природних радіонуклідів в джерелах господарчо-питного водопостачання не повинен перевищувати:

для радону-222 -  $100 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ ;

для ізотопів урану та радію -  $1 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ .

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) повинно мати паспорт радіаційної якості води.

*Питома активність природних радіонуклідів у мінеральних добривах.*

Для добрив, що не пилять (гранульованих) сумарна питома активність урану-238 та торію-232 не повинна перевищувати  $1,9 \text{ кБк}\cdot\text{кг}^{-1}$ .

Для добрив, що пилять (негранульованих), окрім додержання наведеної умови, сумарна питома активність торію-230 та торію-232 не повинна перевищувати  $1,9 \text{ кБк}\cdot\text{кг}^{-1}$ .

*Активність природних радіонуклідів у глиняному, порцеляно-фаянсовому та скляному посуді побутового призначення.*

Ефективна питома активність природних радіонуклідів у готовому виробі з фаянсу, порцеляни, скла та виробів з тини визначається за формулою:

$$A_{ef} = A_{Ra} + 1,31 A_{Th} + 0,085 A_{K}$$

де 1,31 та 0,085 - зважуючі коефіцієнти по відношенню до радію-226, торію і калію відповідно.

Ця активність не повинна перевищувати 370 Бк·кг<sup>-1</sup>.

*Активність природних радіонуклідів у мінеральних барвниках повинна задовольняти наступним умовам:*

$$A_{U,Ra} + 1,31 A_{Th} \leq 1400 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1},$$

де  $A_{U,Ra}$  - ефективна питома активність урану-238 (чи радію-226) в рівновазі з іншими членами уранового чи торієвого ряду; 1,31 - зважуючий коефіцієнт по відношенню до радію-226.

*Вимоги до протирадіаційного захисту людини від техногенно-підсиленних джерел природного походження на виробництві.*

Рівні дій для окремих радіонуклідів природного походження в повітрі виробничих-приміщень складають:

- ППД на робочому місці - 7,3 нГр·с<sup>-1</sup>;
- середньорічна ЕРОА радону-222 в повітрі приміщення – 300 Бк·м<sup>-3</sup>;
- середньорічна ЕРОА радону-220 (торону) в повітрі приміщення – 20 Бк·м<sup>-3</sup>.

Рівні дій для окремих радіонуклідів природного походження у виробничому пилу приміщень за умови радіоактивної рівноваги радіонуклідів уранового та торієвого сімейств складають:

- активність урану-238 і торію-232 в рівновазі з дочірніми продуктами розпаду у виробничому пилу повинні відповідати формулам:

$$A_U < 28/f \text{ кБк} \cdot \text{кг}^{-1},$$

$$A_{Th} < 24/f \text{ кБк} \cdot \text{кг}^{-1},$$

де  $f$  - безрозмірний коефіцієнт, що чисельно дорівнює середньорічній загальній запиленості повітря в зоні дихання, мг·м<sup>-3</sup>.

Для окремих виробництв чи робочих місць, рівні дій визначаються на підставі атестації робочих місць відповідних підприємств чи технологій.

***Звільнення практичної діяльності чи джерел іонізуючого випромінювання в рамках практичної діяльності від регулюючого контролю.***

Практична діяльність чи джерела іонізуючого випромінювання в рамках практичної діяльності можуть бути звільнені від регулюючого контролю, якщо регулюючими органами одержано обґрунтовану аргументацію, що джерела відповідають наведеним нижче критеріям звільнення, або рівням звільнення, що визначаються регулюючими органами на основі цих критеріїв звільнення.

Загальними принципами звільнення практичної діяльності чи джерел іонізуючого випромінювання в рамках практичної діяльності від регулюючого контролю є:

а) дози опромінення для осіб, обумовлені звільненими практичною діяльністю чи джерелами повинні бути достатньо низькими, щоб не викликати необхідності в їх регулюванні;

б) колективні дози опромінення, обумовлені звільненими практичною діяльністю або джерелами повинні бути достатньо низькими, щоб не вимагати регулюючого контролю за більшістю обставин;

в) звільнені види практичної діяльності та джерела повинні бути безпечні, тобто з низькою імовірністю несприятливого розвитку подій, можуть призвести до порушення вимог пунктів а) та б).

Звільнення практичної діяльності чи джерел іонізуючого випромінювання в рамках практичної діяльності від регулюючого контролю може бути як повним, так і обмеженим.

Практична діяльність чи джерела іонізуючого випромінювання в рамках практичної діяльності можуть бути звільнені регулюючим органом від регулюючого контролю без подальшого розгляду (повне звільнення), якщо вони одночасно відповідають за всіх можливих реальних обставин наступним критеріям звільнення:

а) річна ефективна доза від усіх шляхів опромінення для будь-якої людини за рахунок звільненої практичної діяльності чи джерела не перевищує 10 мкЗв/рік;

та

б) річна колективна ефективна доза від усіх шляхів опромінення за рахунок звільненої практичної діяльності чи джерела не повинна перевищувати 1 люд.- Зв/рік, або внаслідок оптимізації протирадіаційного захисту доведено, що звільнення є найкращим рішенням.

Якщо джерело та/або практична діяльність звільняється від регулюючого контролю, то автоматично від регулюючого контролю звільняються всі види викидів, скидів та відходів, що пов'язані з даним джерелом чи практичною діяльністю.

Для визначених регулюючим органом видів практичної діяльності контроль може здійснюватися на рівнях, нижчих за рівні звільнення.

Обмежене звільнення (звільнення від певних видів регулюючого контролю) практичної діяльності чи джерел в рамках практичної діяльності дозволяється регулюючими органами.

### **2.3. Нормування потенційного опромінення**

Основним документом, що встановлює радіаційно-гігієнічні регламенти потенційного опромінення є доповнення до НРБУ-97: «Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення» (НРБУ-97/Д-2000).

В цьому документі регламенти потенційного опромінення розглядаються відносно чотирьох груп джерел потенційного опромінення:

Перша група - джерела потенційного опромінення, що можуть призвести до опромінення окремого індивіда або невеликої групи людей.

Друга група - джерела потенційного опромінення, пов'язані з радіаційною аварією, наслідками якої можуть стати опромінення значних контингентів населення та/або радіоактивне забруднення об'єктів довкілля.

Третя група - джерела потенційного опромінення, реалізація яких пов'язана з подіями, які можуть відбутися у майбутньому (в тому числі віддаленому) на звільнених від санітарного нагляду об'єктах в результаті природних аномальних процесів та катастроф, а також ненавмисного втручання людини, через що під опромінення може підпасти населення, що проживає в момент цієї події.

Четверта група - джерела потенційного опромінення пацієнтів, яким проводять радіотерапевтичні та радіо-діагностичні процедури.

Головні відмінності між джерелами першої, другої та четвертої груп, з одного боку, та джерелами третьої групи - з іншого, пов'язані з різницями в системах регламентів потенційного опромінення, які полягають у наступному.

Потенційне опромінення від джерел першої, другої та четвертої груп розглядається тільки в період зберігання санітарного нагляду: на стадіях пусконаладжувальних робіт, експлуатації об'єкту, а також після припинення його функціонування, в тому числі і в процесі виведення об'єкту з експлуатації.

Для сховищ радіоактивних відходів (РАВ), що функціонують (навіть тих, що припинили прийом відходів і експлуатуються в режимі консервації), існує ймовірність реалізації потенційного опромінення від джерел першої та другої груп, а після виведення сховища, яке перебувало у режимі захоронення, з експлуатації (і надання йому повного або обмеженого звільнення) виникає можливість реалізації потенційного опромінення від джерел третьої групи.

При проектуванні будь-яких об'єктів з радіаційно-ядерними технологіями висока надійність протиаварійних систем повинна забезпечити зниження ймовірностей потенційного опромінення від джерел першої, другої та четвертої груп до і нижче регламентованих значень.

Нормування потенційного опромінення базується на наступних принципах протирадіаційного захисту які формулюються таким чином.

Принцип виправданості. Будь-яка практична діяльність, внаслідок якої можливе потенційне опромінення людей, не повинна здійснюватися, якщо вона не є більш корисною для осіб, які опромінювалися, та суспільства в цілому, у порівнянні зі шкодою, яку ця діяльність може завдати як нинішньому, так і майбутнім генераціям у зв'язку з можливим виникненням критичної події.

Принцип неперевищення. Усі види практичної діяльності, що підлягають санітарному нагляду, не повинні супроводжуватися перевищенням тих значень доз та ймовірностей потенційного опромінення, що регламентуються НРБУ-97/Д-2000.

Принцип оптимізації. Ймовірності критичних подій та дози потенційного опромінення, а також і кількість осіб, які можуть опинитися у сфері впливу подібних джерел, повинні бути настільки низькими, наскільки це можливо з урахуванням економічних та соціальних факторів.

Застосування принципів неперевищення й оптимізації для джерел потенційного опромінення має бути спрямоване на те, щоб після їх реалізації дози

опромінення населення виявилися нижчими за рівні виправданості при втручаннях.

Стосовно потенційного опромінення обмеженню підлягають:

- ймовірність виникнення критичної події;
- величина дози потенційного опромінення.

Такого роду регламентування базується на обмеженні узагальненого ризику та доз потенційного опромінення шляхом введення системи референтних ризиків та їхніх квот, референтних ймовірностей і референтних дозових рівнів. Узагальнений ризик виступає як міра шкоди для здоров'я людини, що опинилася у сфері дії опромінення, яка чисельно дорівнює добутку двох величин:

- ймовірності опромінення в одиницю часу (рік);
- ймовірності реалізації радіологічних стохастичних та нестохастичних (детерміністичних) наслідків для здоров'я осіб, що можуть стати об'єктами цього опромінення.

Числове значення ймовірності нестохастичних наслідків опромінення дорівнює одиниці, якщо величина цього опромінення перевищує відповідні дозові порогові, в протилежному випадку - ця ймовірність дорівнює нулю.

Референтні ризики це числові значення ризиків, які встановлено для обмеження потенційного опромінення персоналу та населення, що не перевищують рівні прийняттого ризику.

При регламентуванні ймовірності критичної події, остання, в загальному випадку, оцінюється з урахуванням імовірності всіх часткових (можливих окремих складових) критичних подій, виникнення кожної з яких неминуче супроводжується опроміненням. Після реалізації критичної події людина опиняється у полі цього опромінення з імовірністю, яка дорівнює одиниці.

На стадії проектування системи протирадіаційного захисту принципи "неперевищення" і "оптимізації" реалізуються так, щоб пов'язана з потенційним опроміненням шкода, виражена в одиницях ризику, не перевищувала і виявилася настільки, наскільки це може бути досягнуто нижче встановлених даним документом рівнів референтних ризиків.

НРБУ-97/Д-2000 встановлено наступні числові значення референтних ризиків потенційного опромінення:

- для персоналу  $2 \cdot 10^{-4}$  рік<sup>-1</sup>;
- для населення  $5 \cdot 10^{-5}$  рік<sup>-1</sup>.

Якщо величини ризиків нижчі за  $5 \cdot 10^{-7}$  рік<sup>-1</sup>, то відповідні цим ризикам рівні опромінення не беруться до уваги, а вказане граничне значення ризику визначається як «ризик, що ігнорується».

*Джерела потенційного опромінення першої та другої групи.*

Значення ризиків для джерел першої та другої груп встановлені так, щоб величини цих ризиків були прийнятними для індивідів і суспільства в цілому. Під прийнятними розуміються такі ризики, величини яких покладено в основу встановлених НРБУ-97 лімітів доз для персоналу, а також лімітів доз і дозових рівнів припинення втручання для населення.

Значення референтних ймовірностей критичних подій, пов'язаних з джерелами потенційного опромінення першої групи наведено в табл. 2.4 та 2.5.

Основою аналізу ймовірності критичної події є послідовний розгляд початкових, проміжних і кінцевих подій, що спричиняють критичну. Такий розгляд повинен містити:

- ідентифікацію сценаріїв (послідовностей) розвитку подій (або відмов), що спричиняють припинення нормального функціонування системи(\*), і які завершуються критичною подією;
- оцінки ймовірностей часткових критичних подій (з урахуванням оцінок імовірності проміжних подій (відмов));
- оцінку ймовірності критичної події;
- оцінку доз потенційного опромінення персоналу та населення, пов'язаних з критичною подією;
- порівняння отриманих імовірнісних і дозових оцінок з відповідними регламентами (табл. 2.4 та 2.5).

Таблиця 2.4

Референтні ймовірності критичних подій, які супроводжуються реалізацією потенційного опромінення населення від джерел першої групи

Інтервал ефективних доз потенційного опромінення, мЗв на подію	Референтна ймовірність, рік <sup>-1</sup>
не перевищує 50	$1 \cdot 10^{-2}$
вище 50	$2 \cdot 10^{-5}$

Таблиця 2.5

Референтні ймовірності критичних подій, які супроводжуються реалізацією потенційного опромінення персоналу від джерел першої групи

Інтервал доз потенційного опромінення		Референтна ймовірність, рік <sup>-1</sup>
Ефективна доза, мЗв на подію	не перевищує 100	$1 \cdot 10^{-2}$
	вище 100	$2 \cdot 10^{-4}$
Еквівалентна доза, мЗв на подію	150 -500	$2 \cdot 10^{-4}$
Поглинута доза, мГр на подію	вище 1000	$5 \cdot 10^{-7}$

Аналіз критичних подій для джерел потенційного опромінення першої та другої груп повинен, зокрема, розглядати наступні події:

- помилки, неправильні дії персоналу;
- відмови конструктивних елементів системи (блоків, вузлів, або системи у цілому), вихід з ладу (руйнування) стаціонарних конструкцій;
- відмови, пов'язані з не планованими процесами в матеріалах;
- відмови, пов'язані з порушеннями у системі протирадіаційного захисту, враховуючи вихід з ладу пасивних та активних елементів бар'єрних конструкцій;
- неповернення джерела іонізуючого випромінювання на передбачені технологічним процесом позиції (наприклад, неповернення в положення зберігання);
- загублення, крадіжки джерел;

- непередбачені зміни технологічних позицій (орієнтації, локалізації) джерела в процесі його транспортування ("транспортні аварії");
- незаплановане попадання радіоактивних речовин (джерел) у довкілля з можливим наступним його розпорошенням, або без нього;
- зовнішні аномальні події, в тому числі природні.

Для прогнозу поведінки системи та оцінки ймовірності виникнення відмов використовується побудова логічних структур, які описують послідовно-паралельний взаємозв'язок та взаємозалежність між її системоутворювальними блоками, вузлами та елементами.

При проектуванні нових (або модернізації наявних) об'єктів з радіаційно-ядерними технологіями в розділах, пов'язаних з виконанням вимог радіаційної безпеки, повинні міститися розрахункові оцінки ймовірностей критичних подій і пов'язаних з ними доз потенційного опромінення, з обґрунтуванням та описом процедур їх отримання, а також обґрунтуванням заходів, які знижують ці ймовірності та дози до регламентованих значень.

Спеціальний документ (частина проекту: "Захист від потенційного опромінення"), що доповнює проектну документацію, повинен містити:

- обґрунтування проектного набору сценаріїв критичних подій;
- повний опис проектних сценаріїв, відповідних даним конкретним конструктивно-технологічним рішенням;
- вибір та обґрунтування параметрів, необхідних для побудови ймовірних характеристик початкових і проміжних подій, а також дерев відмов;
- кількісні оцінки ймовірностей окремих критичних подій, критичних подій і доз потенційного опромінення, що прогнозуються;
- обґрунтування прийнятих у проекті протирадіаційних і протиаварійних конструкторсько-технологічних рішень, які забезпечують зниження ймовірності критичних подій і доз потенційного опромінення до значень, що не перевищують регламентовані;
- обґрунтування зонування приміщень об'єкту, що враховує ймовірності виникнення в різних технологічних зонах (приміщеннях) критичних подій і пов'язаних з цими подіями доз потенційного опромінення персоналу.

Для зниження ймовірності виникнення критичних подій, спричинених помилками персоналу, спеціальні документи, які затверджуються органами державного регулювання, повинні передбачати вимоги до навчання та регулярних тренувань персоналу, а проектна документація повинна містити необхідні для цієї мети проектні рішення та ресурси.

Проектом мають бути передбачені заходи, що забезпечують необхідний рівень фізичного та технологічного захисту від несанкціонованого доступу до блоків, вузлів, систем, відмова яких може спричинити критичну подію.

*Джерела потенційного опромінення третьої групи.*

Основною метою протирадіаційного захисту відносно джерел потенційного опромінення третьої групи є:

- зведення до прийняттого рівня потенційних збитків, пов'язаних зі шкідливими ефектами іонізуючого опромінення, для окремих індивідів, сучасного суспільства в цілому, а також довкілля;

- мінімізація усіх видів збитків, що можуть бути нанесені майбутнім поколінням та середовищу їхнього існування у випадку реалізації критичних подій;

- забезпечення захисту майбутніх поколінь від потенційного опромінення на рівні не нижчому прийнятному у сучасному суспільстві, до того ж, без будь-яких припущень щодо можливості використання більш низької ефективності цього захисту у зв'язку з очікуваним вдосконаленням в майбутньому протирадіаційних засобів і технологій, а також фармакологічних засобів підвищення радіорезистентності.

НРБУ-97/Д-2000 встановлюються основні принципи та підходи до обмеження потенційного опромінення від таких джерел третьої групи, які пов'язані з можливими критичними подіями в місцях захоронення РАВ.

Під радіоактивними відходами розуміється особливий вид радіоактивних матеріалів (у будь-якому агрегатному стані), відносно яких:

- встановлено, що ні зараз, і ніколи в майбутньому вони не можуть бути використані, або

- ще нема остаточного рішення відносно того, яким чином ці матеріали можуть бути використані в рамках сучасних або створених у майбутньому технологічних процесів, а також

- вміст (питома активність) радіонуклідів у цих відходах перевищує встановлені "Основними Санітарними правилами забезпечення протирадіаційного захисту України" (ОСПУ) рівні вилучення цих радіонуклідів із сфери санітарного нагляду.

Встановлюються дві форми збереження РАВ:

- зберігання: вид тимчасового збереження РАВ, коли тимчасовий характер зумовлений тим, що або проектною технологією передбачене попереднє зберігання РАВ протягом певного терміну, або необхідність тимчасового збереження РАВ виникла при ліквідації (мінімізації) наслідків аварії;

- захоронення: такий вид постійного збереження РАВ, при якому використання цих РАВ в будь-яких сучасних або майбутніх технологічних процесах виключається.

Стосовно сховищ, які експлуатуються в режимі «зберігання» (тимчасове збереження) вимоги до обмеження доз потенційного опромінення відповідають вимогам які пред'являються до джерел першої та другої груп.

*Основні принципи радіаційного захисту при захороненні РАВ.*

Відповідно до загальної стратегії протирадіаційного захисту, заходи щодо мінімізації доз опромінення персоналу та населення під час усіх видів діяльності, пов'язаної з захороненням РАВ, реалізуються в межах двох часових періодів:

- при проведенні практичної діяльності протягом усього періоду, що передує звільненню захоронення РАВ від регулюючого контролю;

- після звільнення захоронення РАВ від санітарного нагляду.

На стадії, коли зберігається санітарний нагляд, регламенти, які обмежують дозу потенційного опромінення населення внаслідок критичної події на сховищах РАВ, встановлюються у формі референтних ймовірностей критичних подій (як для джерел першої та другої груп);



Реалізація основного принципу захисту майбутніх генерацій від можливого радіаційного впливу джерел потенційного опромінення третьої групи, пов'язаних з захороненнями РАВ після їхнього повного (або часткового) звільнення від санітарного нагляду, досягається за рахунок встановлення наступних імовірнісних і дозових регламентів:

а) імовірність критичної події, що може спричинити потенційне опромінення майбутніх генерацій, не повинна перевищувати  $1 \cdot 10^{-2}$  рік<sup>-1</sup>;

б) величина потенційного опромінення обмежується введенням референтних дозових рівнів:

- референтний рівень А, який дорівнює 50 мЗв на рік, перевищення якого у випадку реалізації потенційного опромінення відповідає умовам виправданості (або безумовної виправданості) відповідних втручань;

- референтний рівень Б, який дорівнює 1 мЗв на рік, неперевищення якого у випадку виникнення потенційного опромінення визначає, що будь-які втручання є невиправданими.

З урахуванням максимального значення критичної події, що дорівнює  $1 \cdot 10^{-2}$  рік<sup>-1</sup>, референтному рівню Б відповідає значення ризику  $5 \cdot 10^{-7}$  рік<sup>-1</sup> (ризик, що ігнорується), що, у свою чергу, можна порівнювати з ризиком від поточного опромінення  $10$  мкЗв·рік<sup>-1</sup>.

При розгляді джерел потенційного опромінення третьої групи стосовно поховань РАВ всі критичні події поділяються на:

- події, пов'язані з природними (у тому числі, катастрофічними) процесами та явищами;

- події, пов'язані з ненавмисним втручанням людини.

До критичних подій, пов'язаних з природними процесами, належать ті, для яких числові значення ймовірності їхнього виникнення можуть бути оцінені на підставі частотного аналізу історико-геологічної інформації про навколишнє середовище, а також про інженерно-конструкційні властивості сховища. Це зокрема:

- процеси, що спричиняють такі зміни фізико-хімічних властивостей матеріалів РАВ у сховищі, які підвищують їхні фільтраційно-міграційні характеристики;

- процеси зміни і деградації захисних (бар'єрних) властивостей контейнерів з РАВ та інженерних конструкцій сховища;

- природні процеси, що супроводжуються затопленням сховища РАВ: зміна русла річок, аномальні паводки, аномальні підвищення рівня ґрунтових вод тощо;

- катастрофічні процеси, спричинені землетрусами у регіонах розміщення сховищ РАВ тощо.

Критичні події, пов'язані з ненавмисним втручанням людини у тіло сховища РАВ, можуть виникнути:

- у процесі буріння свердловин під час геологорозвідувальних і гірничих робіт;

- під час ґрунтових і будівельно-монтажних робіт;

- під час буріння з метою будівництва джерел питного водопостачання.

Такі втручання супроводжуються повним (частковим) руйнуванням інженерних і природних бар'єрів сховища, винесенням матеріалу сховища на поверхню і, як наслідок, можливим опроміненням населення.

Оскільки оцінка імовірності критичних подій, пов'язаних з ненавмисним втручанням людини, завжди ускладнена, виконання умов щодо реалізації основного принципу захисту, при аналізі такого роду подій повинно виконуватися за рахунок:

- заборони відведення майданчиків під поверхневі або приповерхневі (заглиблені) сховища у межах територій, перспективних з точки зору родовищ корисних копалин, враховуючи наявність підземних водних ресурсів, придатних для питного водопостачання;

- заглиблення приповерхневих сховищ до відміток, що зменшують імовірність пошкодження тіла сховища при будівельних та сільськогосподарських роботах;

- введення спеціальних заходів, спрямованих на тривале збереження інформації про місце поховання (враховуючи довгострокові попереджувальні знаки-споруди) в рамках виконання спеціальних умов обмеженого звільнення;

- відмови від проектних рішень, пов'язаних з будівництвом сховища поверхневого (приповерхневого) типу та переходу до розгляду захоронення РАВ у глибоких стабільних геологічних формаціях, що істотно зменшує імовірність ненавмисного втручання людини у сховища подібного типу.

Для сховищ РАВ повною мірою застосовуються три головні принципи радіологічного захисту від потенційного опромінення у формулюваннях, що враховують специфіку подібних об'єктів:

*Принцип виправданості.* Діяльність, пов'язана з поводженням з РАВ вважається, як виправдана, якщо збитки від цієї діяльності враховано в сумі повних (сумарних) збитків, пов'язаних з функціонуванням РАВ-утворюючої технології об'єкту, компанії, галузі в цілому, та величина сумарних збитків не перевищує величину користі від даної технології, пов'язаної з функціонуванням РАВ-утворюючого об'єкту, компанії, галузі.

*Принцип неперевищення.* Всі види діяльності, пов'язані з захороненням РАВ, не повинні спричиняти дози, що перевищують середньорічні ліміти доз для персоналу та дозові квоти поточного опромінювання для членів критичної групи населення, а також дози та ймовірності потенційного опромінення, що перевищують числові значення відповідних регламентів, встановлених даним документом.

*Принцип оптимізації.* Повинні вживатися всі необхідні зусилля для зниження настільки, наскільки це можливо і досяжно з урахуванням економічної і соціальної доцільності:

- а) доз поточного опромінення населення в інтервалі значень, нижчих за встановлені середньорічні дозові квоти;

- б) ймовірностей реалізації критичних подій в інтервалі значень, нижчих за референтні ймовірності критичних подій;

- в) доз потенційного опромінення в інтервалі значень, нижчих за референтні дозові рівні.

НРБУ-97/Д-2000 для сховищ РАВ встановлюються числові значення регламентів, що обмежують дози поточного і потенційного опромінення (табл. 2.6).

Таблиця 2.6

Основні радіаційно-гігієнічні регламенти при захороненнях РАВ

Регламент	Застосування	Числові значення
Квота річної ефективної дози та дозовий рівень звільнення	Поточне опромінення населення від газо-аерозольних викидів і водних скидів, пов'язаних з нормальним функціонуванням сховищ РАВ	- При збереженні контролю з боку органів державного регулювання - 0,04 мЗв·рік <sup>-1</sup> ; - На момент і після звільнення від контролю з боку органів державного регулювання - 0,01 мЗв·рік <sup>-1</sup>
Квоти референтних ризиків радіологічних наслідків	Потенційне опромінення на стадії контролю з боку органу державного регулювання	- Персонал $2 \cdot 10^{-4}$ рік <sup>-1</sup> ; - Критична група з населення $2 \cdot 10^{-5}$ рік <sup>-1</sup>
Референтні ймовірності критичних подій	Потенційне опромінення на стадії контролю з боку органу державного регулювання	Числові значення наведені в таблицях 2.4 та 2.5
Референтні рівні потенційного опромінення А і Б	Потенційне опромінення населення при реалізації критичних подій, пов'язаних із природними аномальними подіями і ненавмисним втручанням людини після звільнення від контролю з боку органу державного регулювання	- Референтний рівень А – 50 мЗв·рік <sup>-1</sup> ; - Референтний рівень Б – 1 мЗв·рік <sup>-1</sup>

Повне звільнення РАВ у сховищах від контролю з боку органу державного регулювання, надається за умов:

а) неперевищення питомої активності для кожного з нуклідів, що містяться в РАВ, регламентованих ОСПУ;

б) неперевищення річної ефективної дози поточного опромінення критичної групи населення (0,01 мЗв·рік<sup>-1</sup>) та колективної річної ефективної дози поточного опромінення 1 люд.-Зв;

в) неперевищення референтного рівня Б потенційного опромінення (1 мЗв·рік<sup>-1</sup>).

Обмежене звільнення РАВ у сховищах від контролю з боку органу державного регулювання, надається, якщо рівні вилучення за критеріями, встановленими ОСПУ, перевищені, однак гарантується:

а) неперевикнення річної ефективної дози поточного опромінення критичної групи населення  $0,01 \text{ мЗв}\cdot\text{рік}^{-1}$  та колективної річної ефективної дози поточного опромінення  $1 \text{ люд}\cdot\text{Зв}$ ;

б) неперевикнення референтного дозового рівня Б потенційного опромінення  $1 \text{ мЗв}\cdot\text{рік}^{-1}$ .

Якщо при виконанні умови а) величина потенційного опромінення знаходиться в інтервалі між рівнями  $1\text{-}50 \text{ мЗв}\cdot\text{рік}^{-1}$  на розсуд органу державного регулювання обмежене звільнення РАВ у сховищах може бути надане зі спеціальними вимогами.

*Джерела потенційного опромінення третьої групи.*

Принципи протирадіаційного захисту, що враховують джерела потенційного опромінення пацієнтів (а також добровольців) внаслідок медичних обстежень або лікування формулюються наступним чином:

- додатковою умовою виправданості є необхідність того, щоб користь для здоров'я пацієнта, пов'язана з такого роду діагностикою та лікуванням, переважала також і можливі збитки від потенційного опромінення, яке може реалізуватися у зв'язку з відмовами технічних приладів, а також з помилками або ненавмисними діями персоналу при здійсненні цих процедур;

- принцип неперевикнення означає, що за всіх можливих сценаріїв виникнення критичної події, пов'язаної з можливою реалізацією потенційного опромінення пацієнта, треба прагнути до того, щоб величина можливого опромінення здорових тканин та організму в цілому виявилася нижче за поріг детерміністичних ефектів;

- принцип оптимізації величини потенційного опромінення пацієнта та ризику виникнення такого роду критичних подій вимагає, щоб при плануванні та реалізації медичних процедур величина доз потенційного опромінення та ризику виникнення відповідних критичних подій були настільки малими, наскільки це розумно і досяжно з урахуванням економічних і соціальних факторів, а також з урахуванням стану пацієнта та медичних показань до проведення даної процедури.

При рентгенодіагностичних і терапевтичних процедурах джерела потенційного опромінення повинні розглядатися:

- на стадіях розробки та проектування приладів і апаратів, а також технологій виконання цих процедур;

- на стадії виконання процедур у зв'язку з можливими відмовами приладів, а також помилками персоналу.

Детальний перелік вимог і правил, що обмежують потенційне опромінення пацієнтів під час діагностичних і терапевтичних процедур, встановлюється Міністерства охорони здоров'я України, у тому числі вимоги до проектування рентгенодіагностичних і терапевтичних приладів і технологій, а також вимог до кваліфікації, навчання і заходів попередження помилок медичного персоналу.

## 2.4. Види та методи радіаційного контролю

Завдання радіаційного контролю полягає у кількісній і якісній оцінці параметрів радіаційної ситуації, зумовленої наявністю природних і техногенних джерел радіації та в розробці оптимального способу господарювання за таких умов. Згідно НРБУ-97 розрізняють наступні види радіаційного контролю:

- *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.

- *контроль індивідуальний дозиметричний* - система контролю індивідуальних доз зовнішнього та внутрішнього опромінення осіб категорій А і Б.

- *контроль регулюючий* (радіаційний) - контроль у рамках практичної діяльності за виконанням Норм радіаційної безпеки України, Основних санітарних правил забезпечення радіаційної безпеки України та інших регламентуючих документів, а також отримання інформації про рівні опромінення людей, радіаційний стан на об'єктах та у навколишньому середовищі.

Розрізняють такі методи реєстрації та вимірювання іонізуючих випромінювань: іонізаційний, сцинтиляційний, фотометричний, калориметричний, хімічний, напівпровідниковий, радіогеохімічний, радіоспектроскопічні та ін.

**Іонізаційний метод** ґрунтується на здатності жорстких електромагнітних випромінювань та частинок, що рухатися з великою швидкістю, спричиняти іонізацію газів. Іонізаційні детектори випромінювань являють собою герметичні камери, заповнені певним газом, з двома електродами, до яких підведена напруга. При появі носіїв електричного заряду (іонів) виникає імпульс струму, силу якого реєструють за допомогою високочутливих вимірювачів. Для підвищення чутливості іонізаційних детекторів напруга, що прикладається до електродів, вибирається такою, щоб іони, які виникають при взаємодії випромінювання з молекулами газу і прискорюються під дією електричного поля, були здатні в свою чергу спричиняти іонізацію газу.

**Сцинтиляційний метод.** Високочутливим щодо реєстрації іонізуючого випромінювання вважається метод, що ґрунтується на використанні сцинтиляторів – органічних чи неорганічних речовин у вигляді хімічних розчинів або кристалів, наприклад йодиду натрію, нафталіну, антрацену. У сцинтиляторах під дією іонізуючого випромінювання виникають світлові спалахи, які реєструються за допомогою фотоелектронного множника. Цей ефект застосовують у сцинтиляційних дозиметрах.

**Фотометричний метод** реєстрації заснований на властивості іонізуючих випромінювань, впливати на чутливий шар фотоматеріалів аналогічно видимого світла. Ступінь почорніння фотоемульсії характеризується оптичною щільністю почорніння. Метод полягає у виявленні ступеня почорніння плівки, яка пропорційна експозиційній дозі. Щільність почорніння вимірюють за допомогою денситометрів. Переваги методу в порівнянні з іншими методами: дешевизна, можливість тривалого зберігання інформації, несприйнятливості до ударів, зміни температури. До недоліків методу слід віднести невисоку чутливість,

неможливість безпосередньо вимірювати дозу опромінення, залежність показань від умови обробки плівки.

**Калориметричний метод** реєстрації заснований на вимірюванні кількості тепла, що виділяється в детекторі при поглинанні іонізуючих випромінювань.

**Напівпровідниковий метод** реалізується за допомогою напівпровідникових детекторів іонізуючого випромінювання, електропровідність яких змінюється під впливом радіації. Більшість напівпровідників реагують лише на нейтронне випромінювання, тому їх переважно використовують у радіометрії нейтронів.

**Хімічний метод** реєстрації заснований на властивості іонізуючого випромінювання спричиняти зміну складу хімічних сполук. При цьому кількість молекул, що зазнали відповідних перетворень, залежить від дози опромінення. На цьому принципі ґрунтується дія хімічних дозиметрів. Для виявлення радіаційно-хімічних реакцій речовини застосовуються різні методи досліджень, з яких найчастіше використовують **спектроскопію**, а також методи реєстрації **флуоресценції й хемілюмінесценції**. Методи спектроскопії і люмінесценції дають можливість виявляти хімічні форми, що виникають унаслідок поглинання енергії іонізуючого випромінювання, а також дозволяють реєструвати проміжні продукти радіаційно-хімічних перетворень речовин із дуже коротким періодом існування.

**Метод гамма-спектроскопії** заснований на властивості гамма-квантів взаємодіяти з речовиною, головним чином з електронами в атомах. Існують три види взаємодії гамма-квантів з електронами: фотоефект, комптонівське розсіювання і утворення електрон-позитронних пар.

Фотоефект - взаємодія, при якому енергія гамма-кванта повністю переходить в кінетичну енергію електрона. При цьому гамма-квант зникає, а електрон втрачає свою енергію на іонізацію атомів, утворюючи певну кількість вільних зарядів. Важливим є те, що саме вся енергія гамма-кванта (за винятком дуже малої її частини) переходить до електрона, а потім перетворюється в енергію вільних зарядів. Кількість вільних зарядів при цьому пропорційна енергії електрона, а, отже, і гамма-кванта. Тому, вимірявши заряд, що утворився в речовині, можна визначити енергію гамма-кванта.

Ідеальний детектор повинен перетворювати всю енергію гамма-кванта в електричний імпульс, величина якого прямо пропорційна енергії кванта, тому з усіх трьох процесів взаємодії гамма-квантів з речовиною найбільш інформативним є фотоефект.

Завдання контролю активності в будь-якому об'єкті (грунті, будівельних матеріалах, воді, повітрі тощо) з природними чи штучними радіонуклідами полягає в реєстрації кількості гамма-квантів, що утворюються в певному зразку матеріалу при ядерних перетвореннях ядер радіоактивних нуклідів, за одиницю часу. При цьому потрібно не просто зафіксувати гамма-кванти, що вилітають з зразка, але і точно знати, ядра яких нуклідів їх випускають. Відомо, що кожен радіоактивний нуклід випускає гамма-кванти кількох цілком певних енергій.

Тому знаючи енергію кванта можна однозначно визначити, який саме нуклід міститься в пробі, а за кількістю гамма-квантів – активність об'єкта.

Завдання визначення енергій гамма-квантів та ідентифікації нукліда вирішується шляхом використання чотирьох типів детекторів: сцинтиляційних, напівпровідникових, іонізаційних камер та пропорційних лічильників.

Згідно Закону України «Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання» система контролю та обліку доз опромінення населення повинна бути спрямована на визначення критичних груп людей залежно від умов та місця проживання чи розташування робочих місць та реєстрацію індивідуальних доз опромінення осіб, віднесених до критичної групи.

Щодо осіб з критичної групи людей здійснюється обов'язковий контроль та облік індивідуальних доз опромінення за умови, що величина ефективної дози опромінення будь-якої людини з критичної групи перевищує дозову межу, яка встановлена НРБУ-97.

Облік індивідуальних доз опромінення людей, віднесених до критичної групи, ведеться в районному (міському) дозовому реєстрі опромінення, організацію ведення якого здійснюють місцеві органи виконавчої влади.

Визначення, облік та контроль доз опромінення персоналу та населення забезпечуються шляхом створення єдиної державної системи контролю та обліку індивідуальних доз опромінення. Забезпечення організації створення та функціонування цієї системи покладається на орган державного регулювання ядерної та радіаційної безпеки.

Порядок створення єдиної державної системи контролю та обліку індивідуальних доз опромінення визначається Кабінетом Міністрів України.

## **2.5. Прилади та обладнання для радіаційного контролю**

Радіаційний контроль в загальному випадку включає виконання дозиметричних, радіометричних, радонометричних і спектрометричних вимірювань. Відповідно до цього всі прилади та апаратуру за своїм призначенням умовно поділяють на такі групи: дозиметричні, радіометричні, радонометричні та спектрометричні.

Для дозиметричного контролю використовуються: дозиметри – для вимірювання потужності дози зовнішніх потоків радіоактивного випромінювання та індивідуальні дозиметри – для індивідуального дозиметричного контролю. Є також прилади які одночасно дозволяють здійснювати дозиметричний і радіометричний контроль.

У приладах для контролю потужності дози випромінювання широко застосовують іонізаційний та сцинтиляційний методи. За своїм призначенням прилади поділяються на такі, що використовуються формуваннями цивільного захисту, службами чи лабораторіями радіаційного контролю підприємств, радіологічними лабораторіями СЕС міст, областей, районів та побутового призначення для використання населенням.

Нині для дозиметричного контролю зазначеними підрозділами та службами використовуються різноманітні прилади виготовлені як наприкінці ще

минулого століття так і сучасні прилади дозиметричного контролю. Серед них дозиметри пошукові та дозиметри радіометри: СРП-67, СПР 88, ДКС90, ДБГ-01Н, ДБГ-02, «Ритм-1М», МКС-07 «Пошук», МКС-У, ДКС-02К «Кадмій», МКС-05 «Терра», РКС-01 «Стора» та інші. Зовнішній вигляд деяких із них наведено на рис. 2.1 та 2.2.



*а*



*б*



*в*

Рис. 2.1. Прибори для радіометричного і дозиметричного контролю:  
*а* – ДКС90; *б* – СПР 88; *в* – МКС-07 «Пошук»



Рис. 2.2. Прибори для радіометричного і дозиметричного контролю:  
 МКС-0,5 «Терра», МКС-АТ6130 і РКС-01 "Стора-ТУ"



Дозиметр гамма-випромінювання пошуковий ДБГ-01Н. Даний прилад має два діапазони вимірювань 0-99,99 і 0-999,9 мкЗв/год. В даному приладі встановлено 2 датчика СБМ-20. Дозиметр ДБГ-01Н внесений до державного реєстру засобів вимірювальної техніки.

Радіометр-дозиметр РКС-01 «Стора», в радіометрі програмується значення порогових рівнів потужності дози гамма-випромінювання (значення за замовчуванням: 0,3 мкЗв/год) і щільності потоку бета-частинок. Радіометр подає однотональний звуковий сигнал (можна відключити) при потраплянні гама-кванта чи бета-частинки в детектор і сигнал двох тональностей при перевищенні порога. При відключенні живлення з пам'яті радіометра видаляються призначені для користувача налаштування і відновлюються заводські установки, що дуже зручно для початківців та/або недосвідчених користувачів.

Радіометр використовується для дозиметричного контролю на промислових підприємствах, для екологічних досліджень, для контролю радіаційної чистоти житлових приміщень, будівель і споруд, прилеглих до них територій, предметів побуту, одягу, будматеріалів, поверхні ґрунту на присадибних ділянках, транспортних засобів. Вимірювання потужності еквівалентної дози (ПЕД) гамма-випромінювання - 0,1 - 999,9 мкЗв/год. Похибка вимірювання ПЕД гамма-випромінювання -  $\pm 15\%$ . Вимірювання щільності потоку бета-частинок - 5-100 000 част./см<sup>2</sup>•хв.), Похибка вимірювання щільності потоку бета-частинок -  $\pm 20\%$ .

Дозиметр-радіометр МКС-07 "Пошук" (рис. 2.1) являє собою комплект з двома блоками детектування: бета і гамма вимірювання.

В дозиметрі-радіометрі програмується значення порогових рівнів ПЕД гамма-випромінювання, поверхневої щільності потоку бета-частинок. У приладі реалізований автоматичний вибір інтервалів та діапазонів вимірювань, підсвічування і звукова сигналізація при реєстрації гамма-квантів, бета-частинок та перевищення запрограмованих порогових рівнів.

Прилад має аналоговий індикатор інтенсивності випромінювання, показує розряд елементів живлення і має вбудовану пам'ять на 4096 результатів вимірювань і може підключатися до ПК для передачі даних (через ІК-порт або RS232) і реєструє "м'яке" бета-випромінювання. Прилад використовується для дозиметричного і радіометричного контролю на промислових підприємствах.

Дозиметр-радіометр МКС-07 "Пошук" є засобом для офіційних вимірювань і підлягає періодичній повірці не рідше 1 разу на рік.

Дозиметр-радіометр МКС-05 "ТЕРРА" призначений для вимірювання іонізуючих випромінювань включаючи потужність дози гамма-випромінювання, накопичену дозу і поверхневу щільність потоку бета-частинок. Додатково в дозиметрі реалізовано функції годинника, таймера, підсвічування дисплея і сигналізації при розряді батарей. В дозиметрі програмується значення порогових рівнів потужності дози гамма-випромінювання (значення за замовчуванням: 0,3 мкЗв/год), накопиченої дози і щільності потоку бета-частинок.

Дозиметр подає одне тональний звуковий сигнал (можна відключити) при потраплянні гама-кванта чи бета-частинки в детектор і сигнал двох тональнос-

тей при перевищенні порога. При відключенні живлення з пам'яті дозиметра видаляються призначені для користувача настройки і відновлюються заводські установки. Дозиметр використовується для дозиметричного контролю на промислових підприємствах, дозиметр підлягає періодичній повірці з частотою не рідше 1 разу на рік. Вимірювання потужності еквівалентної дози (ПЕД) гамма-випромінювання - 0,1-9999 мкЗв/год. Похибка вимірювання ПЕД гамма-випромінювання  $\pm 15\%$ . Вимірювання сумарної (накопиченої) еквівалентної дози гамма-випромінювання - 1 мкЗв - 9999 мЗв, Похибка вимірювання еквівалентної дози гамма-випромінювання  $\pm 15\%$ , вимірювання щільності потоку бета-частинок - 10-100 000 част./см<sup>2</sup>·хв.). Похибка вимірювання щільності потоку бета-частинок- $\pm 20\%$ .

Узагальнені дані щодо технічних характеристик деяких приладів наведено в табл. 2.7.

Серед індивідуальних дозиметрів найбільше розповсюджені прилади, в яких використовують іонізаційні (за величиною іонізації середовища, через яке пройшло випромінювання) та фотографічні (за величиною опромінення фотографічної плівки іонізуючим випромінюванням) методи виміру.

Таблиця 2.7

Технічні характеристики приладів

Прилад	Назва приладу	Діапазон вимірювання	Похибка приладу,%	Вид випромінювання
ДГБ-01	дозиметр $\gamma$ -випромінювання, пошуковий	0,1-999,9 мкЗв/Г	$\pm 15$	$\gamma$
РКС-01 «СТОРА-ТУ»	радіометр-дозиметр	0,1-999,9 мкЗв/Г 5-100000 част./см <sup>2</sup> ·хв.	$\pm 15$ $\pm 20$	$\gamma$ $\beta$
МКС-05 «ТЕРРА»	дозиметр-радіометр	0,1-999,9 мкЗв/Г 10-100000 част./см <sup>2</sup> ·хв.	$\pm 15$ $\pm 20$	$\gamma$ $\beta$
МКС-07 «ПОИСК»	дозиметр-радіометр, пошуковий	0,1-999,9 мкЗв/Г 10-100000 част./см <sup>2</sup> ·хв.	$\pm 15$ $\pm 20$	$\gamma$ $\beta$
«Ритм-1М» ДБГ-02	дозиметр-радіометр	0,1-999,9 мкЗв/Г 10-100000 част./см <sup>2</sup> ·хв.	$\pm 7$ $\pm 15$	$\gamma$ $\beta$
НД (екотест)	індивідуальний дозиметр	0,1-999 мкЗв/Г	$\pm 5$	$\gamma$

Є також прилади для визначення концентрації радону в атмосферному повітрі, поверхневих, ґрунтових і підземних водах, ґрунтах тощо. Класичний метод вимірювання густини забруднення радоном – *еманаційний* – передбачає відбір проб атмосферного повітря або газу з фіксованого об'єму води чи ґрунту з подальшим переведенням відібраної проби в іонізаційну камеру та виміром

іонізаційних імпульсів за допомогою фотоелектронного множника. Для забезпечення високої чутливості приладів відомий об'єм атмосферного повітря або газу протягується через шар активованого вугілля на якому внаслідок явища сорбції уловлюється весь радон, що міститься в цьому об'ємі повітря. Аналогічно визначається і концентрація радіонуклідів в атмосферних аерозолях у повітрі.

Для оцінки радонової небезпеки прийнято використовувати такі регламентовані радіаційні параметри як еквівалентна рівноважна об'ємна активність радону (ЕРОА), одиницею вимірювання якого є Бк/м<sup>3</sup>, а також показник, що характеризує швидкість надходження (емісії) радону з поверхні (поверхні води, ґрунту, сховища радіоактивних відходів тощо).

Еквівалентна рівноважна об'ємна активність радону  $ЭРОА_{Rn}$ , яка характеризує внутрішню складову ефективної дози опромінювання людини, залежить від активності короткоживучих продуктів розпаду радону і визначається співвідношенням

$$ЭРОА_{Rn}=0,1046 \cdot Av^{Po^{218}}+0,5161 \cdot Av^{Pb^{214}}+0,3793 \cdot Av^{Bi^{214}}$$

Кількість радону, яка виділяється з одиниці емануючої поверхні в одиницю часу (щільність потоку радону з поверхні) прийнято називати терміном ексхалляція радону. Одиниця вимірювання ексхалляції радону - бекерель на квадратний метр за секунду (Бк/м<sup>2</sup>·с). Безпечною межею ексхалляції прийнято вважати 1 Бк/м<sup>2</sup>·с.

Гамма-спектрометри це прилади для визначення енергії  $\gamma$ -квантів. Реєстрація  $\gamma$ -кванта в гамма-спектрометрі як правило заснована на трьох основних процесах взаємодії  $\gamma$ -кванта з речовиною - фотоелектрі, Комптон-ефекту і народження пари електрон-позитрон. У гамма-спектрометр вимірюються енергії електронів і позитронів, яким  $\gamma$ -квант передає свою енергію в матеріалі детектора гамма-спектрометра. Нижче порога народження пари електрон-позитрон (1,02 МеВ) реєстрація  $\gamma$ -квантів здійснюється по комптонівським електронам і фотоелектронах. В області дуже малих енергій (десятки кеВ) основну роль грає фотоелектр. При високих енергіях основним процесом взаємодії  $\gamma$ -кванта з матеріалом детектора гамма-спектрометра є утворення пар електрон-позитрон. Якщо, наприклад,  $\gamma$ -квант з енергією  $E$  викликав в детекторі фотоелектр, то кінетична енергія вибитого з атома детектора електрона (фотоелектрон)  $E_e$  з точністю до незначної енергії віддачі атома визначається рівністю  $E_e = E - I$ , де  $I$  - добре відома для кожного атома енергія (потенціал) іонізації, яка становить для атомів з невисоким порядковим номером одиниці - десятки еВ. Таким чином, вимірювання в гамма-спектрометрі енергії електрона  $E_e$  дає енергію  $\gamma$ -кванта.

Основними характеристиками гамма-спектрометра є роздільна здатність і ефективність, звичайно виражені у %. Роздільна здатність гамма-спектрометра характеризує можливість розділення двох ліній  $\gamma$ -випромінювання, близьких за енергією. Кількісно вона визначається відношенням  $\Delta E/E$ , де  $\Delta E$  - ширина лінії (в одиницях енергії) на половині її висоти. Роздільна здатність характеризує точність, з якою гамма-спектрометр вимірює енергію  $\gamma$ -кванта. Ефективність га-

мма-спектрометра це частка зареєстрованих  $\gamma$ -квантів від загального їх числа, які потрапили в гамма-спектрометр.

Найбільш поширеними типами гамма-спектрометрів є сцинтиляційний і напівпровідниковий. Сцинтиляційний гамма-спектрометр складається з сцинтилятора і фотоелектронного помножувача (ФЕП). У сцинтиляторі під дією електронів, що створюються  $\gamma$ -квантами, виникає короточасний спалах світла - сцинтиляція, який перетворюється в ФЕП в електричний імпульс. Амплітуда імпульсу пропорційна енергії  $\gamma$ -кванта. Як сцинтилятор, наприклад, застосовують тверді неорганічні кристали NaI, активовані Tl. Роздільна здатність сцинтиляційного гамма-спектрометра 4-5% для  $\gamma$ -квантів з енергією 1 MeV. Ефективність може наближатися до 100%.

У напівпровідниковому гамма-спектрометрі  $\gamma$ -кванти зазвичай реєструються в монокристалі надчистого германію. Електрони, що утворюються  $\gamma$ -квантами, виробляють електронно-діркові пари, які під дією прикладеного електричного поля створюють імпульс струму, амплітуда якого пропорційна енергії електрона. Роздільна здатність для  $\gamma$ -квантів з енергією 1 MeV може досягати 0,1-0,2%. Ефективність зазвичай нижче, ніж у сцинтиляційного гамма-спектрометра.

З інших типів гамма-спектрометрів можна відзначити магнітні гамма-спектрометри, в яких за траєкторією руху в магнітному полі визначаються енергії комптонівських електронів або електрон-позитронних пар, що створюються  $\gamma$ -квантами в тонкому радіаторі.

Для спектрометрії  $\gamma$ -квантів низьких енергій (десятки - сотні кеВ) використовують також кристал-дифракційні гамма-спектрометри, що вимірюють довжину хвилі  $\gamma$ -кванта, і газові пропорційні лічильники. Для спектрометрії  $\gamma$ -квантів високих енергій використовуються гамма-спектрометри, засновані на реєстрації черенковського випромінювання від електронно-фотонних потоків, що створюються  $\gamma$ -квантами в радіаторах з важкої прозорої речовини, наприклад свинцевого скла.

Для вивчення швидкоплинних процесів, які протікають в речовині під дією іонізуючих випромінювань (радіолізу) застосовують різні методи спектроскопії, зокрема абсорбційну спектроскопію, раманову резонансну спектроскопію, спектроскопію електронного парамагнітного резонансу. Використовуючи ці методи, об'єкт дослідження опромінюють певними нормованими порціями радіації, спостерігаючи за появою нових хімічних форм. Люмінесценція, що супроводжує процес опромінення деяких хімічних речовин радіацією, також дає можливість вивчити явища трансформації систем на молекулярному рівні. Збуджені іонізацією електрони випромінюють флуоресцентне або люмінесцентне світло, що дає змогу досліджувати процеси заміни катіон-електронних пар у хімічних розчинах.

## Запитання для самоконтролю

1. Наведіть основні принципи нормування опромінення?
2. Наведіть групи гігієнічних регламентів які обмежують поточне опромінювання.
3. Що обмежують гігієнічні регламенти першої групи?
4. Розкрийте поняття «критична група населення».
5. Що обмежують гігієнічні регламенти другої групи?
6. Охарактеризуйте гігієнічні регламенти третьої групи?
7. Розкрийте поняття «рівень дій».
8. Розкрийте поняття «рівень втручання».
9. У яких випадках втручання кваліфікуються як безумовно виправдані?
- 10.Що відноситься до термінових і невідкладних протирадіаційних захисних заходів гострої фази аварії?
- 11.Що відноситься до довгострокових контрзаходів, які можуть здійснюватися на різних фазах аварії?
- 12.Охарактеризуйте гігієнічні регламенти четвертої групи?
- 13.Розкрийте поняття «ефективна питома активність природних радіонуклідів».
14. Наведіть принципами звільнення практичної діяльності чи джерел іонізуючого випромінювання в рамках практичної діяльності від регулюючого контролю.
- 15.Які групи джерел потенційного опромінення розглядаються в НРБУ-97/Д-2000?
- 16.Наведіть принципи протирадіаційного захисту на яких базується нормування потенційного опромінення.
- 17.Розкрийте поняття «референтні ризики».
- 18.Розкрийте поняття «критична подія».
- 19.Які види радіаційного контролю Ви знаєте?
- 20.Назвіть основні методи реєстрації та вимірювання іонізуючих випромінювань.
- 21.Розкрийте сутність іонізаційного та сцинтиляційного методу вимірювання.
- 22.Розкрийте сутність метод гамма-спектроскопії.
- 23.Які прилади використовуються для дозиметричного контролю?
- 24.Які прилади використовуються для радіометричного контролю?
- 25.Як здійснюється оцінка радонової небезпеки?
- 26.Яке призначення гамма-спектрометрів?
- 27.Назвіть основні характеристики гамма-спектрометра.

## **РОЗДІЛ 3. ОСНОВНІ РАДІАЦІЙНО-НЕБЕЗПЕЧНІ ОБ'ЄКТИ, ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ**

**Перелік умінь**, які фахівець з вищою освітою повинен набути в результаті засвоєння інформації, викладеної в третьому розділі підручника.

Фахівець повинен уміти ідентифікувати основні радіаційно-небезпечні об'єкти, обладнання та технології де використовуються джерела іонізуючих випромінювань чи радіаційно-небезпечні речовини, у тому числі:

- виявляти радіаційно-небезпечні об'єкти;
- виявляти радіаційно-небезпечне обладнання;
- виявляти радіаційно-небезпечні технології;
- визначати наявність утворення радіаційно-небезпечних відходів;
- ідентифікувати джерела небезпек пов'язані з використанням іонізуючих випромінювань.

### **3.1. Атомні електростанції**

Нині на території України знаходиться біля 2700 підприємств, організацій, установ та об'єктів на яких використовують джерела іонізуючого випромінювання чи зберігають радіоактивні речовини. Серед них в першу чергу слід виділити атомні електростанції, підприємства з видобутку та переробки урановміщуючої сировини та сховища радіоактивних відходів.

В Україні діють 4 АЕС: Запорізька, Рівненська, Хмельницька та Південноукраїнська. В експлуатації на АЕС України 13 енергоблоків із встановленою потужністю – 11848 мВт.

**Запорізька АЕС** – атомна електростанція, розташована в степовій зоні на березі Каховського водосховища в Запорізькій області поруч із містом Енергодар. Це найбільша в Європі і 6 у світі атомна електростанція, вона складається з 6 атомних енергоблоків по 1 млн. кВт кожний.

У 1981 р. почалося поетапне спорудження блоків станції. Протягом 1984 - 1987 р. уведені в експлуатацію чотири енергоблоки.

У 1989 р. став функціонувати п'ятий енергоблок, а шостий — лише в 1995 році, після скасування мораторію на будівництво ядерних об'єктів в Україні. Щорічно станція генерує близько 40 млрд. кіловат-годин електроенергії,

**Південноукраїнська АЕС** – атомна електростанція, розташована в степовій зоні на лівому березі ріки Південний Буг, при Ташлицькому водосховищі, неподалік (на схід) від міста Южноукраїнська, що в Миколаївській області. Збудована у 1975–1982 роках.

Щорічне вироблення електроенергії на АЕС перевищує 17 млрд. кіловат-годин.



Рис. 3.1. Атомні електростанції України

**Рівненська АЕС.** Відлік своєї історії станція веде з 1971 року, коли почалося проектування Західно-Української АЕС, яку пізніше перейменували в Рівненську АЕС. Будівництво станції почалося в 1973 році. Два перших енергоблоки з реакторами ВВЕР-440 уведений в експлуатацію в 1980-1981 роках, а 3-й енергоблок – мільйонник – в 1986 році.

Будівництво 4-го енергоблоку РАЕС розпочалося в 1984 році, а в 1991 році передбачалося введення його в експлуатацію. Однак саме тоді роботи призупинили внаслідок введення мораторію Верховної Ради на спорудження ядерних об'єктів на території України.

Будівництво відновилося в 1993 році після скасування мораторію. Було проведено обстеження 4-го енергоблоку, підготовлена програма його модернізації й проект завершення будівництва. Проведені також громадські слухання з цього питання. 10 жовтня 2004 року 4-й енергоблок Рівненської АЕС був уведений в експлуатацію. Реакторна установка нового блоку Рівненської АЕС належить до сучасної серії (ВВЕР-1000).

Протягом останніх років Рівненська АЕС виробляє близько 11-12 млрд. кіловат-годин електроенергії.

**Хмельницька АЕС.** Розташована на території Хмельницької області в місті Нетішин. На електростанції працює 2 ядерних реактори ВВЕР-1000 (підключені у 1987 і 2004 роках відповідно) загальною потужністю 2000

МВт. Основне призначення станції - покриття дефіциту електричних потужностей в Західному регіоні України.

За проектом АЕС повинна була мати 4 енергоблоки. У 1981 р. почато будівництво. У кінці 1987 р. введений перший енергоблок. Підготовлені майданчики ще для трьох блоків. Другий енергоблок почали будувати в 1983 р., пуск планувався в кінці 1991 р.

У 1990 Верховна Рада України оголосила мораторій на будівництво нових АЕС, під час дії якого на Хмельницькій станції були змонтовані основні технологічні вузли і підготовлений персонал для роботи на другому блоці. Спорудження енергоблоку відновили в 1993 р., проте через недостатнє фінансування будівельні роботи йшли повільно і лише у липні 2004 відбувся фізичний, а 8 серпня — енергетичний пуск 2-го енергоблоку.

Реакторні установки належать до серії енергетичних реакторів ВВЕР-1000. Хмельницька АЕС виробляє 14-15 млрд. кіловат-годин електроенергії.

### **3.2. Підприємства з видобутку та переробки урановміщуючої сировини**

Уранова промисловість України веде свою історію з кінця 1940-х років. Виробниче об'єднання «Придніпровський хімічний завод» (ВО «ПХЗ») у 1949–1991 роках переробляло доменний шлак, урановміщуючі концентрати та уранову руду. На території підприємства та поза його межами утворено дев'ять хвостосховищ (біля 42 млн. т відходів переробки уранових руд).

Сучасна уранова промисловість розвивається згідно Державної цільової економічної програми «Ядерне паливо України». На початку XXI ст. в Україні видобування власного природного урану становить 500–800 т. на рік, що забезпечує потреби вітчизняної атомної енергетики на 30%. Решту Україна імпортує. Уранові родовища розташовані в основному в межах Кіровоградської області.

Основні запаси урану зосереджені в Кіровоградському урановорудному районі (оцінювані запаси понад 100 тис. т.); а також у Центральноукраїнському урановорудному районі. Родовища Побузького УРР відпрацьовані в 1990-х роках. В експлуатації перебувають Ватутінське і Мічурінське і Новокостянтинівське родовища, в резерві — Северинське родовище. Промислові родовища урану України представлені ендегенними родовищами в альбітитах і екзогенними родовищами у відкладеннях платформного чохла Українського щита. Україна має 12 детально розвіданих уранових ендегенних родовищ із сумарними запасами достатніми щоб забезпечити потреби діючих АЕС України на наступні 100 років.

Епігенетичні уранові родовища в осадовому чохлі Українського щита є по суті комплексними — вміщують ряд інших хімічних елементів: молібден, реній, селен, ванадій, скандій, що підвищує їх потенційну рентабельність розробки. Застосування технології підземного вилуговування у 2,5 рази знижує собівартість видобування урану.

Нині повний цикл робіт з видобутку (підземним способом) та переробки уранових руд в Україні здійснює одне підприємство — ДП «Східний ГЗК». До



його складу входять Смолінська шахта (працює з 1973 року), яка розробляє Ватутінське родовище, та Інгульська шахта (працює з 1969 року), що розробляє Мічурінське та Центральне. Виведення з експлуатації діючих шахт передбачається у 2020–2025 рр.

Переробка уранових руд і отримання уранового концентрату ( $U_3O_8$ ) здійснюється на Гідрометалургійному заводі м. Жовті Води. Відходи (хвости) збагачення уранових руд зберігаються у спеціально обладнаному хвостосховищі "Балка «Щербаківська».

З 2000 р. у Кіровоградській області будується державне підприємство на базі Новокосянтинівського родовища (с. Олексіївка, Маловисківський район), яке є найбільш перспективним для України. Запаси родовища (100 тис. т. урану) оцінюють як найбільші в Європі і п'яті в світі за потужністю.

Родовища урану в Україні мають нетипове походження, тому вони можуть зустрічатися за різних геологічних обставин: в кристалічній основі; в осадовому чохлі давніх платформ; в місцях післяплатформного орогенезу. Більшість родовищ знаходиться на Українському щиті і в невеликій кількості в Донецькому басейні та Карпатах.

В Україні окрім традиційних ендегенних, є також екзогенні – епігенетичні уранові родовища в осадовому чохлі Українського щита. Вигода від їх видобутку зростає завдяки тому, що вони містять доволі великий ряд хімічних елементів, які можна використовувати в якості комплексної мінеральної сировини. Вони видобуваються одним з найбезпечніших та екологічних способів – вилуговування, що здійснюється шляхом подачі в рудоносний пласт спеціального хімічного реагенту, під дією якого уран перетворюється з мінералу в розчин.

В цілому, стан видобутку урану в Україні знаходиться в складному становищі, оскільки старі родовища практично відпрацьовані, а видобування залишків на цих шахтах, наприклад, Інгульській та Смолинській, має високу собівартість і є нерентабельним. Освоєння ж нових родовищ потребує значних коштів, які, наразі, Україна не спроможна виділити для розвитку цієї галузі з власного бюджету. Нині єдиним перспективним варіантом є освоєння Новокосянтинівського родовища, запаси якого нададуть Україні можливість бути енергетично незалежною державою найближчим майбутнім.

### **3.3. Сховища радіоактивних відходів**

Згідно з Державним класифікатором відходів до радіоактивних відходів (РАВ) відносяться ті об'єкти та субстанції, що не підлягають подальшому використанню. Це тверді матеріали, розчини, газоподібні середовища, вироби, апаратура, біологічні об'єкти, ґрунт тощо, у яких вміст радіонуклідів перевищує рівні, встановлені нормативними актами.

До категорії РАВ включено також відпрацьоване ядерне паливо, якщо воно не підлягає наступній переробці з метою добування із нього компонентів і після відповідної витримки підлягає похованню.

У відповідності до законодавства України та державних гігієнічних нормативів до РАВ відносяться матеріальні об'єкти і субстанції, щодо яких:

- встановлено, що ні зараз, ні в майбутньому не передбачається їхнє використання;

- ще немає рішення, яким чином ці матеріали можуть бути використані у межах сучасних чи створюваних у майбутньому технологічних процесів, а також - питома активність радіонуклідів у них перевищує рівні вилучення зі сфери санітарного нагляду, які встановлені державними санітарними правилами ДСП 6.074.120 - 01 "Основні санітарні правила протирадіаційного захисту України" (далі - ОСПУ).

Відповідно до вимог НРБУ-97/Д-2000 і залежно від мети класифікації, РАВ підрозділяються на типи, групи, категорії.

Встановлено три типи РАВ: коротко існуючі, довго існуючі, визначені за узгодженням з органом державного регулювання.

Такий розподіл існує за критеріями допустимості (неприпустимості) захоронення РАВ в поверхневих (приповерхневих) сховищах або у сховищах геологічного типу (табл. 3.3).

Таблиця 3.3.

Класифікація РАВ, заснована на критеріях допустимості (неприпустимості) їх захоронення в сховищах різних типів

Тип РАВ	Дози потенційного опромінення після 300 років після захоронення	Тип можливого звільнення у період до 300 років після захоронення	Допустимий тип захоронення РАВ
Короткоіснуючі	Нижче рівня Б	Цілковите, обмежене	Поверхневий, приповерхневий
Визначається за узгодженням з органами державного регулювання	Вище рівня Б, але нижче рівня А	Допускається обмежене	Визначається за узгодженням з органами державного регулювання
Довгоіснуючі	Вище рівня А	Не розглядається	У стабільних глибоких геологічних формаціях

На території нашої держави РАВ почали накопичуватися починаючи з 1948 року коли на виробничому об'єднанні «Придніпровський хімічний завод» (ВО «ПХЗ») в м. Кам'янське розпочалась промислова переробка уранових руд та іншої урановміщуючої сировини з метою отримання уранового концентрату ( $U_3O_8$ ). Підприємство спочатку почало виробництво уранових солей зі шлаків, що отримувалися при переплавці уранзалізовміщуючих руд в доменній печі №6 металургійного заводу ім. Дзержинського, а потім переробку уранових руд, видобування яких здійснювалось як на території України так і в інших регіонах. Значна кількість РАВ з'явилася у 1986 р. після аварії на Чорнобильській АЕС, а також продовжує утворюватися внаслідок роботи підприємств ядерно-

паливного циклу, оборонної промисловості, використання радіоактивних речовин у науці, медицині, сільському господарстві та інших сферах діяльності.

Основними джерелами утворення РАВ в Україні є:

– АЕС (Чорнобильська, Запорізька, Південноукраїнська, Рівненська, Хмельницька);

– підприємства з видобування та переробка уранової руди: Державне підприємство «Східний гірничо-збагачувальний комбінат» (ДП «СхідГЗК») у м. Жовті Води і ВО «ПХЗ» у м. Кам'янське (до 1991 року);

– науково-дослідні організації, що використовують радіоактивні речовини або джерела іонізуючого випромінювання (Інститут ядерних досліджень НАНУ, Інститут прикладної фізики НАНУ, Харківський фізико-технічний інститут НАНУ тощо);

– промисловість і медицина.

Найбільший об'єм РАВ накопичується внаслідок видобування та переробки уранової руди та роботи діючих атомних електростанцій.

Хвостосховища ВО "ПХЗ" розташовані на території м. Кам'янське та прилеглих територіях Дніпропетровського району. В період з 1948 по 1991 рр. на вказаній території було створено 9 хвостосховищ продуктів переробки уранових руд. В хвостосховищах накопичено біля 42 млн. тон хвостів загальною активністю більше  $31,8 \cdot 10^{14}$  Бк. В сховищах ДП «СхідГЗК» накопичено біля 40 млн. тон РАВ загальною активністю більше  $32 \cdot 10^{14}$  Бк (табл. 3.4).

На діючих АЕС у середньому, залежно від потужності і типу реакторної установки, за рік утворюється від 0,15 до 0,35 м<sup>3</sup> рідких і від 0,1 до 0,3 м<sup>3</sup> – твердих РАВ на 1 МВт отриманої енергії.

У процесі експлуатації енергоблоків АЕС утворюються три види агрегатного стану РАВ: газоаерозольний, рідкий та твердий, і головною умовою безпеки є їх знешкодження.

До *газоаерозольних* РАВ належать радіоактивні гази та аерозолі, що не підлягають використанню й утворюються під час виробничих процесів з об'ємною активністю, що перебільшує допустимі чинним законодавством норми середньорічних об'ємів активності радіонуклідів у повітрі.

До *рідких* РАВ належать радіоактивні розчини, розчини органічних і неорганічних речовин, пульпи фільтроматеріалів, шлами тощо. Рідкі відходи вважаються радіоактивними, якщо вміст окремих радіонуклідів у них перевищує допустиму концентрацію, встановлену НРБУ-97 для води, що використовується населенням для господарсько-питних цілей. На АЕС рідкі РАВ зберігаються у бетонних ємностях, укритих шаром нержавіючої сталі. Потім їх переводять у твердий стан і хоронять за спеціальною технологією.

До *твердих* РАВ належать радіонуклідні джерела, що вичерпали свій ресурс і не передбачають подальшого використання: матеріали, виробни, обладнання, біологічні об'єкти, забруднені об'єкти навколишнього середовища, у яких питома активність радіонуклідів більша від значень, встановлених чинними НРБУ-97 і ОСПУ-2005. Тверді РАВ поділяють на чотири групи, належність до яких визначається значенням рівня вилучення, встановленого для тієї чи іншої групи радіонуклідів, що містяться у відходах (табл. 3.5). Рівень вилучення

радіоактивних відходів – це граничне значення питомої активності РАВ, перевищення якого дозволяє кваліфікувати ці відходи як радіоактивні.

Таблиця 3.4

Відходи підприємств з видобування та переробка уранової руди

Період експлуатації	Назва хвостосховища	Площа, га	Об'єм хвостів, млн.т / млн. м <sup>3</sup>	Сумарна активність, *10 <sup>12</sup> Бк	Вміст урану, мг/кг
Хвостосховища ДП "СхідГЗК"					
1964 - 1991	"КБЗ"	55,6	19,3 / 12,4	990	700
1959 - 1979	Щербаківське Секція 1	86,0	43,2 / 27	2200	
1979 – наш час	Щербаківське Секція 2	139,0			
Хвостосховища ВО "ПХЗ"					
1949 - 1954	Західне	4,0	0,77 / 0,35	180	700
1951 - 1954	Центральний Яр	2,4	0,22 / 0,10	104	630
1956 - 1980	Південно-східне	3,6	0,33 / 0,15	67	22
1968 - 1983	С, секція 1	90,0	19,0 / 8,60	710	80
1983 – наш час	С, секція 2	70,0	9,60 / 5,50	270	80
1960 - 1990	База С	25,0	0,15 / 0,10	440	100-1000
1954 - 1968	Дніпровське	73,0	12,0 / 5,84	1400	230
1982	Доменна піч № 6	0,2	0,04 / 0,02	11	-
1965 - 1988	Лантанова фракція	0,06	0,007 / 0,003	0,86	-

Таблиця 3.5

Класифікація твердих радіоактивних відходів за критерієм «рівень вилучення»

Група РАВ	Тверді РАВ	Рівень вилучення, кБк/кг
1	Трансуранові альфа-випромінювальні радіонукліди	0,1
2	Альфа-випромінювальні радіонукліди (за винятком трансуранових)	1
3	Бета- та гамма-випромінювальні радіонукліди (за винятком віднесених до групи 4)	10
4	H-3, C-14, Cl-36, Ca-45, Mn-53, Fe-55, Ni-59, Ni-63, Nb-93m, Tc-99, Cd-109, Cs-135, Pm-147, Sm-151, Tm-171, Tl-204	100

До твердих РАВ відносяться будь-які об'єкти чи речовини у твердому стані (у тому числі деталі машин, механізмів, матеріали, вироби, біологічні об'єкти, переведені у твердий стан рідкі РАВ), якщо вони мають одну з наступних радіаційних характеристик:

Питома активність відходів більше:

- 10 кБк/кг для джерел гамма-випромінювання;
- 10 кБк/кг для джерел бета-випромінювання;
- 1 кБк/кг для джерел альфа-випромінювання;
- 0,1 кБк/кг для джерел альфа-випромінювання трансуранових радіонуклідів;

лідів;

Потужність поглиненої в повітрі дози гамма-випромінювання перевищує:

- 1,0 мкГр/год на відстані 0,1 м від поверхні відходів;

Рівень радіоактивного забруднення, що визначається за площею 0,01м<sup>2</sup> доступної поверхні, перевищує:

- 150 част.хв<sup>-1</sup> · см<sup>-2</sup> для джерел бета- і гамма-випромінювання;
- 1,5 част.хв<sup>-1</sup> · см<sup>-2</sup> см-2 для трансуранових альфа-активних нуклідів;
- 15 част.хв<sup>-1</sup> · см<sup>-2</sup> см-2 для інших альфа-активних нуклідів.

Рідкі і тверді РАВ за питомою активністю поділяють на три категорії: низькоактивні, середньоактивні та високоактивні (табл. 3.6).

У випадку, якщо за наведеними у табл. 3.5 характеристиками радіонуклідів РАВ належать до різних категорій, для них встановлюється категорія за більш високою компонентою, що входить до складу суміші.

РАВ класифікують також за величиною періоду напіврозпаду радіонуклідів, які входять до цих відходів (табл. 3.7).

Таблиця 3.6

Класифікація РАВ за критерієм питомої радіоактивності

Категорії РАВ	Інтервал значень питомої активності твердих РАВ, кБк · кг <sup>-1</sup>				Інтервал значень питомої активності рідких РАВ, в одиницях кратності РС <sub>В</sub> <sup>ingest</sup>
	Альфа-радіонукліди		Бета-, гамма-радіонукліди		
	Група 1	Група 2	Група 3	Група 4	
Низько-активні	$>10^{-1} < 10^1$	$>10^0 < 10^2$	$>10^1 < 10^3$	$>10^2 < 10^4$	$> 1 < 10^2$
Середньо-активні	$\geq 10^1 < 10^5$	$\geq 10^2 < 10^6$	$\geq 10^3 < 10^7$	$\geq 10^4 < 10^8$	$\geq 10^2 < 10^6$
Високо-активні	$\geq 10^5$	$\geq 10^6$	$\geq 10^7$	$\geq 10^8$	$\geq 10^6$

Таблиця 3.7

Класифікація РАВ за періодом напіврозпаду радіонуклідів, що входять до їх складу

Радіоактивні відходи	Період напіврозпаду радіонуклідів
Короткоіснуючі	до 10 років
Середньоіснуючі	від 10 до 100 років
Довгоіснуючі	понад 100 років

Нині в Україні накопичено 82 млн. т радіоактивних відходів в урановидобувній і переробній промисловості; 70 тис. м<sup>3</sup> залишків ядерного палива на сховищах атомних електростанцій; 1,1 млрд. м<sup>3</sup> радіоактивно забруднених відходів (залишків реактора і техніки, знятий шар ґрунту тощо) у зоні відчуження Чорнобильської АЕС. Великі обсяги радіоактивних відходів (понад 5 тис. м<sup>3</sup>) зберігаються також у сховищах Української державної асоціації «Радон». Близько 85-90% всіх накопичених радіоактивних відходів є низько- та середньоактивними.

В Європі відповідно до небезпечності відходи класифікуються за трьома категоріями. Існують Зелений, Жовтий і Червоний каталоги відходів. У Зелений каталог унесені найменш небезпечні відходи, у Жовтий – помірно небезпечні, у Червоний – найбільш небезпечні відходи. Над трансграничним перевезенням відходів передбачені різні процедури спостереження і контролю. Відходи із зеленого списку (близько 200 видів відходів, розподілених на 15 груп), переміщуються відповідно до всіх заходів контролю, які звичайно застосовуються в торгівлі. За відходами, внесеними в Жовтий (80 видів небезпечних відходів, уключених у 4 групи) і Червоний каталоги (10 видів відходів, розподілених на 3 групи), завжди здійснюється належний контроль. У випадку невнесення відходу в жоден з каталогів його транспортування контролюється згідно з процедурою Червоного каталогу. Тільки відходи, внесені в Зелений каталог відходів, можуть транспортуватися для утилізації без процедури спостереження.

### **3.4. Промислове обладнання з використанням ядерно-радіаційних технологій**

Крім розглянути в попередніх розділах радіаційно-небезпечних об'єктів при проведенні науково-дослідних робіт в Інституті ядерних досліджень НАН України використовується реактор ВВР-М ІЯД НАНУ (м. Київ). Є також ряд радіаційно-небезпечних об'єктів, які знаходяться на окупованій території в м. Севастополі, серед них дослідницький реактор ІР-100, стенд фізичний ІР-100 та підкритична урано-водна збірка.

Серед іншого обладнання з використанням ядерно-радіаційних технологій найбільш розповсюдженим є прилади і обладнання яке використовується для неруйнівного контролю.

**Неруйнівний контроль** (англ. Nondestructive testing (NDT)) – метод досліджень, що використовується для виявлення внутрішніх дефектів об'єктів без їх руйнування.

Ці методи нині надзвичайно широко використовуються при виробництві і експлуатації життєво важливих виробів, компонентів і конструкцій (будинків, залізничних рейок, літаків, морських суден, нафто та газопроводів та іншого обладнання).

Основним методом неруйнівного контролю та технічної діагностики є метод оснований на використанні іонізуючих випромінювань.

Методи радіаційного контролю відрізняються способами детектування дефектоскопічної інформації і діляться на:

- § радіографічні;
- § радіоскопічні;
- § радіометричні.

Радіографічні методи радіаційного неруйнівного контролю основані на перетворенні радіаційного зображення контрольованого об'єкту в радіографічне зображення або запис цього зображення з наступним перетворенням в світлове зображення.

В залежності від детекторів, які використовуються, розрізняють:

§ плівкову радіографію (детектором прихованого зображення і реєстратором статичного видимого зображення служить фоточутлива плівка)

§ ксерорадіографію (електорорадіографію) де детектором виступає, напівпровідникова пластина, а в якості реєстратора використовують звичайний папір.

Радіоскопічні методи неруйнівного контролю полягають в перетворенні радіаційного зображення об'єкту, що контролюється, в світлове зображення на вихідному екрані радіаційно-оптичного перетворювача, причому аналіз отриманого зображення проводиться в процесі контролю.

Радіометричні методи отримання інформації про внутрішній стан виробу, що контролюється і просвічується іонізуючим випромінюванням, в виді електричних сигналів (різної величини, тривалості або кількості). Цей метод забезпечує найбільші можливості автоматизації процесу контролю і здійснення автоматичного зворотного зв'язку контролю і технологічного процесу виготовлення виробів. Перевагою методу є можливість проведення неперервного високопродуктивного контролю якості виробу, обумовлена високою швидкістю використання апаратури. По чутливості цей метод не поступається радіографії.

При проведенні радіаційного контролю використовують портативні рентгенівські апарати (рис. 3.2), рентгенотелевізійні комплекси й системи для виконання контролю в процесі виробництва й експлуатації об'єктів різних розмірів і з різних матеріалів, сканери для рентгенівської дефектоскопії й комп'ютерної радіографії та ін.



Рис. 3.2. Портативний рентгенівський апарати для роботи в важких умовах

Прикладом сучасних рентгенівських апаратів, які використовуються для радіаційного контролю є рентгенівський апарат ERESKO (рис. 3.3).

Зразком універсального сучасного промислового обладнання для рентгенівської дефектоскопії є установка DP 150 (рис. 3.4). Вона відрізняється широкою функціональністю, займає мало місця і зручна в експлуатації.

Максимальна маса досліджуваного об'єкта - 10 кг;

Максимальний діаметр досліджуваного об'єкта - 300 мм;

Максимальна висота досліджуваного об'єкта - 300 мм.

Для перевірки більш важких зразків використовується радіографічна система реального часу DP 435 (рис. 3.5). Вона дозволяє виконувати навіть незвичайні завдання дефектоскопії завдяки її модульній структурі і наявності механізованих осей.

Максимальна маса досліджуваного об'єкта - 100 кг;

Максимальний діаметр досліджуваного об'єкта - 800 мм;

Максимальна висота досліджуваного об'єкта - 1500 мм.





Рис. 3.3. Портативний рентгенівський апарати ERESKO



Рис. 3.4. Установка для рентгенівської дефектоскопії DP 150.



Рис. 3.5. Радіографічна система реального часу DP 435.

Для вибіркового контролю та контролю невеликих партій різних об'єктів, таких як виливки з легких металів, вироби зі сталі, пластмаси, кераміки та спеціальних сплавів використовують універсальний радіоскопічний комплекс X-Cube (рис. 3.6).



Рис. 3.6. Універсальний радіоскопічний комплекс X-Cube

Сфера застосування різноманітних радіоскопічних комплексів надзвичайно широка, наприклад:

- автомобільна промисловість: контроль якості подушок безпеки, контроль якості зварювання, контроль свічок запалювання, аналіз дефектів комплектуючих;
- трубне виробництво: контроль кільцевих і поздовжніх стикових з'єднань спіральшовних і прямошовних сталевих труб, контроль якості труб відповідно до вимог стандартів;
- електронні компоненти: контроль багатошарових комп'ютерних плат, контроль готових компонентів на наявність несправних вимикачів тощо;
- виробництво дисків: алюмінієві диски для легкових і вантажних автомобілів;
- ливарне виробництво: деталі підвіски, корпус гідропідсилювачів керма, блоки циліндрів двигунів, корпуси насосів, головки циліндрів, корпуси коробок передач;
- авіа і космічна промисловість: контроль композитних матеріалів; контроль стільникових конструкцій, контроль турбінних лопаток;
- атомна промисловість: контроль зварних з'єднань;
- суднобудування; контроль зварних з'єднань.

Приклади спеціалізованих радіоскопічних комплексів та систем наведені на рис. 3.7 – 3.9.



Рис. 3.7. Система контролю якості литих колісних дисків

Радіологічні прилади та системи знаходять також використання для цілей контролю рівня наповнення в хімічній та оборонній промисловості, при дослідженні детонаторів, контролі якості високовольтної ізоляції, контролю процесів складання, при радіологічних дослідженнях, для вимірювання товщини виробів, густини речовин, вологості, для огляду багажу і товарів, стерилізації продукції, для хроматографії, спектрометрії тощо.



Рис. 3.8. Система контролю зварних швів труб великого діаметру



Рис. 3.9. Система автоматичного контролю лопаток турбін

Джерелами іонізуючого випромінювання в радіологічних приладах та системах контролю є рентгенівські трубки а також закриті джерела альфа-, бета-, гамма- випромінювань з ізотопами Pu-239, Am-241, Kr-85, Pm-147, Ir-192, Se-75, Cs-137, Co-60, Fe-55, Am-241/Be, Ni-63 та ін. На рис. 3.10 показано приклади закритих джерел іонізуючого випромінювання виробництва різних країн. В якості еталонів об'ємної активності радіонуклідів, які призначені для градування радіометричної апаратури, використовуються радіоактивні розчини (рис. 3.11). Для калібрування і повірки вимірювальних приладів, атестації методик

вимірювання використовуються зразкові та контрольні джерела іонізуючого випромінювання (рис. 3.12).



Рис. 3.10. Закриті джерела іонізуючого випромінювання



Рис. 3.11. Радіоактивні розчини

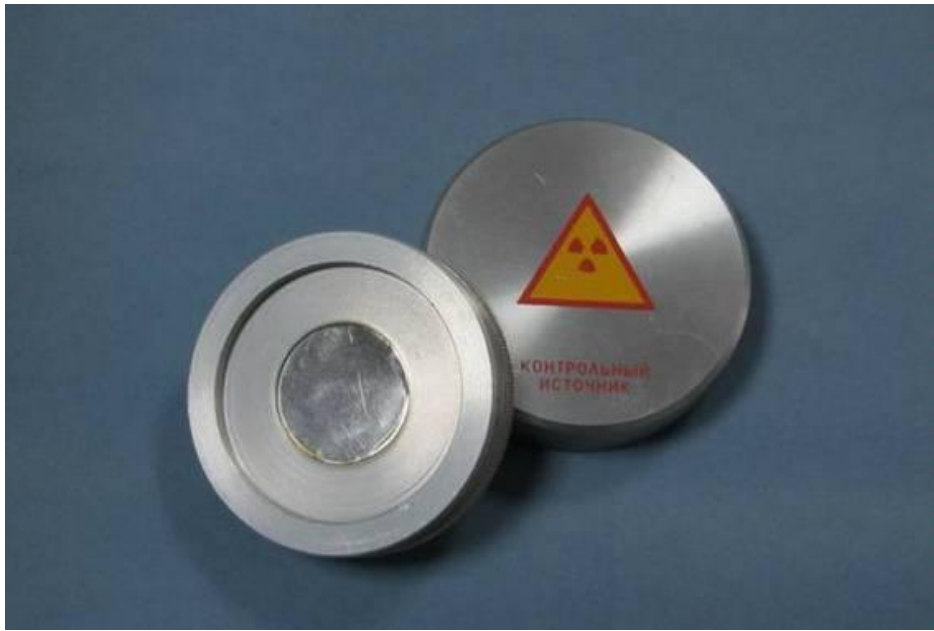


Рис. 3.12. Зразкові джерела іонізуючого випромінювання

### **3.5. Медичне обладнання з використанням ядерно-радіаційних технологій**

Обладнання з використанням ядерно-радіаційних технологій та радіоізотопи знаходять нині надзвичайно широке використання в медицині. Серед різноманітних напрямів використання найбільш розповсюдженим є застосування рентгенівського випромінювання для діагностики та лікування хворих (радіаційна терапія) та радіоізотопна медицина.

Рентгенівські установки для діагностики використовується вже понад 100 років і нині залишаються найбільш широко використовуваними засобами діагностики. Значні досягнення в області рентгенології і радіології визначили масовість цих досліджень з тенденцією до неухильного збільшення областей їх застосування. Дані дослідження проводять у всього дорослого і у значної частини дитячого населення країни.

Серед найбільш розповсюдженого рентгенівського устаткування, що використовується для діагностики захворювань с першу чергу слід виділити рентгенівські апарати призначені для рентгенографічних обстежень органів грудної клітки. Ці апарати нині виконуються як у безкабінному вигляді, так і з рентгенозахисною кабіною. Приклади таких апаратів наведено на рисунках 3.13 та 3.14.

Крім апаратів для рентгенографічних обстежень органів грудної клітки, широке розповсюдження нині отримали різноманітні рентгенодіагностичні комплекси та рентгенографічні системи, Приклади сучасного багатофункціонального діагностичного обладнання, яке нині приходить на зміну традиційним застарілим рентгенівським апаратам наведені на рисунках 3.15 – 3.18.

Флюорограф ФЦОЗ - це безкабінний рентгенівський апарат для рентгенографічних обстежень органів грудної клітки.



Рис. 3.13. Флюорограф ФЦОЗ (безкабінний апарат)



Рис. 3.14. Флюорограф ФЦОЗ з рентгенозахисною кабіною



Рис. 3.15. Сучасні рентгенодіагностичні комплекси



Рис. 3.16. Базова рентгенографічна система (БРС) BREEZE





Рис. 3.17. Сучасне рентгенівське діагностичне обладнання.



Рис. 3. 18. Панорамна рентгенівська установка Sirona XG5DS

Наведене рентгенівське діагностичне обладнання використовується в стаціонарних умовах. Крім стаціонарного діагностичне обладнання знаходять застосування і мобільні рентгенівські діагностичні установки. Приклад таких установок наведено на рис 3.19.

Рентгенівське діагностичне обладнання знаходить нині використання не лише в медицині а і для діагностики різноманітних захворювань у ветеринарії. Приклад сучасного рентгенографічного апарату для ветеринарії наведено на рис. 3.20.



Рис. 3.19. Комплекс рентгенівський флюорографічний пересувний цифровий КРФ-112 «Флюкар»



Рис. 3.20. Рентгенографічний апарат для ветеринарії Simply

Удосконалення рентгенівського методу, особливо швидке впровадження передових комп'ютерних технологій, призвело до появи нового самостійного

напряму в рентгенології: рентгенівської комп'ютерної томографії. Еволюція комп'ютерної томографії вважається найбільш стрімкою в світі візуальної діагностики. Вона привела до появи спочатку спіральної, а потім і революційної багатодетекторної комп'ютерної томографії (рис. 3.21). Ці технології стали невід'ємною частиною єдиного променевого діагностичного процесу



Рис. 3.21. Сучасний мультиспіральний комп'ютерний томограф "LightSpeed VCT Cardiac Advantage"

Сьогодні в медицину входять гібридні технології, які передбачають спільне або одночасне використання різних за своєю фізичною і біохімічною природою речовин і матеріалів. Перш за все, слід відзначити появу принципово нових діагностичних апаратів, які поєднують в собі відразу кілька високих технологій - це гібридні рентгенівські комп'ютерні, позитронно-емісійні і однофотонні томографи. Для отримання чітких просторових зображень на таких томографах використовується рентгенівське випромінювання, а в якості діагностичного речовини або маркера використовуються радіонуклідні маркери, які можуть вибірково накопичуватися в клітинах специфічних пухлин. Завдяки цій властивості вони можуть бути виявлені, ідентифіковані та служити в якості контролера при лікуванні. Удосконалення комп'ютерних технологій, а саме, поява багатодетекторних рентгенівських комп'ютерних томографів та нових сцинтиляційних датчиків, зумовили принципово нову діагностичну якість гібридних зображень. Стало можливим отримувати ізотропне (з точністю до міліметра) анатомічне рентгенівське зображення будь-якої структури людського організму при істотному скороченні часу радіоізотопного дослідження (сьогодні це 5-12 хвилин, замість 45 хвилин при старою технологією). Створені прототипи

спірального позитронно-емісійного та багатодетекторного рентгенівського томографа, де загальний час гібридного сканування складе всього 30 секунд. Це означає, що всього за десятки секунд буде отримана інформація про локалізацію в будь-якій частині людського тіла пошкоджених або мічених ізотопом речовини клітин. З'являється можливість не тільки виявити пухлинні клітини, а й визначити їх сприйнятливість до терапії, простежити ефект і визначити тривалість самої терапії, підібрати оптимальні фармакологічні препарати для лікування.

Сьогодні з'явився принципово новий діагностичний напрямок - молекулярна візуальна діагностика (molecular imaging). Променеві діагностики вийшли на новий рівень отримання діагностичної інформації - молекулярний. З'явилася можливість отримувати діагностичну інформацію на клітинному рівні.

У терапевтичних цілях радіація використовується в основному для лікування онкологічних хворих. У радіотерапії використовують зовнішні пучки сфокусованого рентгенівського випромінювання і випромінювання радіонуклідних джерел, сфокусовані на місце локалізації пухлини (рис. 3.22).



Рис. 3.22. Обладнання для радіотерапії

У терапії також застосовують радіонуклідні фармацевтичні препарати. При введенні всередину організму вони селективно відкладаються в якомусь органі, концентруючись в ракових клітинах. Що міститься в такому речовині

радіонуклід випускає короткопробежних випромінювання ( $\alpha$ - або  $\beta$ -частинки) і викликає загибель клітин в місці локалізації препарата, не зачіпаючи здорові тканини.

### **Запитання для самоконтролю**

1. Які радіаційно-небезпечні об'єкти Ви знаєте?
2. Де розміщені атомні електростанції в Україні?
4. Яка атомна електростанція України є найпотужнішою?
5. Які електростанції за умов їх нормальної роботи є більш екологічно чистими?
6. Де зосереджені основні запаси урану в Україні?
7. Що відносять до радіоактивних відходів?
8. Унаслідок чого утворюються РАВ в Україні?
9. Що є метою переробки РАВ?
10. Які методи використовують для переробки рідких РАВ?
11. Які методи використовують для переробки твердих РАВ?
12. У чому різниця між зберіганням та захороненням РАВ?
13. Які існують способи захоронення РАВ?
14. Які структури уповноважені проводити переробку та захоронення РАВ в Україні?
15. Де знаходяться сховища РАВ в Україні?
16. В якому промисловому обладнанні використовуються джерела іонізуючих випромінювань?
17. Яке обладнання використовується для неруйнівного контролю?
18. Які методи радіаційного контролю Ви знаєте?
19. Які джерела іонізуючого випромінювання використовуються в радіологічних приладах?
20. Яке рентгенівське діагностичне обладнання Ви знаєте?
21. Для чого використовується радіація в терапевтичних цілях?

## РОЗДІЛ 4. ЗАХИСТ ВІД ІОНІЗУЮЧИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ

**Перелік умінь**, які фахівець з вищою освітою повинен набути в результаті засвоєння інформації, викладеної в четвертому розділі підручника.

Фахівець повинен уміти ідентифікувати основні шкідливі та небезпечні чинники на радіаційно-небезпечних об'єктах та при використанні обладнання з джерелами іонізуючих випромінювань, вибирати засоби колективного та індивідуального захисту від іонізуючих випромінювань та визначати необхідні організаційні та медико-профілактичні заходи, у тому числі:

- виявляти радіаційно-небезпечні об'єкти;
- виявляти шкідливі та небезпечні чинники пов'язані з використанням джерел іонізуючих випромінювань;
- вибирати засоби колективного захисту від іонізуючих випромінювань;
- здійснювати вибір та користуватися засобами індивідуального захисту від іонізуючих випромінювань;
- визначати необхідні організаційні та медико-профілактичні заходи спрямовані на зменшення негативного впливу іонізуючих випромінювань на людей та довкілля.

### 4.1. Загальні питання та принципи захисту

Україна, дотримується принципу пріоритетності захисту людини та навколишнього природного середовища від впливу іонізуючого випромінювання та поділяє основні засади міжнародного співробітництва у сфері мирного використання ядерної енергії.

Пріоритет безпеки при використанні ядерної енергії, поведженні з відпрацьованим паливом та радіоактивними відходами закріплений в Законі України «Про використання ядерної енергії і радіаційну безпеку» та Законі України «Про поводження з радіоактивними відходами». Основні засади державної політики у сфері полягають в наступному:

- пріоритет захисту людини та навколишнього природного середовища від впливу іонізуючого випромінювання;
- забезпечення мінімального рівня утворення РАВ при поведженні з відпрацьованим ядерним паливом;
- заборона будь-якої діяльності у сфері використання ядерної енергії, результатом якої є обґрунтовано передбачений більший негативний вплив на майбутні покоління, ніж той, що допускається для нинішнього покоління;
- забезпечення безпеки під час поводження з відпрацьованим ядерним паливом;
- забезпечення відкритості і доступності інформації;
- забезпечення заходів щодо соціально-економічної заінтересованості місцевих органів державної влади та самоврядування, на території яких розташовані ядерні установки;

- розмежування функцій державного управління у сфері використання ядерної енергії і державного регулювання ядерної та радіаційної безпеки;
- заборона діяльності, якщо перевага від такої діяльності менша, ніж можлива заподіяна нею шкода;
- дотримання дозових меж впливу на персонал і населення, встановлених нормами, правилами та стандартами з ядерної та радіаційної безпеки.

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 у порівнянні зі шкодою, яку вона завдає (принцип виправданості);
- рівні опромінення від усіх значимих видів практичної діяльності не повинні перевищувати встановлені ліміти доз (принцип неперевищення);
- рівні індивідуальних доз та/або кількість опромінюваних осіб по відношенню до кожного джерела випромінювання повинні бути настільки низькими, наскільки це може бути досягнуто з врахуванням економічних та соціальних факторів (принцип оптимізації).

Радіаційна безпека та протирадіаційний захист в ситуаціях втручання будуються на наступних основних принципах:

- будь-який контрзахід повинен 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 неперевищення);
- 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 додатною, але і максимальною (принцип оптимізації).

Одним із основних принципів протирадіаційного захисту в Україні є принцип оптимізації, тобто підтримання доз опромінення персоналу та населення на розумно досяжному низькому рівні з урахуванням економічних та соціальних факторів. Реалізація цього принципу здійснюється шляхом розробки і впровадження регулюючих положень, норм і правил, а також шляхом розробки і впровадження відповідних експлуатаційних процедур. До заходів із впровадження принципу оптимізації відноситься ряд організаційних і технічних заходів, що проводяться з метою зменшення індивідуальних і колективних доз опромінення персоналу, мінімізації викидів та скидів, вдосконалення систем радіаційного контролю.

Необхідний рівень протирадіаційного захисту персоналу підприємств забезпечується:

- радіаційно-гігієнічними та організаційно-технічними заходами для забезпечення умов праці, що відповідають вимогам чинного законодавства України та норм радіаційної безпеки;

- обмеженням у встановленому порядку допуску до роботи з джерелами іонізуючих випромінювань осіб у залежності від їхнього віку, статі та стану здоров'я;

- достатністю захисних бар'єрів, включаючи фактори, що лімітують відстань до джерела і час роботи з ним;

- достатньою надійністю і безвідмовністю конструкцій, механізмів, інших засобів та систем, що забезпечують низькі проектні рівні ймовірності критичних подій, щодо джерел потенційно опромінюючих;

- системою підготовки і підтримки високої кваліфікації персоналу і дотриманням правил роботи з джерелом;

- забезпеченням персоналу лікувально-профілактичними засобами захисту від опромінення;

- організацією системи інформування про радіаційний стан;

- установам контрольних рівнів;

- організацією і здійсненням ефективного радіаційного контролю;

- плануванням і проведенням ефективних заходів щодо захисту персоналу у випадку загрози і під час виникнення радіаційної аварії.

Необхідний рівень протирадіаційного захисту населення забезпечується:

- радіаційно-гігієнічними умовами проживання, що відповідають вимогам чинного законодавства;

- встановленням системи квот на опромінення від окремих джерел;

- наявністю санітарно-захисної зони і зони спостереження;

- введенням контрольних рівнів;

- організацією і здійсненням радіаційного контролю;

- ефективністю планування і вжиття заходів з протирадіаційного захисту під час виникнення радіаційної аварії;

- виконанням вимог щодо зниження доз і ризиків, пов'язаних із джерелами потенційно опромінюючими.

Заходи з протирадіаційного захисту персоналу і населення повинні враховувати вплив усіх можливих шляхів опромінення і джерел іонізуючого випромінювання, що регламентовані чинним санітарним законодавством.

Як правило, ефективний захист від іонізуючого випромінювання досягається при одночасному комплексному використанні організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів та засобів. При їх виборі враховуються особливості джерел випромінювання. Так, основними заходами, направленими на захист від альфа- та бета-випромінювань, є заходи, що націлені на недопущення накопичення альфа- і бета-активних ізотопів в організмі людини та забруднення шкіри: використання спеціального одягу та взуття, протипилових респіраторів, обезпилення повітря, вологе прибирання помешкань, недопущення вживання радіоактивно забруднених харчових продуктів, води та інші. При роботі з джерелами гама- та рентгенівського випромінювання захист персоналу досягається шляхом зниження активності джерел



випромінювання, обмеження часу роботи з ними, збільшення відстані до джерел, екранування джерела іонізуючого випромінювання або зони знаходження людини.

#### 4.2. Засоби колективного захисту від іонізуючих випромінювань

Засоби та заходи захисту від іонізуючих випромінювань поділяють на технічні, організаційні, санітарно-гігієнічні та лікувально-профілактичні.

До колективних технічних засобів захисту від іонізуючих випромінювань відносяться стаціонарні і пересувні захисні екрани, контейнери для транспортування і зберігання джерел іонізуючих випромінювань, контейнери для збору і транспортування радіоактивних відходів, захисні сейфи, бокси та ін.

Стаціонарні і пересувні захисні екрани призначені для зниження потужності дози випромінювання на робочому місці до допустимої величини. Якщо роботу з джерелами іонізуючих випромінювань проводять у спеціальному приміщенні - робочій камері, то екранами служать її стіни, підлога і стеля, виготовлені з захисних матеріалів. Такі екрани носять назву стаціонарних. Для влаштування пересувних екранів використовують різні щити, які поглинають або ослабляють випромінювання.

Екрани виготовляють з різних матеріалів. Їх товщина залежить від виду іонізуючого випромінювання, властивостей захисного матеріалу і необхідної кратності ослаблення випромінювання, яка показує, у скільки разів необхідно знизити енергетичні показники випромінювання (потужність дози, поглинену дозу, щільність потоку частинок тощо), щоб не перевищити встановлені гігієнічними регламентами ліміти доз опромінення. Наприклад, для випадку зовнішнього опромінювання кратність ослаблення випромінювання  $k$  визначається наступним чином:

$$k = \frac{E_{ext}}{ЛД_E},$$

де  $E_{ext}$  - ефективна доза зовнішнього опромінювання при відсутності екрану;  
 $ЛД_E$  - ліміт ефективної дози.

Для спорудження стаціонарних засобів захисту: стін, перекриттів, стель тощо використовують цеглу, бетон, баритобетон і баритову штукатурку (до їх складу входить сульфат барію -  $BaSO_4$ ). Ці матеріали надійно захищають персонал від дії рентгенівського і гамма-випромінювання.

Для створення пересувних екранів використовують різні матеріали. Ці екрани виготовляють з урахуванням виду та властивостей випромінювань. Для захисту від бета-випромінювання екрани виготовляють з алюмінію або пластмаси (поліметилметакрилат (плексиглас), полікарбонат, полівінілхлорид, полістирол та інші полімери). Від рентгенівського і гамма-випромінювання ефективно захищають свинець, сталь, вольфрамові сплави. Прозорі елементи екранів виготовляють з спеціальних матеріалів, наприклад, свинцевого скла. Від нейтронного випромінювання захищають матеріали, що містять у своєму складі во-

день (вода, парафін), а також берилій, графіт, сполуки бору тощо. Бетон також можна використовувати для захисту від нейтронів.

Для зберігання джерел альфа-випромінювань використовують витяжні шафи. Захисні сейфи застосовуються для зберігання джерел гамма-випромінювання. Вони виготовляються з свинцю і сталі.

Для роботи з джерелами альфа- і бета-випромінювань, використовують захисні рукавичкові бокси, а також бокси оснащені маніпуляторами.

Захисні контейнери і збірники для радіоактивних відходів виготовляються з тих же матеріалів, що і екрани.

Приклади деяких засобів колективного захисту від дії іонізуючого випромінювання наведено на рис. 4.1.

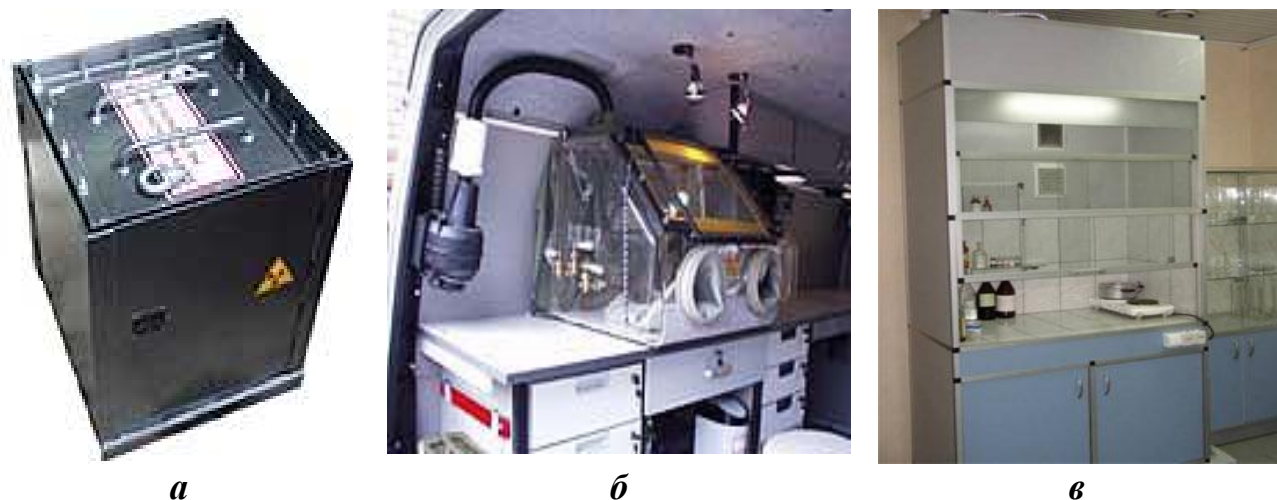


Рис. 4.1. Засоби захисту від дії іонізуючого випромінювання: *а* – контейнер для зберігання радіоактивних речовин; *б* – бокс, оснащений спеціальним маніпулятором; *в* – витяжна шафа

До технічних заходів та засобів відносять використання автоматизованого устаткування з дистанційним керуванням та спеціальними маніпуляторами, які копіюють рухи рук людини, роботизованих комплексів тощо.

До колективних засобів захисту відносяться також інженерні споруди або об'єкти, що створені для захисту населення. Укриття в захисних спорудах - один з основних способів захисту населення. Засоби колективного захисту забезпечують найбільш повний захист людей від дії іонізуючих випромінювань. Захисні споруди поділяються на герметичні, протирадіаційні та найпростіші сховища.

Герметичні сховища створюються для захисту людей, розгортання захищених медичних стаціонарів та пунктів керування. Вони захищають від дії іонізуючих випромінювань так і інших небезпечних чинників.

За захисними властивостями сховища поділяються на класи з відповідними коефіцієнтами захисту. Окрім того сховища поділяються за можливістю їх створення, місткістю та місцем розташування.

В сховищах передбачаються системи забезпечення повітрям, електроенергією, опаленням, водопостачанням, вони мають каналізацію, зв'язок та систему оповіщення.

Існують сховища спеціального типу, що створюються для укриття (захисту) нетранспортабельних хворих. В них є приміщення для хворих, операційно-перев'язувальна, стерилізаційна, харчоблок. В таких сховищах передбачаються певні параметри мікроклімату та газового складу повітря. Забезпечується аварійний запас питної води.

Протирадіаційні укриття – це захисні споруди, що забезпечують захист населення в основному від дії іонізуючого випромінювання та, частково, ударної хвилі. Захисні властивості споруд можна оцінити виходячи з властивостей різних матеріалів, щодо ослаблення радіації (табл. 4.1).

Найпростіші укриття – це споруди, що знижують вплив іонізуючого випромінювання. До них відносять щілини, траншеї, а також інші заглиблені споруди.

Таблиця 4.1.

Товщина шару половинного ослаблення радіації для різних матеріалів

Матеріал	Густина, г/см <sup>3</sup>	Товщина шару половинного ослаблення, см	
		Гамма-випромінювання	Нейронного випромінювання
Вода	1	23	2,7
Деревина	0,7	33	9,7
Грунт	1,6	14,4	12
Цегла	1,6	14,4	9,1
Бетон	2,3	10	12
Кладка цегляна	1,5	15	10
Кладка бутова	2,4	9,6	11
Глина втрамбована	2,06	11	8,3
Вапняк	2,7	8,5	6,1
Поліетилен	0,95	24	2,7
Лід	0,9	26	3
Сталь (броня)	7,8	3	11,5
Свинець	11,3	2	12

### 4.3. Засоби індивідуального захисту

При роботі з джерелами випромінювання використовують різноманітні засоби індивідуального захисту (ЗІЗ). Відповідно до чинних нормативно-правових актів для ефективного захисту працюючих необхідно використовувати не окремі засоби, а захисні комплекти. Захисний комплект включає водночас кілька видів ЗІЗ, які передбачають захист усього працівника – голови, очей, органів дихання, рук, ніг, шкіри – відповідними засобами. Головне призначення комплекту – мінімізувати або повністю виключати вплив іонізуючих випромінювань на працівника з урахуванням зовнішнього опромінення та усіх можливих способи потрапляння радіонуклідів в організм – інгаляційний, пероральний і резорбційний. Комплект ЗІЗ розглядається як єдине ціле, оскільки за-

бруднення або опромінення будь-якої ділянки тіла призводить до ураження працівника. Наприклад у Європейській практиці для захисту працівників АЕС застосовують такі види ЗІЗ (рис. 4.1).



Рис. 4.1. Комплект ЗІЗ для захисту працівників АЕС

У разі можливого виникнення забруднень радіоактивними речовинами або природними радіонуклідами визначають та оцінюють: причини виникнення і концентрацію будь-якого забруднення; тип і характеристики радіаційного джерела; наявність певних радіонуклідів; вид потенційного забруднення; величину можливої дози опромінення. Перелік ЗІЗ та їхню комплектність визначають за даними попередньої оцінки небезпеки на робочому місці або у зоні робіт на підставі системного аналізу таких чинників:

1. Виду забруднень. Під час аналізу умов праці отримують інформацію з якісного та кількісного складу шкідливих та небезпечних виробничих чинників.

2. Захисних характеристик даного виду ЗІЗ, які надає виробник. Аналізують перелік показників та їх значення, які визначено відповідно до вимог національних стандартів і технічних регламентів, і вказано у технічних умовах (ТУ).

3. Відповідності рівню забруднень. Фахівець оцінює здатність забезпечувати адекватний захист за рівнем забруднення вибраного виду і типу ЗІЗ згідно з показниками, наданими у ТУ.

4. Індивідуальних особливостей працівника: розмір, повнота, габітус.

5. Оцінки імовірності виникнення додаткових ризиків, які можуть загрожувати працівнику під час роботи у комплекті ЗІЗ.

Приклад захисного одягу який використовують на об'єктах ядерно-радіаційних технологій в т.ч. на атомних електростанціях, при виконанні робіт на об'єкті "Укриття" наведено на рис. 4.2.

Усі види ЗІЗ негерметичні, невідновлювальні, мають циклічне використання з можливістю очищення до 5...10 циклів дезактивації.

Серед вад наявних комплектів можна виокремити: захисний одяг, виготовлений з бавовняних матеріалів. Він пропускає пил з радіоактивними речовинами і природними радіонуклідами, аерозолі, водні розчини радіоактивних і хімічних речовин. Ізолювальний одяг недостатньо захищає від  $\beta$ -випромінювання і практично не захищає від  $\gamma$ -випромінювання. Для захисту від  $\gamma$ -випромінювання на АЕС використовують фартухи, виготовлені з гуми зі свинцевим наповненням. Проте такі матеріали не рекомендовано до використання у системах захисту, що зумовлено їхнім шкідливим впливом на людину і довкілля.

Засоби багаторазового використання є додатковими джерелами забруднення чистих зон станції під час неправильного роздягання і зберігання, сприяють утворенню рідких радіоактивних відходів під час очищення та твердих радіоактивних відходів під час утилізації.

Неякісний та невірно підібраний захисний одяг не тільки недостатньо захищає, а й створює додаткові ризики травматизму та незручності під час руху. Наприклад, робота на АЕС відбувається під впливом зовнішніх джерел іонізуючого випромінювання та потужних електростатичних полів, тому матеріали, які використовуються для виготовлення захисного одягу, не повинні електризуватися, створюючи цим небезпеку самовільних електричних розрядів. Захисний одяг, призначений для експлуатації впродовж робочої зміни, часто має підвищену масу, низький рівень повітропроникності, паропоглинання, що суттєво ускладнює процес теплообміну між зовнішнім середовищем і працівником. Утворюються додаткові незручності, що зумовлені: зниженням площі поля зору порівняно зі звичайною, погіршенням комунікативного зв'язку, ускладненням рухів, порушенням координації рухів рук. Такі умови підвищують уразливість працівника до навколишніх шкідливих чинників і можуть збільшити опромінення через затримку під час робіт.

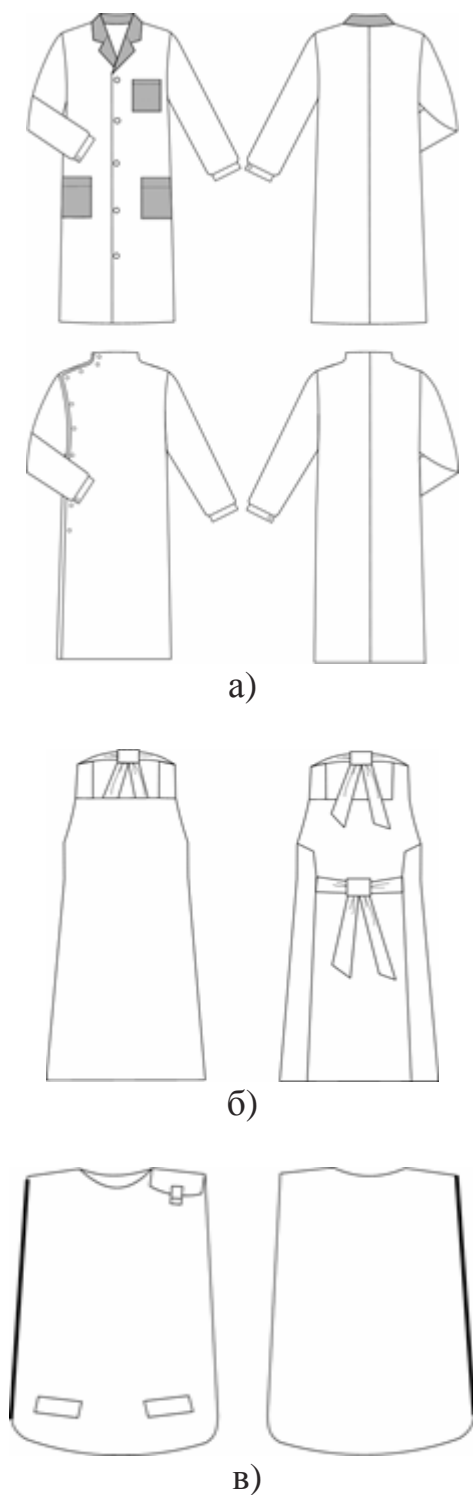


Рис. 4.2. Проектно-конструктивні рішення існуючих різновидів захисного одягу українського виробництва: а – халати з бавовни; б – фартух з прогумованого матеріалу; в – накидка з прогумованого матеріалу зі свинцевим наповнювачем

ЗІЗ органів дихання повинні забезпечувати очищення повітря у фільтрах до значень, відповідних вимогам нормативно-правових актів та своєчасне використання респіраторів протягом всієї зміни або коли кількість шкідливих домішок перевищує гранично допустимі значення.

Надійне ізолювання органів дихання від шкідливого навколишнього середовища досягається у півмасках, лицева частина яких виконана з повітропроникного фільтруючого матеріалу, завдяки використанню смуги обтюратора зі змінною геометрією, яка може видозмінюватись враховуючи антропометричні відмінності обличчя. Приклади ЗІЗ органів дихання наведені на рис. 4.3.



Рис. 4.3. Приклади ЗІЗ органів дихання зі змінною геометрією смуги обтюратора: а - респіратор типу «Сніжок»; б - респіратор типу «Еол»; в - респіратор «Хібіни».

До засобів захисту голови відносяться каски захисні, шоломи, підшоломники, шапки, берети, капелюхи, ковпаки, косинки, накомарники. Для захисту голови від зовнішніх впливів (падіння дрібних предметів, сонячних променів при роботі влітку на відкритому повітрі тощо) застосовують каски, шоломи, підшоломники, шапки, берети, капелюхи.

Каски складаються з корпусу, внутрішньої оснастки і підборідного ремня. Маса корпусу каски в залежності від розміру становить 400 або 460 г. Каски на вимогу споживача можуть оснащувати пристроями для кріплення на них респіратора, протишумових навушників, щитка або окулярів для захисту очей і обличчя. У відповідності з технічними вимогами каски повинні витримувати випробування вертикально спрямованим ударом з енергією  $(80 \pm 0,2)$  Дж; при цьому не допускається утворення наскрізних тріщин і вм'ятин корпусу, а також руйнування внутрішньої оснастки. Щоб каска мала передбачені амортизаційні властивості, її внутрішня оснастка повинна щільно облягати голову. Для цього необхідно з'єднати обидві половини кругового амортизатора гачками, розташованими на одній з його половин. Захисні каски полегшені повинні мати природну вентиляцію внутрішнього простору, а при її відсутності повинні мати пристосування, які поглинають вологу з її внутрішньої сторони. У зимові місяці каску використовують разом з підшоломником.

Створення ЗІЗ, який має потрібні захисні властивості, а також відповідає всім вимогам ергономічності, є завданням достатньо складним. через суперечливість способів їх реалізації. Так, для ЗО зазвичай використовують матеріали повітро- і паронепроникні. Такі матеріали погіршують тепловий стан працівни-

ка через ускладнення волого-газо- і теплообміну з навколишнім середовищем, знижуючи його працездатність. Окрім того деякі матеріали мають велику поверхневу густину, і костюм, виготовлений з такого матеріалу, спричиняє суттєві статичні навантаження на тіло людини. Це призводить до швидкої втомлюваності працівника і вимагає міцного здоров'я і витривалості. У такому разі незадовільні показники гігієнічних та ергономічних характеристик частково компенсують скороченням тривалості експлуатації ЗО, що призводить до зниження продуктивності і збільшення загальної тривалості робіт.

Ізолювальний ЗО у комплекті з рукавичками, каскою, респіратором, захисним взуттям, що має гумову підошву, є гарним діелектриком, і це сприяє нагромадженню на тілі людини електричних зарядів. Під час робіт у таких видах одягу і взуття, на їхніх поверхнях утворюється електростатичне поле з потенціалами від 8 до 25 кВ, а на тілі людини – 2...8 кВ. Наявність у захисному або внутрішньому одязі працівника полімерних, бавовняних або вовняних волокон сприяє утворенню електричних потенціалів на рівні 1...5 кВ. Потріскування та іскріння одягу характеризує статичний заряд більш як 5 кВ. Технологічний одяг, виготовлений з бавовняної тканини, змішаної з поліестером, легко заряджається до 20 кВ. Статична електризація на поверхнях працівника з подальшим розрядом на землю або заземлене устаткування, а також електричний розряд з незаземленого устаткування через тіло людини, викликає болісні та нервові відчуття, супроводжуючись мимовільними різкими рухами, в результаті яких можуть бути падіння і травми (забиті місця). Більшість людей відчувають дискомфорт за напруги 1,5...2 кВ, окремі органи і тканини в тілі людини чутливі до потенціалів у діапазоні 100...150 В.

На АЕС повсюдно встановлено електронні засоби керування та вимірювання, які особливо чутливі до впливу зовнішніх електростатичних полів. Незважаючи на те, що електростатичний заряд не містить великої кількості енергії, висока різниця потенціалів сприяє утворенню струмів, достатніх і для миттєвого виходу з ладу чутливих електронних компонентів, і для внутрішнього молекулярного пошкодження їхніх кристалічних ґраток. Через розряди статичної електрики із захисного комплекту працівника може настати пошкодження або порушення функціонування електронних приладів на робочих місцях, пультах управління, в диспетчерських, про що свідчать численні дослідження. Потенціал, пов'язаний з електростатичним зарядом, може стерти закодовану інформацію в блоці пам'яті комп'ютера і створити перешкоди в електронному зв'язку. Для більшої частини виробів мікроелектроніки статичний розряд у 5...10 кВ є руйнівним. Дослідження, здійснені на різних об'єктах, виявили, що більш як 50 % можливих перенапружень, які призвели до пошкодження електронних пристроїв для діагностики, керування, зберігання та передачі інформації або неправильного їх спрацювання, пов'язано з електростатичними полями, які утворилися на захисних засобах – одязі, рукавичках, респіраторах.

ЗО є головним видом ЗІЗ, який захищає працівників під час виконання щоденних, регламентних робіт, а також у разі аварійних і післяаварійних робіт. Відповідно до ЗО – це одяг, який закриває або замінює власний одяг, призначений для захисту від однієї або декількох видів небезпеки.



Вироби до захисту ніг повинні забезпечувати захист від промислового бруду, сухих і рідких РАВ. Відповідно до ЗІЗ ніг належать: чоботи, бахили, гамаші, наколінники.

Вироби для захисту рук повинні мати відповідні захисні властивості, які відповідають вимогам діючих стандартів і захищати від основних факторів ризику та умов ушкодження або травмування. В умовах АЕС ЗІЗ рук використовують з урахуванням впливу певних небезпечних та шкідливих чинників, а саме:

- від механічних ушкоджень - використовують під час виконання механічних робіт, захищають від порізів, проколу, удару, стирання та вібрацій;
- від хімічних речовин - забезпечують захист від хімічно активних речовин у поєднанні із захистом від механічних ушкоджень;
- з термічним захистом - використовують в умовах високих і низьких температур;
- для біологічного захисту - використовуються під час роботи з біологічно активними речовинами, захищають від алергічних реакцій, бруду та бактерій;
- від іонізуючих випромінювань - використовують у умовах впливу  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -випромінювання, захищають від наслідків впливу іонізуючого випромінювання;
- від електромагнітного впливу - використовують під час робіт, які здійснюють під напругою на електроустановках (проводи, двигуни, комутаційні прилади, конденсатори, випрямлячі та інше електрообладнання), захищають від струму та впливу електромагнітного поля промислової частоти.

Різновиди для захисних виробів рук такі: рукавиці, рукавички, надолонки, напальчники, напульсники, нарукавники, налокітники. Нині виробниками захисних виробів рук випускається більше 100 типів тільки рукавичок.

На АЕС використовують ЗІЗ органів дихання, до яких належать фільтрувальні півмаски, маски та ізолювальні дихальні апарати. Протиаерозольна фільтрувальна півмаска закриває ніс, рот і підборіддя і може містити вдихальний або видихальний клапан. Протиаерозольні фільтрувальні півмаски класифікують відповідно до ефективності фільтрації і максимального загального коефіцієнта підсмоктування. Визначають три класи півмасок: РРР1, РРР2, РРР3. На АЕС потрібно використовувати півмаски класу РРР3, які дають змогу працювати за концентрації до 30 граничнодопустимих концентрацій (ГДК). Такі респіратори захищають від пилу високої концентрації з твердими частками, які містять берил, алюміній, кобальт, радіонукліди, передусім радіоактивних ізотопів йоду ( $^{128}\text{I}$  до  $^{139}\text{I}$ ).

Для захисту органів дихання та поверхні обличчя від впливу високих концентрацій у повітрі робочої зони сильнодіючих токсичних газів, аерозолів з радіонуклідами та біологічних аерозолів за рахунок очищення (фільтрації) забрудненого повітря у фільтрувально-поглинальній фільтрах використовують фільтрувальні протигазы. Протигаз є пристроєм багаторазового застосування і можуть використовуватися в атмосфері, яка містить не менш як 17 % кисню.

Відповідно до рекомендацій Міжнародного агентства з атомної енергії для різних умов праці застосовуються п'ять видів комплектів: разового викори-

стання, ізолювальні декількох видів, фільтрувальні і радіаційнозахисні (рис. 4.4).

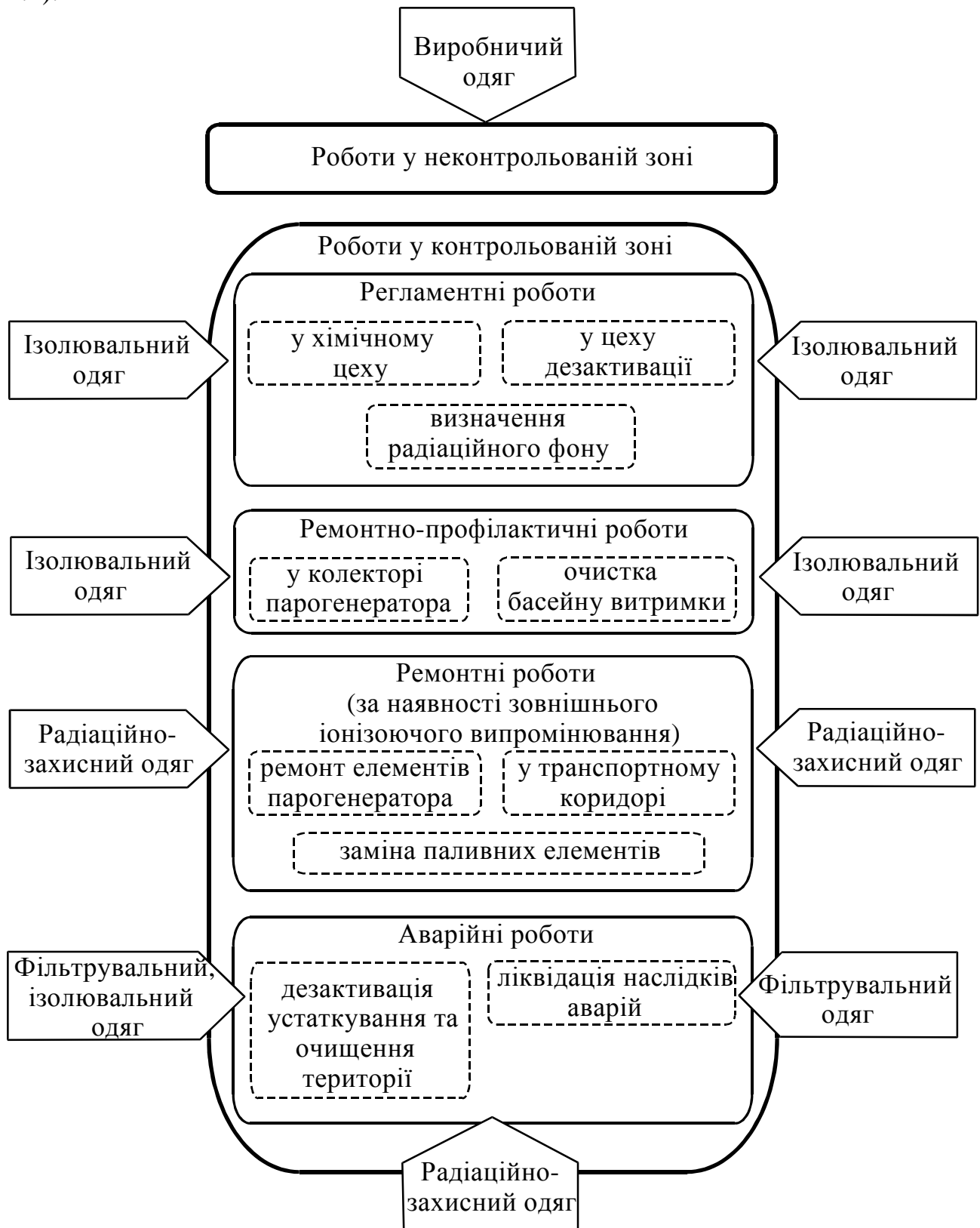


Рис. 4.4. Види робіт на території АЕС з рекомендованим переліком різновидів комплектів ЗІЗ

#### 4.4. Організаційні заходи

Організаційні заходи передбачають забезпечення виконання вимог норм радіаційної безпеки.

Всі види практичної діяльності, пов'язаної з використанням джерел іонізуючого випромінювання, повинні здійснюватись відповідно до Законів України «Про дозвільну діяльність у сфері використання ядерної енергії» та «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку».

Використання ядерних установок та джерел іонізуючого випромінювання на території України базується на дозвільному принципі і провадиться на підставі ліцензій, окремих дозволів та сертифікатів відповідно до Закону України «Про дозвільну діяльність у сфері використання ядерної енергії». Цей Закон визначає правові та організаційні засади дозвільної діяльності у сфері використання ядерної енергії, а також загальні положення регулювання суспільних відносин, що виникають під час її провадження. Згідно з цим законом окремі види діяльності у сфері використання ядерної енергії підлягають обов'язковому ліцензуванню. До них відносяться:

- переробка уранових руд;
- перевезення радіоактивних матеріалів;
- переробка, зберігання радіоактивних відходів;
- виробництво джерел іонізуючого випромінювання;
- використання джерел іонізуючого випромінювання;
- підготовка персоналу для експлуатації ядерної установки;
- підготовка, перепідготовка та підвищення кваліфікації спеціалістів з фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання.

Ліцензування зазначених видів діяльності відповідно до законодавства здійснюється органом державного регулювання ядерної та радіаційної безпеки, яким нині є Державний комітет ядерного регулювання України (Держатомрегулювання), положення про який затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 27.12.06 р. №1830

Від ліцензування звільняється діяльність, пов'язана з використанням джерел іонізуючого випромінювання, за таких умов:

- безпека використання джерела іонізуючого випромінювання забезпечується його конструкцією;

- використання джерела іонізуючого випромінювання не потребує спеціальної підготовки персоналу з питань ядерної та радіаційної безпеки, що виходить за межі вивчення інструкції з використання цього джерела іонізуючого випромінювання;

- досвід використання свідчить про відсутність аварій з радіаційними наслідками.

Перелік джерел іонізуючого випромінювання, діяльність по використанню яких звільняється від ліцензування, визначається Держатомрегулювання за погодженням з Міністерством охорони здоров'я України.

Для отримання ліцензії на провадження діяльності у сфері використання ядерної енергії суб'єкт діяльності подає заяву до Держатомрегулювання. До заяви додаються копії засвідчених в установленому законодавством порядку установчих документів, матеріали, які містять обґрунтування безпеки ядерної установки або сховища для захоронення радіоактивних відходів, джерел іонізуючого випромінювання та уранових об'єктів, а також документи, що підтверджують спроможність заявника дотримуватися умов провадження заявленого виду діяльності, встановлених нормами та правилами з ядерної та радіаційної безпеки.

Отримання експлуатуючою організацією ліцензії є підставою для початку провадження діяльності у сфері використання ядерної енергії. Ліцензією встановлюються умови та обмеження провадження такої діяльності, здійснення робіт та операцій, обумовлюється технологічний комплекс і межі майданчика, на які поширюється дія цієї ліцензії. Одна ліцензія може бути видана на комплекс із декількох ядерних установок або сховищ для захоронення радіоактивних відходів, розташованих у межах одного майданчика.

Джерела іонізуючого випромінювання, у тому числі ті, діяльність з використання яких звільняється від ліцензування, підлягають державній реєстрації. Ведення реєстру здійснює Держатомрегулювання.

Дозвіл (санітарний паспорт) на проведення робіт з джерелами іонізуючих випромінювань підприємствам та установам надає Державна служба України з питань безпечності харчових продуктів та захисту споживачів (Держпродспоживслужба) на підставі заяви підприємства чи установи та документів, що підтверджують їх спроможність щодо забезпечення виконання вимог норм радіаційної безпеки.

З метою перевірки дотримання на радіаційно-небезпечних об'єктах вимог законодавства України, норм, правил і стандартів з ядерної та радіаційної безпеки, з фізичного захисту та умов ліцензій і дозволів та прийняття відповідних заходів впливу у разі порушення вказаних вимог для забезпечення захисту персоналу, населення та навколишнього природного середовища Держатомрегулювання та його територіальними підрозділами здійснюється державний нагляд у сфері використання ядерної енергії.

Держатомрегулювання в межах своєї компетенції організовує і здійснює державний нагляд за такими напрямками:

- дотримання об'єктами нагляду, а також підприємствами, установами та організаціями, що виконують роботи на майданчиках цих об'єктів, вимог законодавства, норм правил та стандартів з ядерної та радіаційної безпеки;
- виконання умов ліцензій на право здійснення окремих етапів життєвого циклу, видів діяльності в сфері використання ядерної енергії та дозволів на виконання видів робіт або операцій;
- дотримання вимог законодавства, норм та правил у частині обліку та контролю ядерних матеріалів підприємствами, організаціями, установами, які використовують, перевозять або зберігають ядерні матеріали, радіоактивні відходи чи джерела іонізуючих випромінювань, а також забезпечення гарантій нерозповсюдження ядерних матеріалів та технологій;

– аварійна готовність, розробка та реалізація заходів із запобігання аварій та зменшення їх наслідків. Зокрема, розробка та реалізація заходів із забезпечення захисту персоналу, населення та навколишнього природного середовища від негативного радіаційного впливу у випадку аварії і готовність підприємств, організацій і установ до ліквідації її наслідків (розробка та впровадження планів аварійної готовності);

– забезпечення фізичного захисту ядерних установок, об'єктів поводження з ядерними матеріалами, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів та інших джерел іонізуючих випромінювань.

Безпосередньо державний нагляд за дотриманням вимог ядерної та радіаційної здійснюють державні інспектори з ядерної та радіаційної безпеки Держатомрегулювання. Порядок здійснення державного нагляду за дотриманням вимог ядерної та радіаційної безпеки затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 13 листопада 2013 р. № 824.

Матеріали з обґрунтування безпеки ядерної установки або сховища для захоронення радіоактивних відходів, джерел іонізуючого випромінювання та уранових об'єктів, підлягають обов'язковій державній експертизі. Державну експертизу проводить Держатомрегулювання з урахуванням оцінки впливу на довкілля та інших державних експертиз, які здійснюються згідно з законодавством. Здійснення санітарно-епідеміологічної експертизи на технічні умови виготовлення продукції, яка містить джерела випромінювання, та саму продукцію, що виготовляється, покладено на Держпродспоживслужбу.

Незалежно від державної експертизи може здійснюється громадська експертиза безпеки ядерної установки чи об'єкта, призначеного для поводження з радіоактивними відходами. Така експертиза здійснюється з ініціативи об'єднань громадян, а також місцевих органів виконавчої влади та органів місцевого самоврядування за рахунок їх коштів або на громадських засадах організацією чи експертами згідно з законодавством. Висновки громадської експертизи є рекомендаційними і подаються в органи, які здійснюють державну експертизу.

У місцях розташування ядерної установки чи об'єкта, призначених для поводження з радіоактивними відходами, може бути впроваджено особливий режим території, що полягає у встановленні санітарно-захисної зони і зони спостереження.

**Санітарно-захисна зона** - територія навколо ядерної установки та об'єктів, призначених для поводження з радіоактивними відходами, на якій рівень опромінення людей в умовах нормальної експлуатації може перевищувати квоту ліміту дози для населення. У санітарно-захисній зоні забороняється проживання населення, встановлюються обмеження на виробничу діяльність, що не стосується ядерної установки або об'єктів, призначених для поводження з радіоактивними відходами, та здійснюється контроль за радіаційним станом. В цій зоні забороняється розміщення жилих будинків та громадських споруд, дитячих та лікувально-оздоровчих установ, а також промислових підприємств, об'єктів громадського харчування, допоміжних та інших споруд, не пов'язаних з діяльністю ядерної установки або об'єкта, призначеного для поводження з радіоактивними відходами.

Використання для народногосподарських цілей земель і водоймищ, розташованих у санітарно-захисній зоні, можливе лише з дозволу Держатомрегулювання за погодженням з експлуатуючою організацією за умови обов'язкового проведення радіологічного контролю продукції, яка виробляється.

На території ядерної установки персонал, відвідувачі, їх транспортні засоби можуть бути оглянуті посадовими особами підрозділу охорони з використанням спеціальних засобів виявлення боєприпасів, зброї, радіоактивних, отруйних та наркотичних речовин, інших предметів, за допомогою яких можливе вчинення диверсійних та терористичних актів.

Роботи з джерелами іонізуючих випромінювань дозволяються тільки в приміщеннях, зазначених у дозволі (санітарному паспорті) на проведення робіт, наданому підприємству. Проведення робіт, не пов'язаних із застосуванням джерел іонізуючих випромінювань, у цих приміщеннях допускається тільки тоді, коли вони є частиною єдиного технологічного процесу і передбачені в дозволі. На дверях кожного такого приміщення повинне бути вказане його призначення, клас здійснюваних у ньому робіт з відкритими радіоактивними речовинами та знак радіаційної небезпеки (рис. 4.5).

Знаком радіаційної небезпеки повинні бути також відмічені контейнери, упакування, транспортні засоби, апарати, обладнання, пересувні установки, призначені для роботи з джерелами іонізуючих випромінювань.



Рис. 4.5. Знак радіаційної небезпеки

Усі роботи з використанням відкритих джерел підрозділяють на три класи. Клас робіт устанавлюється установами та закладами Держпродспоживслужби відповідно до класифікації (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Класи робіт під час виробничого контакту з радіоактивними речовинами у відкритому вигляді

Група радіаційної небезпеки радіонуклідів	Мінімально значуща активність* (МЗА), кБк	Активність на робочому місці, кБк		
		Клас робіт		
		I	II	III
<b>A</b>	1	10 <sup>5</sup> і більше	Від 100 до 10 <sup>5</sup>	Від 1 до 100
<b>B</b>	10	10 <sup>6</sup> і більше	Від 10 <sup>3</sup> до 10 <sup>6</sup>	Від 10 до 10 <sup>3</sup>
<b>B</b>	100	10 <sup>7</sup> і більше	Від 10 <sup>4</sup> до 10 <sup>7</sup>	Від 100 до 10 <sup>4</sup>
<b>Г</b>	1000	10 <sup>8</sup> і більше	Від 10 <sup>5</sup> до 10 <sup>8</sup>	Від 10 <sup>3</sup> до 10 <sup>5</sup>

\*активність відкритого джерела радіоактивного випромінювання на робочому місці, при якій не вимагається спеціального дозволу органів нагляду на одержання і використання джерела.

Роботи III класу повинні здійснюватись в окремих приміщеннях, що відповідають вимогам, які застосовуються до хімічних лабораторій; виділяються приміщення (кімнати, місця) для зберігання та фасування розчинів. Приміщення для робіт III класу можуть мати однозональне планування з обладнанням у них душової та припливно-витяжної вентиляції. Роботи, пов'язані з можливим радіоактивним забрудненням повітря (операції з порошками, упарювання розчинів, робота з емануючими та летючими речовинами), повинні здійснюватись у витяжних шафах.

Роботи II класу повинні здійснюватись у приміщеннях, розташованих в окремій частині будинку (ізолювано від інших приміщень). Планування виробничих приміщень для робіт II класу повинне бути одно- або двозональним. Двональне планування забезпечує відмежування "зони обладнання та ремонту" (1 зона - приміщення періодичного обслуговування, в яких немає робочих місць з постійним перебуванням персоналу) від "зони обслуговування" (2 зона - приміщення постійного обслуговування і перебування персоналу протягом усієї робочої зміни). У зоні обслуговування повинні бути розміщені санітарний шлюз, санпропускник (або душова), а на виході - пункт радіаційного контролю. У зоні обладнання та ремонту повинні бути обладнані шафи або бокси.

У разі здійснення на одному підприємстві робіт II і III класів, пов'язаних єдиною технологією, необхідно виділити загальний (окремий) блок приміщень, обладнаних у відповідності до вимог, які висуваються до робіт II класу.

Роботи I класу повинні здійснюватись в окремій будівлі або надійно ізолюваній частині будівлі з окремим входом через санпропускник. Робочі приміщення повинні бути обладнані герметичними боксами, камерами, каньйонами та іншим подібного типу герметичним обладнанням. Виробничі приміщення для робіт I класу підрозділяються, як правило, на три зони.

Перша зона - приміщення, що не обслуговуються і де розміщені технологічне обладнання та комунікації, які можуть бути основними джерелами випромінювання та радіоактивного забруднення. Перебування персоналу в приміщеннях цієї зони під час роботи технологічного обладнання не допускається. З цією метою приміщення 1 зони відокремлюються від приміщень 2 і 3 зон две-

рима спеціальної конструкції (або іншими додатковими системами фізичного захисту, які надійно запобігають несанкціонованому доступу в 1 зону). У виняткових випадках допускається вхід персоналу в необслуговувані приміщення 1 зони під час роботи технологічного обладнання за спеціальними допусками для огляду (ремонт) обладнання в строгій відповідності до типових програм та інструкцій, затверджених адміністрацією підприємства, а також з урахуванням додаткових протирадіаційних організаційно-технічних захисних заходів.

Друга зона - приміщення періодичного обслуговування персоналом, призначені для ремонту забрудненого обладнання, інших робіт, пов'язаних із розкриттям технологічного обладнання (вузлів завантаження та розвантаження радіоактивних матеріалів), а також тимчасового зберігання сировини, радіоактивних відходів та готової продукції.

Третя зона - приміщення постійного перебування персоналу протягом усієї зміни (операторські, пульти управління). У цій зоні повинні (можуть) розташовуватись адміністративні та службові приміщення, медпункт, майстерні з ремонту незабрудненого обладнання та апаратури, складські приміщення нерадіоактивних матеріалів, центральний пульт управління, приміщення для електротехнічного обладнання, системи припливної вентиляції та вентиляційні агрегати витяжної системи.

Для виключення можливого виносу радіоактивних забруднень з приміщень 2 зони в приміщення 3 зони між ними обладнується санітарний шлюз.

Практична діяльність на підприємстві повинна здійснюватись відповідно до інструкцій з радіаційної безпеки, у яких викладаються:

- порядок проведення робіт, обліку, зберігання, видачі та транспортування джерел, збору і видалення радіоактивних відходів, утримання приміщень;
- заходи і засоби індивідуального захисту;
- заходи радіаційної безпеки під час робіт із джерелами;
- заходи попередження, виявлення і ліквідації радіаційних аварій;
- організація здійснення радіаційного контролю.

У разі зміни умов роботи до інструкцій повинні вноситись необхідні зміни. Основні положення з інструкцій з радіаційної безпеки, що визначають порядок проведення конкретних робіт, рекомендується вивішувати на видному місці в приміщенні або на робочих місцях.

До роботи з джерелами іонізуючих випромінювань допускаються особи не молодші 18 років.

Особи з персоналу, що віднесені до категорії А, у тому числі тимчасово залучені до робіт із джерелами, проходять попередній медичний огляд до прийняття на роботу, а також періодичні медичні огляди (не рідше 1 разу на рік). До роботи допускаються особи, що не мають медичних протипоказань. Ті особи, які відповідальні за дотримання технологічного процесу, значущість помилки яких може призвести до пошкодження обладнання, зупинки виробничого процесу, аварій із небезпекою для здоров'я і життя людей, повинні проходити медичний огляд перед початком зміни.

Допуск осіб до роботи на ядерних установках з ядерними матеріалами і об'єктах, призначених для поводження з радіоактивними відходами, іншими



джерелами іонізуючого випромінювання, надає керівник підприємства, установи, організації (далі підприємства) за наявності позитивних висновків спеціальної перевірки всіх відомостей, що подають про себе особи, які бажають виконувати роботи на ядерних установках з ядерними матеріалами і об'єктах, призначених для поводження з радіоактивними відходами, іншими джерелами іонізуючого випромінювання. Спеціальну перевірку виконують на підставі відповідного запиту державні органи, які здійснюють оперативно-розшукову діяльність згідно з законодавством.

Керівник підприємства повинен:

- призначити наказом по підприємству осіб з персоналу, що належать до категорії А, які працюватимуть з цими джерелами, і забезпечити їхнє належне навчання, підготовку та інструктаж, у тому числі в галузі радіаційної безпеки, а також періодично здійснювати перепідготовку і підвищення кваліфікації персоналу з метою забезпечення необхідного рівня компетенції;

- призначити наказом по підприємству осіб (особу), відповідальних за радіаційну безпеку, облік і зберігання джерел, за організацію збору, зберігання і здавання радіоактивних відходів на захоронення, за радіаційний контроль, за підготовку і реалізацію програм навчання персоналу;

- розробити правила внутрішнього розпорядку, які визначатимуть обов'язки персоналу щодо робіт із джерелами;

У разі звільнення відповідальної особи адміністрація до її звільнення зобов'язана:

- призначити нову відповідальну особу;
- здійснити позачергову інвентаризацію джерел;
- перевірити документацію щодо їхнього обліку;
- передати новій призначеній відповідальній особі за актом документацію, пов'язану з обліком джерел.

Особи, відповідальні за прийняття, зберігання і видачу джерел іонізуючих випромінювань, видають їх (із місць зберігання) виконавцям робіт тільки за письмовим дозволом адміністрації підприємства. Видача і повернення джерел реєструються в прибутково-видатковому журналі, що знаходиться у відповідальній за зберігання джерела особи.

Адміністрація підприємства відповідає за зберігання джерел іонізуючих випромінювань і повинна забезпечити такі умови зберігання, одержання, використання, витрати і списання з обліку всіх джерел, за яких виключається можливість їхньої втрати, ушкодження або безконтрольного використання. Щорічно комісія, призначена адміністрацією підприємства, здійснює інвентаризацію радіоактивних речовин, радіонуклідних приладів, апаратів, рентгенівських і інших установок незалежно від їхньої активності та призначення.

У разі виявлення втрат джерел іонізуючих випромінювань або витрати радіоактивних речовин для цілей, не передбачених технологією, негайно інформуються територіальні підрозділи Держатомрегулювання та Держпродспоживслужби та проводиться розслідування.

Джерела іонізуючих випромінювань гарантійний термін експлуатації яких минув або їхнє використання надалі не передбачається, повинні бути в мі-

сячний термін переведені в режим зберігання з наступною передачею іншому підприємству, підприємству-виготовлювачу або підготовлені до захоронення в терміни, погоджені з територіальними підрозділами Держпродспоживслужби.

Спеціально обладнані приміщення-сховища повинні розміщуватися на рівні нижніх відміток будинку (підвал, що не може бути підтопленим, перший поверх).

#### **4.5. Санітарно-гігієнічні заходи**

Санітарно-гігієнічні заходи передбачають: забезпечення чистоти приміщень, включаючи щоденне вологе прибирання; використання приливно-втяжної вентиляції, дотримання норм особистої гігієни.

В усіх приміщеннях з постійним перебуванням персоналу, призначених для робіт із джерелами іонізуючих випромінювань у відкритому вигляді, повинне здійснюватись щоденне прибирання вологим способом. Періодично, але не рідше одного разу на місяць, здійснюється генеральне прибирання з дезактивацією стін, підлог, дверей та зовнішніх поверхонь обладнання. Прибирання здійснюється з максимальним застосуванням засобів механізації.

Виробничі операції з радіоактивними речовинами в камерах і боксах повинні виконуватись дистанційними засобами або за допомогою рукавиць, герметично вмонтованих у фасадну стінку боксу чи камери.

Обладнання і робочі меблі повинні мати гладеньку поверхню, просту конструкцію і слабкосорбційні покриття, що полегшуватимуть видалення радіоактивних забруднень.

Обладнання, інструменти і меблі повинні бути закріплені за приміщеннями кожного класу (зони) і відповідно марковані.

Кількість радіоактивних речовин на робочому місці повинна бути мінімальною необхідною для роботи

Радіоактивне забруднення зовнішніх поверхонь устаткування, апаратури, інструменту, лабораторного посуду, поверхонь робочих приміщень не повинно перевищувати допустимих рівнів загального забруднення, що встановлені НРБУ-97.

У приміщеннях постійного перебування персоналу, де працюють з джерелами у відкритому вигляді, має бути передбачений сталий запас дезактивуючих засобів і миючих розчинів, що добираються з урахуванням властивостей радіонуклідів та їхніх сполук, з якими йде робота, а також характеру поверхонь, що підлягають дезактивації.

Після закінчення робіт кожен працівник має прибрати своє робоче місце і при потребі дезактивувати устаткування, інструмент, робочий посуд, які були задіяні в процесі роботи з відкритими джерелами.

У разі забруднення радіоактивними речовинами приміщень або їх окремих ділянок негайно приступають до дезактивації. Якщо забруднення трапилось порошковою сухою речовиною, то його збирають злегка вологою ганчіркою, попередньо вимкнувши вентиляцію. Велику кількість розлитих радіоактивних рідин засипають стружкою. Після того, як основна їх кількість буде вида-

лена, залишки забруднення знищують обробкою спеціальними миючими засобами.

Деактивацію забруднених поверхонь проводять за допомогою м'яких щіток, тампонів, змочених миючими засобами, або способом змиву.

Після дезактивації спеціальними миючими засобами поверхню рясно промивають водою і протирають сухою чистою ганчіркою. Потім проводять контроль чистоти поверхні відповідним радіометричним приладом.

Радіоактивні забруднення зовнішніх поверхонь обладнання, інструментів, лабораторного посуду, поверхонь робочих приміщень і відділень для зберігання спецодягу не має перевищувати допустимих рівнів.

Використані щітки, тампони збирають у пластикові мішки або в інші ємкості та видаляють як радіоактивні відходи.

Як миючі засоби можуть використовуватись такі розчини:

1) пральний порошок - 10 мл, луг - 10 мл, вода - до 1 л.

2) щавлева кислота - 5 г, кухонна сіль - 50 г, миючий засіб ДС-РАС – 10 мл, вода – до 1 л.

Якщо не вдалося ефективно провести дезактивацію вказаними засобами, то для додаткової обробки поверхонь використовують розчин перманганат калію -40 г, кислоти сірчаної (питома маса - 1,84) - 5 мл, води - до 1 л.

Перманганат калію розчиняють в 1 л води підігрітої до 60<sup>0</sup>С, потім охолоджують до кімнатної температури. У розчин доливають сірчану кислоту і перемішують.

Якщо оброблюваний матеріал нестійкий до розчинів, що містять кислоти, для дезактивації використовують лужний розчин їдкого натру -10 г, трилону Б - 10 г, води - до 1 л. Їдкий натр розчиняють у воді, додають трилон Б, перемішують до повного розчинення.

Для дезактивації цінного обладнання, приладів готують наступні розчини:

- лимонна кислота - 10 г, вода - до 1 л;

- щавлева кислота - 20 г, вода - до 1 л;

- натрію гексаметафосфат - 10-20 г, вода - до 1 л;

- миючий засіб ОП-7 - 4 г, соляна кислота - 20 мл, гексаметафосфат натрію - 4 г, вода - до 1 л.

Кислоту або гексаметафосфат натрію розчиняють, перемішуючи, в 1 л води при кімнатній температурі.

При необхідності дезактивації поверхонь з лаково-фарбовим покриттям верхній шар знімають механічним (зчісування) або хімічним (за допомогою спеціальних розчинників) способом.

Одяг (фартухи, нарукавники з поліхлорвінілу та поліетилену можна дезактивувати в розчині натрію гексаметафосфату - 10-20 г, води - до 1 л.

Після дезактивації підлогу і обладнання ретельно промивають водою і протирають насухо ганчіркою.

Чинними нормативно-правовими актами ставляться особливі вимоги до вентиляції та дозиметричний контроль за рівнем радіаційного забруднення в повітрі приміщень з джерелами іонізуючого випромінювання.

Вентиляційні та повітроочисні пристрої мають забезпечувати захист від радіоактивних забруднень повітряного середовища робочих приміщень і атмосферного повітря до встановлених рівнів. Потоки повітря повинні бути направлені з приміщень із меншим до приміщень із більшим можливим забрудненням, для запобігання зворотній течії повітря слід установлювати клапани надмірного тиску. Забороняється в приміщеннях для робіт I і II класів використання системи рециркуляції повітря без очищення від радіоактивних і токсичних речовин та аерації.

У будівлях, де для робіт з радіоактивними речовинами відводиться тільки частина загальної площі, необхідно передбачати окремі системи вентиляції для приміщень, в яких ведуться роботи з радіоактивними речовинами, і приміщень, не пов'язаних з використанням радіоактивних речовин.

Забруднене повітря, що видаляється з укриттів, боксів, камер, шаф та іншого обладнання, повинне підлягати очищенню перед викидом в атмосферу. Дозволяється видаляти вентиляційне повітря без очищення, якщо його об'ємна активність у викиді не перевищує допустимої для повітря робочих приміщень, а сумарний викид за рік не перевищить встановленого значення допустимого викиду.

Розрахункова швидкість руху повітря в робочих отворах витяжних шаф та укриттів повинна прийматися рівною 1,5 м/с. У герметичних камерах і боксах із зачиненими отворами повинне забезпечуватись розрахункове розрідження не менше 200 Па. Камери і бокси повинні бути обладнані приладами контролю ступеня розрідження.

Основними вимогами до систем і установок пилогазоочищення є:

- механізація та автоматизація процесів обслуговування, ремонту і заміни пилогазоочисного обладнання, а за необхідності - дистанційне здійснення цих робіт;

- наявність систем автоматичної сигналізації та контролю за ефективністю роботи очисних апаратів і фільтрів;

- надійна ізоляція пилогазоочисного обладнання як джерела іонізуючих випромінювань, забезпечення безпеки персоналу при його огляді та обслуговуванні.

Фільтри і очисні апарати слід установлювати за можливістю безпосередньо біля боксів, камер, шаф, укриттів з тим, щоб максимально знизити забруднення систем магістральних повітроводів.

Строк служби апаратів і фільтрів повинен визначатися за зниженням пропускної здатності для повітря чи за рівнем радіаційної небезпеки, що виникла в результаті накопичення радіоактивних речовин: забруднення фільтрів не повинне перевищувати допустимого рівня загального радіоактивного забруднення робочих поверхонь приміщень постійного перебування персоналу та розміщеного в них обладнання.

Приміщення, де розміщене пилогазоочисне обладнання, мають бути ізольовані та не сполучатися в повітрі з основними виробничими приміщеннями і зонами. Вхід і вихід в такі приміщення повинен здійснюватись через окремий санітарний шлюз.

Для робіт I класу необхідно передбачити систему постачання повітря з концентрацією радіонуклідів не вище допустимої до шлангових засобів індивідуального захисту (пневмокостюмів, пневмошоломів, шлангових протигазів).

На підприємствах, де здійснюються роботи з радіоактивними речовинами, чинними нормативно-правовими актами передбачені також особливі вимоги до виконання, систем водопостачання та каналізації, а також санітарно-побутових приміщень.

Комплекс санітарно-побутових приміщень повинен включати чоловічий та жіночий санпропускники, санітарні шлюзи, спеціалізовану пральню.

До складу приміщень санпропускника повинні входити гардероб для зберігання верхнього одягу (за відсутності загального гардеробу), окремі приміщення для зберігання домашнього одягу та спецодягу, душові, термокамери, обтиральні, умивальник, санвузли, пункти дозиметричного контролю, комори чистого та брудного спецодягу, приміщення для зберігання та видачі ЗІЗ, кімната гігієни в жіночому санпропускнику, приміщення чергового персоналу. В санпропускнику повинен знаходитись питний фонтанчик з педальним умиканням.

Планування санпропускника повинне забезпечувати роздільне проходження потоків працюючих до виробничих приміщень підприємства і назад з пропусканням брудних і чистих потоків різними ділянками.

#### **4.6. Лікувально-профілактичні заходи**

До лікувально-профілактичних заходів відносять: попередній та періодичний медичні огляди осіб, які працюють з радіоактивними речовинами; встановлення раціональних режимів праці та відпочинку; використання радіопротекторів – хімічних речовин, що підвищують стійкість організму до опромінення. Як радіопротектори використовують різноманітні речовини штучного та природного походження: поліаміди, лимонна та щавельна кислота, сірчаноокислий барій, сорбенти на основі фероціанідів та ін. Суттєве значення відіграють продукти харчування, які містять значну кількість пектинів і мають радіозахисні властивості. До таких продуктів відносяться шипшина, чорна смородина, яблука, агрус, сік журавлини та ін.

Персонал повинен проходити обов'язкові медичні огляди (попередній - під час прийняття на роботу і періодичні - протягом трудової діяльності).

Особи, у яких визначено захворювання, зазначене в переліку медичних протипоказань щодо допуску до роботи з джерелами іонізуючого випромінювання, до роботи на ядерних установках і з джерелами іонізуючого випромінювання не допускаються.

Перелік медичних протипоказань, за наявності яких особу не може бути допущено до робіт на ядерних установках та з джерелами іонізуючого випромінювання, встановлюється центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері охорони здоров'я.

Способи захисту організму від радіації можна розділити на дві групи: специфічні і неспецифічні.

Радіозахисні речовини – це радіоблокатори, радіопротектори, радіокорпоранти.

Радіоблокатори блокують шкідливий вплив радіоактивних речовин (РР). До них належать вітаміни А, С, У, мікроелементи (селен, цинк, мідь). Радіопротектори – речовини, що мають радіозахисні властивості (цистеїн, циста мін, дибунал та ін.). Радіопротектори послаблюють симптоми, які викликають нудоту і блювоту. Радіокорпоранти – зменшують усмоктування радіоактивних речовин у організмі.

Антиоксиданти – антиокислювачі 6 вітаміни та мікроелементи. За допомогою радіопротекторів відбувається штучне виведення із організму резорбованих радіонуклідів, а також тих, що не всмокталися, за допомогою чистих продуктів, а також продуктів, збагачених компонентами радіопротекторної дії.

Радіопротектори приймають за 20-30 хвилин до опромінення. Радіопротектори відносять до засобів масової профілактики променевих уражень. Радіопротектори використовуються для захисту від одноразового зовнішнього опромінення у великих дозах (від 1 Гр і вище) і не застосовуються при хронічному опроміненні малими дозами.

Захисна доза цистаміну складає 1 грам. За необхідності можна вводити цистамін повторно, із шестигодинним інтервалом, до загальної дози 30 грамів

Радіоактивні речовини, що потрапили на шкіру, викликають променеві опіки, а у віддалені строки – злякисні новоутворення шкіри, швидко проникають в організм. При обробці шкіри сухими тампонами або ганчіркою (дезактивація) видалається до 70% РР, снігом – до 90%, а водою з милом або іншими миючими засобами – до 98%. Шкіру, заражену розчинами радіоактивного полонію, ртуті, вісмуту, йоду, обробляють 1-35-ми розчинами соляної, лимонної кислот. Для дезактивації слизових оболонок застосовують 2%-й розчин питної соди.

При хронічному знаходженні в організм невеликої кількості радіонуклідів рекомендується приймати такі препарати:

- адаптогени – лікарські засоби, що підвищують загальну опірність організму до різних несприятливих факторів. До них належать: елеутерокок, женьшень, китайський лимонник, дибазол;

- адсорбенти – речовини, що захоплюють на свою поверхню радіоактивні та інші шкідливі речовини. Як адсорбенти можуть застосовуватися активоване вугілля, адсобар, вакоцит;

- антиоксиданти – такі, як вітаміни А, С, Е та ін. Антиоксиданти є потужними антиокислювачами, забезпечують захист організму від вільних радикалів.

Радіоактивні речовини, потрапляючи в організм людини з їжею, водою, повітрям, включаються в молекули кісткової тканини і м'язів і, залишаючись в них, продовжують опромінювати організм усередині. Тому безпека людини в умовах радіоактивного забруднення (зараження) навколишнього середовища досягається захистом від зовнішнього опромінення, від зараження радіоактивними опадами, а також захистом органів дихання і шлунково-кишкового тракту від потрапляння РР всередину організму із їжею, водою і повітрям.

Персонал ядерних установок, джерел іонізуючого випромінювання, а також державні інспектори з нагляду за ядерною та радіаційною безпекою мають право на соціально-економічну компенсацію негативного впливу іонізуючого випромінювання на їхнє здоров'я відповідно до законодавства України.

#### **4.7. Заходи безпеки при поводженні з радіоактивними відходами**

Вимоги стосовно технології безпечного поводження з радіоактивними відходами включають:

- вимоги до проектної документації щодо РАВ-виробляючих технологій;
- порядок безпечного виконання основних і допоміжних технологічних операцій щодо збору, зберігання, підготовки до захоронення, транспортування, захоронення РАВ;
- вимоги щодо безпеки конструкцій контейнерів для збору РАВ;
- вимоги до документації з обліку РАВ, а також до супроводжувальних документів, необхідних під час транспортування та прийому на захоронення РАВ;
- вимоги до протиаварійних заходів;
- вимоги до радіаційно-дозиметричного контролю виробничого середовища, а також контролю об'єктів навколишнього середовища;
- вимоги до приміщень (місць) тимчасового зберігання (витримки) визначаються окремими санітарними правилами поводження з радіоактивними відходами.

Загальна схема поводження з радіоактивними відходами наведена на рис. 4.6.

Існують два альтернативних шляхи поводження з РАВ:

1) концентрування відходів та їх захоронення у таких ділянках біосфери (чи зовсім поза нею), коли виключається або зводиться до безпечного мінімуму контакт відходів з живими організмами;

2) розсіювання радіонуклідів у навколишньому середовищі (у першу чергу в атмосфері і гідросфері) до такої концентрації, яка вважається безпечною у радіаційно-гігієнічному і радіоекологічному відношеннях.

Перший шлях прийнятий у багатьох країнах світу для високо- і середньо-активних відходів, другий – для відходів низької активності.

Газоподібні РАВ у загальному об'ємі відходів становлять незначну частину. Найбільший об'єм РАВ надходить у рідкому вигляді. Тверді радіоактивні відходи є продуктом діяльності підприємств, а також продуктами спеціальної технології переведення рідких відходів у тверді.

Поводження з газоподібними РАВ, що утворюються, наприклад, на АЕС зводиться фактично до їх розсіювання у навколишньому середовищі (викиди) після процедури очищення. Для очистки газоподібних відходів від радіоактивних газів і аерозолів використовуються апарати мокрої очистки, фільтри, сорбційні й адсорбційні колони.

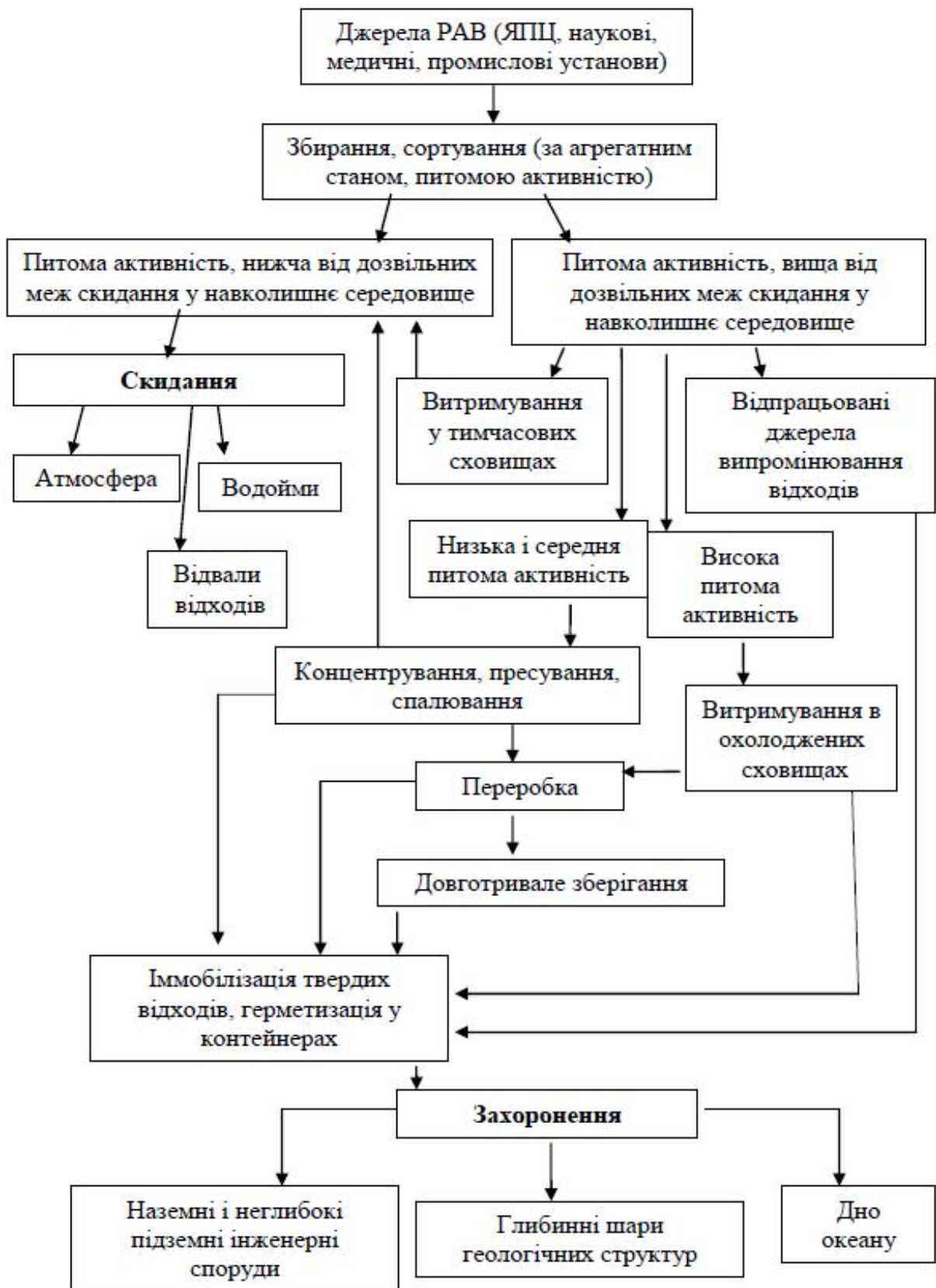


Рис. 4.6. Загальна схема поводження з радіоактивними відходами

Досвід експлуатації АЕС показав, що вжиті під час проектування АЕС заходи щодо обмеження потужності викидів, а також дотримання проектного ре-



жиму експлуатації обладнання для очищення викидів забезпечили виконання нормативних вимог. За весь час роботи АЕС України в нормальному режимі не було випадків перевищення потужності радіоактивних викидів понад обмеження, встановлені чинними нормативними документами. Існуючі на українських АЕС системи очищення в умовах нормальної експлуатації забезпечують рівні викидів, нижчі за міжнародні й національні норми.

Спостереження за рівнями викидів радіоактивних речовин в атмосферне повітря на АЕС проводяться автоматизованими системами радіаційного контролю, встановленими на всіх джерелах викидів, та лабораторними дослідженнями після проведення відбору проб.

Під час порівнювання у радіаційному відношенні визначено, що теплові електростанції (ТЕС), які спалюють вугілля, торф і газ, що містять природні радіонукліди сімейств урану і торію, утворюють більше газоподібних РАВ, ніж АЕС. Так, середні індивідуальні дози опромінення в районі розташування ТЕС потужністю 1 ГВт/рік становлять від 6 до 60 мкЗв/рік, а від викидів АЕС – від 0,004 до 0,13 мкЗв/рік. Таким чином, АЕС при нормальній їх експлуатації є екологічно більш чистими, ніж ТЕС.

Стадії поводження з високо- і середньоактивними відходами включають: збір і сортування, тимчасове зберігання, переробку (кондиціонування), транспортування та захоронення РАВ.

**1. Збір і сортування РАВ** відбувається у місцях їх утворення чи переробки з урахуванням радіаційних, фізичних і хімічних характеристик відповідно до системи класифікації відходів і врахуванням методів подальшого поводження з ними.

Первинне сортування відходів полягає у їх розподілі на радіоактивні і нерадіоактивні складові. Подальше сортування рідких і твердих РАВ спрямоване на розподіл відходів на різні категорії та групи для переробки за прийнятими технологіями, а також для підготовки до подальшого зберігання і захоронення із врахуванням:

- категорії відходів;
- агрегатного стану;
- фізичних і хімічних характеристик;
- періоду напіврозпаду;
- вибухо- і вогнебезпечності;
- прийнятих методів переробки відходів.

Для збору РАВ в організаціях повинні бути спеціальні збірники-контейнери. Для первинного збору твердих РАВ можуть використовуватися пластикові чи паперові мішки, які загружаються у контейнери. Рідкі РАВ збирають у спеціальні ємкості. В установах, де утворюються рідкі РАВ, рекомендується переводити їх у твердий стан. При малих кількостях цих відходів (менше 200 л/добу) вони направляються на зберігання чи переробку у спеціалізовані організації. В установах, де утворюється значна кількість рідких РАВ (більше 200 л/добу), проектом повинна бути передбачена для них система спеціальної каналізації. До цієї каналізації не повинні потрапляти нерадіоактивні стоки.

**2. Тимчасове зберігання РАВ** різних категорій в установах повинне відбуватися у окремих приміщеннях або на спеціально виділених ділянках в контейнерах. Місця розташування збірників РАВ забезпечують захисними пристосуваннями для зниження випромінювання за їх межами до допустимого рівня. Для тимчасового зберігання і витримування збірників з РАВ, на поверхні яких потужність поглиненої дози гамма-випромінювання перебільшує 2 мГр/год, обладнують захисні колодязі або ніші. Потужність дози гамма-випромінювання у повітрі на відстані 1 м від контейнера з РАВ допускається не більше 0,1 мГр/год. Потужність дози гамма-випромінювання за межами або на межі ділянки тимчасового зберігання РАВ не повинна перебільшувати 0,005 мГр/год. Короткоживучі відходи, час розпаду радіонуклідів яких до значень, нижчих від мінімально значимої питомої активності, становить менше одного року, допускається тимчасово зберігати в установі без направлення на захоронення з поведженням із ними як з нерадіоактивними відходами.

**3. Переробка (кондиціонування) РАВ** проводиться для підвищення безпеки поводження з ними за рахунок зменшення їх об'єму та переведення у форму, зручну для транспортування, зберігання і захоронення. Основною метою переробки та підготовки РАВ до захоронення є зниження загального об'єму відходів з одночасним зменшенням можливості розповсюдження радіонуклідів.

РАВ, які підготовлюються до захоронення, повинні мати твердий агрегатний стан, який характеризується оптимальною стійкістю до радіаційного, механічного, хімічного, теплового і біологічного впливів. Залишковий вміст вільної води у затверділих відходах повинен бути мінімальним.

**Методи переробки рідких РАВ** включають такі технологічні операції:

- концентрування радіонуклідів методом упарювання, іонного обміну, сорбції тощо;
- затвердіння концентратів методом упарювання до солей, бітумування, цементування, включення у полімери, скло, кераміку, склометалеві композиції, синтетичні гірничі породи тощо;
- часткове повернення очищених до санітарних норм води, речовин і матеріалів, що утворюються під час переробки рідких РАВ, для повторного використання у виробництві.

Низькоактивні і низькосольові рідкі РАВ перероблюються з використанням комбінації методів співосадження, фільтрації, іонного обміну, сорбції тощо, кінцевою метою яких є отримання води, придатної для повторного використання або скидання у відкриту гідромережу, і концентрату (у вигляді регенератів, шламів, пульпи), що підлягає подальшій переробці.

Середньоактивні і високосольові рідкі РАВ перероблюються упарюванням з отриманням конденсату, який направляється у систему очистки низькоактивних та низькосольових рідких РАВ, і концентрату солей, що направляється на затвердіння.

Для переробки рідких РАВ використовують термічний, сорбційний і мембранні методи.

**Термічний метод** – дистиляція або упарювання – найбільш розповсюджений і зручний спосіб переробки рідких РАВ. Здійснюється цей спосіб у спе-

ціальних випарних апаратах з підведенням тепла від водяної пари. Розчин рідких РАВ з випарного апарата насосами подається у доупарювач, де відбувається його глибоке упарювання. Пара доупарювача конденсується й повертається в резервуар коагульованої води, а кубовий залишок перекачується в баки зберігання відходів. Очищена вода через фільтр-пастку направляється в баки чистого конденсату, з яких після контролю на радіоактивність і солеміст пускається в оборотне водокористування.

**Сорбційний метод** передбачає видалення радіонуклідів з рідких відходів у вигляді твердої фази в результаті адсорбції, іонного обміну, адгезії тощо. Проте через селективність до окремих радіонуклідів метод сорбції не можна розглядати як основний метод очищення від радіонуклідів.

Сорбцію проводять у спеціальних апаратах за динамічних або статичних умов на насипаних або наливних фільтрах зі спеціальними іонообмінними смолами.

**Мембранні методи** – це методи, за допомогою яких видалення радіоактивних речовин з відходів здійснюється на молекулярному рівні. Серед них найбільш ефективними є зворотний осмос, електродіаліз і ультрафільтрація.

На АЕС через різноманітність радіоактивних і нерадіоактивних забруднювачів, у тому числі через присутність аміаку, масел, жоден зі згаданих методів очищення окремо не забезпечує очищення рідких РАВ до необхідного ступеня. Тому система очищення рідких РАВ на АЕС – це складний ланцюг послідовних операцій, виконуваних спеціальними апаратами, що реалізують різні методи очищення. На виході такого ланцюга операцій отримують два продукти:

1) *конденсат*, що відповідає усім вимогам до якості води для повторного використання на АЕС або для скидання у відкриті водоймища;

2) *високоактивний концентрат*, що надходить на ствердіння й захоронення.

Високоактивні концентрати, отримані внаслідок очищення рідких РАВ, являють собою шлами після фільтрації та хімічної обробки, відпрацьовані іонообмінні смоли, кубові залишки після упарювання. Ці концентрати зазвичай піддають *ствердінню* методами бітумування, цементування, полімеризації та ін.

Ствердіння концентратів рідких РАВ відбувається включенням їх у *зв'язувальні матеріали*, які можна поділити на три основні групи: термопластичні (бітум та ін.), термореактивні (смоли поліефірні, карбамідні тощо) і неорганічні (цемент, гіпс, скло тощо).

Зв'язувальні матеріали повинні відповідати таким показникам:

- низьке вимивання, що характеризує високі ізоляційні властивості;
- добру сумісність зі складовими концентрату відходів, що забезпечує мінімальний об'єм кінцевого продукту;
- міцність, що включає руйнування стверділого продукту в аварійних ситуаціях під час транспортування;
- біостійкість, тобто стверділі продукти не повинні пошкоджуватися мікроорганізмами;

– радіаційна стійкість, що визначає, зокрема, газовиділення зі стверділих продуктів.

**Цементування** – один з методів ствердіння як гомогенних (кубові залишки), так і гетерогенних (пульпи) відходів. Процес цементування полягає у включенні радіоактивних речовин у портландцемент марки 500 з подальшим утворенням твердого моноліту і ґрунтується на взаємодії в'язких речовин цементу (оксиди кальцію, силікати, алюмінати тощо) з водою, що міститься у відходах, без підвищення температури.

Для ствердіння рідких РАВ у багатьох країнах найчастіше застосовується спосіб **бітумування**, при якому радіоактивні відходи змішують з бітумом. Бітум – це продукт перегонки нафти або кам'яного вугілля. Гідростійкість бітуму забезпечує досить надійну гідроізоляцію включених компонентів. Бітуми привертають увагу такими корисними якостями, як непроникність, пластичність, достатня хімічна інертність, невисока собівартість, стійкість до впливу мікроорганізмів.

Останнім часом розробляються технології, у яких бітум замінюють штучними полімерами. **Полімеризація** відбувається, як правило, без нагрівання. Метод полімеризації особливо зручний для фіксації відпрацьованих іонообмінників. Апаратура при цьому може бути використана та сама, що й для бітумування. Полімерні продукти мають за деякими параметрами кращі порівняно з бітумом властивості, зокрема добру хімічну стійкість. Термореактивні смоли як зв'язувальні матеріали відрізняються простотою здійснення процесу ствердіння й деякими позитивними властивостями стверділого продукту, зокрема стійкістю до впливу механічних, термічних і радіаційних навантажень.

Тепер одним з найдоцільніших методів ствердіння рідких високоактивних РАВ визнане **оскльовання**. Спосіб оскльовання відходів забезпечує розкладання значної кількості хімічних сполук, що входять до складу відходів, тим самим усувається необхідність враховувати їхній шкідливий вплив під час захоронення та значно скорочується об'єм порівняно з цементуванням (у 10 разів) і бітумуванням (у 2 – 4 рази).

Поряд з оскльованням розробляють й інші методи ствердіння відходів з метою одержання термодинамічно більш стійких, ніж скло, продуктів, здатних зберегти протягом тривалого часу механічну міцність і хімічну стійкість. До таких продуктів належать склокераміка, а також різні види мінералоподібної кераміки.

Під переробкою твердих РАВ розуміють будь-яку операцію, що змінює їхні характеристики. Головною метою переробки твердих РАВ є підвищення безпеки на подальших етапах поводження з ними, зменшення негативного впливу на довкілля, економія коштів на зберігання та захоронення твердих РАВ.

*Методи переробки твердих РАВ* включають такі технологічні операції:

- зменшення об'єму відходів за рахунок фрагментації, спалювання, пресування, переплавки металу тощо;
- пакування фрагментованих і перероблених відходів;
- включення сипучих відходів у матрицю;

– часткове повернення очищених до санітарних норм речовин і матеріалів для повторного використання у промисловості.

Критеріями вибору конкретного методу переробки є відповідність продукту переробки умовам подальших етапів поводження з РАВ, вимоги чинних норм, правил і стандартів у сфері безпечного поводження з РАВ, вимоги до форми, фізико-хімічних і радіаційних характеристик тощо.

**Механічна переробка твердих РАВ.** Мета механічної переробки твердих РАВ – зменшення їх об'єму. Зменшення розмірів твердих РАВ покращує їх пакування для транспортування, зберігання, захоронення або підготовки до подальшої переробки.

Основні методи механічного зменшення розмірів включають демонтаж, розпилювання, розрізування, дроблення і пресування. *Демонтаж* проводять, наприклад, під час зняття ядерних установок з експлуатації відомими в будівництві методами. *Розпилювання і розрізування* зменшують розміри габаритного обладнання. Для цього використовують циркулярні, поперечні, ланцюгові пилки, абразивні круги, плазмове різання, пневматичні й гідравлічні дробильні механізми тощо. *Дробленням* зменшують розміри твердих РАВ або готують більш гомогенні суміші низькоактивних твердих РАВ. Дроблення може використовуватися або разом з пресуванням, або зі спалюванням. *Пресування* РАВ є одним з найпродуктивніших методів зменшення об'єму відходів. Пресуванню підлягають неметали, що не спалюються (теплоізоляційні матеріали, кабелі, неспалювані органічні матеріали (ПХВ, фторопласт), будівельне сміття тощо) і металеві відходи. Спресовані відходи підлягають розміщенню у контейнери із заливкою вільного простору цементованими рідкими РАВ.

**Термічна переробка твердих РАВ.** Процеси термічної обробки включають широкий набір окисних і піролітичних технологій з ефективними методами зменшення об'єму спалюваних РАВ.

*Спалювання* – найбільш відомий процес термообробки. Спалюванню підлягають спецодяг, папір, елементи вентиляційних фільтрів, органічні розчини і біологічні матеріали, а також гумові та поліетиленові матеріали. Питома активність твердих РАВ, що направляються на спалювання, не повинна перебільшувати рівнів, при яких не досягається необхідний ступінь очистки газів, що відходять, і перебільшуються встановлені контрольні рівні опромінення персоналу.

Існує багато типів установок спалювання для переробки різних РАВ – від низькоактивних РАВ АЕС до високоактивних від переробки ядерного палива. Переробка середньоактивних РАВ може бути складнішою, ніж переробка низькоактивних, через необхідність використання захисних екранів і дистанційної техніки.

Досвід спалювання прийнятний для широкого спектра РАВ. Технологія зменшення їх об'ємів спалюванням широко визнана, ефективна і безпечна.

**Хімічна переробка твердих РАВ.** Методи хімічної переробки твердих відходів поділяють на дві категорії: сире окиснення і хімічне окиснення. Сире окиснення здійснюється у вологому середовищі, тому воно не дає великої кількості газів, як у звичайних установках спалювання. Хімічне окиснення може

бути реалізоване використанням сильноокисних реагентів, включаючи перманганати, дихромати, гіпохлориди, персульфати, пероксиди, азотну і сірчану кислоти.

Останньою операцією підготовки до захоронення РАВ є розміщення перероблених відходів у спеціальний контейнер з подальшою його герметизацією (рис. 4.7).

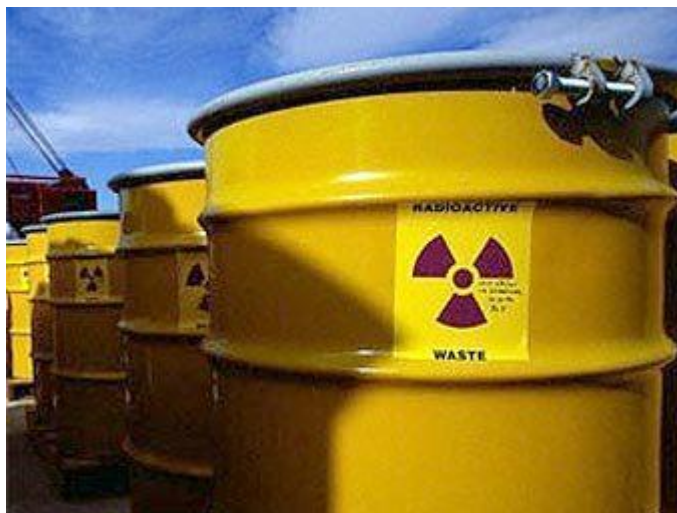


Рис. 4.7. Контейнери з РАВ

Тверді і затверділі РАВ після переробки повинні бути розміщені у сховищах тривалого зберігання або захоронені.

**Зберігання** РАВ характеризується тим, що до тих пір, поки остаточно не з'ясовано, чи можуть ці відходи бути перероблені в рамках сучасних або створених у майбутньому технологічних процесів, передбачається зберігати такі відходи у сховищах протягом визначеного терміну з можливістю подальшого їх вилучення для транспортування, переробки та захоронення.

Сховища твердих РАВ на території АЕС – це заглиблені бетоновані вмістища, гідроізольовані від підземних і атмосферних вод. Вони перебувають під суворим дозиметричним контролем, для чого навкруги сховищ споруджені спостережні свердловини, з яких періодично відбирають проби води для аналізу на вміст радіоактивних речовин.

Таким чином, зберігання, на відміну від захоронення, передбачає можливість вилучення РАВ для їх переробки і транспортування.

Переробку радіоактивних відходів, а також їх захоронення здійснюють спеціалізовані організації з поводження з радіоактивними відходами. Спеціалізовану діяльність по поводженню з РАВ, що утворюються при використанні джерел іонізуючого випромінювання в народному господарстві, виконує УкрДО "Радон", яке підпорядковане Державній службі України з надзвичайних ситуацій та має у своєму складі 6 Державних міжобласних спеціалізованих комбінатів по поводженню з радіоактивними відходами (ДМСК): Дніпропетровський, Донецький, Київський, Львівський, Одеський та Харківський. ДМСК здійснюють діяльність на територіях відповідних зон обслуговування (рис. 4.8).

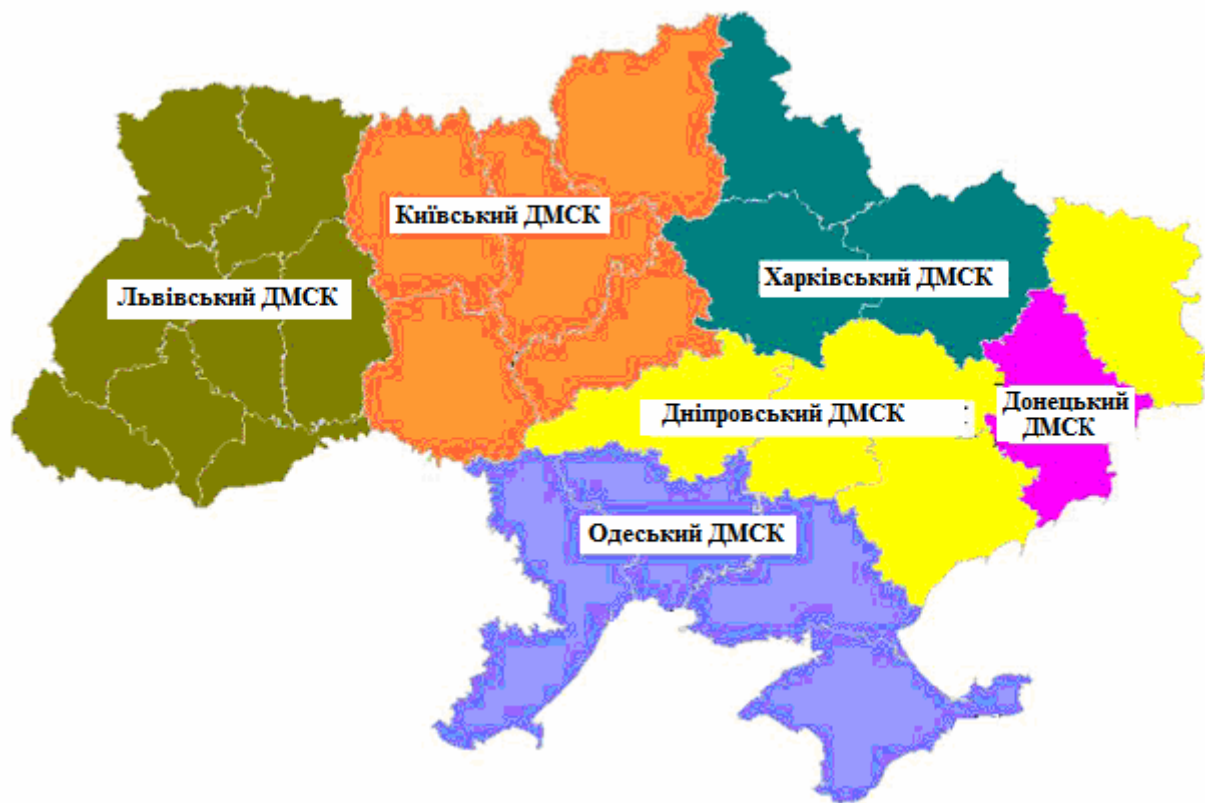


Рис. 4.8. Державні міжобласні спеціалізовані комбінати (ДМСК) Українського державного об'єднання «Радон»

За кожним ДМСК закріплена зона обслуговування із декількох областей України:

- за Київським ДМСК - Київська, Вінницька, Житомирська, Хмельницька, Черкаська, Чернігівська області і м. Київ;
- за Дніпровським ДМСК - Дніпропетровська, Запорізька, Кіровоградська, Луганська області;
- за Львівським ДМСК: - Львівська, Волинська, Закарпатська, Івано-Франківська, Рівненська, Тернопільська, Чернівецька області;
- за Харківським ДМСК - Харківська, Полтавська, Сумська області;
- за Одеським ДМСК - Одеська, Миколаївська, Херсонська області і Автономна республіка Крим;
- за Донецьким ДСК - Донецька область.

Сховища РАВ на промислових майданчиках ДМСК були споруджені у 60–70-х рр. минулого сторіччя за типовими проектами. Вилучення розміщених у сховищах РАВ не передбачалося. У 90-х рр. було прийнято рішення щодо переходу ДМСК на технологію тимчасового контейнерного зберігання РАВ. При контейнерному зберіганні прості технічні рішення дозволяють вилучити РАВ із сховищ та перемістити їх на довгострокове зберігання чи захоронення до сучасних сховищ РАВ. На сьогодні спорудження таких сховищ передбачається на майданчику комплексу «Вектор» на території зони відчуження Чорнобильської АЕС. У жовтні 2011 р. на основі комплексу виробництв «Вектор» розпочалося будівництво Централізованого сховища відпрацьованих джерел іонізуючого

випромінювання. Зазначене сховище дозволить протягом близько 10 – 12 років зібрати всі джерела іонізуючого випромінювання в одному місці.

Під час здійснення діяльності ДМСК відповідно до узгоджених регламентів забезпечується дозиметричний контроль та радіаційний моніторинг навколишнього природного середовища. Радіологічними лабораторіями спецкомбінатів проводиться вимірювання проб підземних і стічних вод, ґрунту, рослинності, атмосферних опадів, відібраних у санітарно-захисних зонах та зонах спостереження пунктів захоронення радіоактивних відходів.

**4. Транспортування РАВ** передбачає їх безпечне переміщення між місцями утворення, переробки, зберігання та захоронення з використанням спеціальних вантажівок і транспортних засобів – повітряним, залізничним, водним або автомобільним транспортом. Для транспортування РАВ із місць їх тимчасового зберігання необхідно використовувати спеціальні транспортні контейнери. Завантаження та розвантаження РАВ середньої і високої активності потрібно механізувати.

**5. Захоронення РАВ** спрямовано на їх безпечну ізоляцію від людини і довкілля. Захоронення – це збереження РАВ у сховищах, що виключає їх використання у будь-яких сучасних чи майбутніх технологічних процесах.

Земельні ділянки, відведені під сховища радіоактивних відходів, виводяться з господарського обороту і відмежовуються від суміжних територій санітарно-захисними зонами.

У межах санітарно-захисних зон забороняється:

- проживання населення;
- здійснення всіх видів водокористування, лісокористування та користування надрами, за винятком затверджених відповідними проектами;
- проведення наукових досліджень без спеціальних дозволів;
- здійснення без спеціального дозволу сільськогосподарської, лісогосподарської та іншої виробничої діяльності, спрямованої на одержання товарної продукції, а також будівництво об'єктів соціального та громадського призначення;

– будь-яка інша діяльність, яка не забезпечує режиму радіаційної безпеки.

Під час проектування сховищ РАВ передбачають:

- технічні рішення й організаційні заходи, що унеможливають несанкціонований доступ до РАВ;
- герметичність конструкції стосовно до атмосферних опадів поверхневих і підземних вод;
- внутрішній дренаж конденсату чи аварійного протікання;
- окреме розташування відходів за категоріями активності та видами (паливні, непаливні); для паливних відходів необхідно виділяти окремі приміщення, підготовлені відповідно до вимог, визначених категорією їх пожежонебезпечності (забезпеченість системою пожежогасіння, окремої вимушеної вентиляції з очисткою вентиляційного повітря тощо);
- підтримання оптимальних умов зберігання, які виключають передчасне руйнування упаковок і погіршення фізичних, хімічних та інших параметрів відходів;



- можливість вилучання відходів і транспортування їх за межі споруди;
- радіаційний контроль об'єкта;
- можливість демонтажу будівельних конструкцій у разі виведення сховищ з експлуатації.

Вибір способу захоронення чи тривалого зберігання, а також конструкцій споруд повинен відбуватися залежно від фізико-хімічних і радіаційних характеристик відходів, що обумовлюють їх радіотоксичність і строк потенційної небезпеки. У табл. 4.4 наведено типи РАВ залежно від допустимості їх захоронень.

Таблиця 4.4

Класифікація РАВ залежно від допустимості їх захоронень

Тип РАВ	Доза потенційного опромінення через 300 років після захоронення	Тип можливого звільнення у період до 300 років після захоронення	Допустимий тип захоронення РАВ
Короткоіснуючі	<1 мЗв/рік	Повне, обмежене	Поверхневий або приповерхневий
Довгоіснуючі	<50 мЗв/рік	Не розглядається	У геологічних формаціях

Довгоіснуючі радіоактивні відходи підлягають захороненню лише в твердому стані, у стабільних геологічних формаціях, з обов'язковим переведенням їх у вибухо-, пожежо-, ядерно безпечну форму, що гарантує локалізацію відходів у межах гірничого відводу надр.

Захоронення короткоіснуючих радіоактивних відходів у твердому стані може здійснюватись у приповерхневих і наземних сховищах радіоактивних відходів.

Протягом усього часу зберігання або захоронення радіоактивних відходів регулярно здійснюється контроль за їх станом, радіаційною обстановкою у сховищах радіоактивних відходів та навколишньому природному середовищі.

Довготривале зберігання і захоронення середньоактивних відходів, що містять радіонукліди з періодом напіврозпаду не більше 30 років (включаючи Cs137), і всіх низькоактивних відходів відбувається у спорудах поверхневого чи приповерхневого типу. **Поверхнєве** (приповерхнєве) захоронення – це вид захоронення РАВ у спорудах, які розташовані на поверхні або у поверхневих шарах землі, коли товща захисного покриття становить декілька метрів, або захоронення у печерах на глибині декількох десятків метрів від поверхні землі.

Довготривале зберігання і захоронення середньо- і високоактивних відходів із переважним вмістом радіонуклідів з періодом напіврозпаду більше 30 років повинно відбуватися у підземних (глибинних) спорудах, глибина яких визначається комплексом природних і економічних умов, що забезпечують необхідний рівень радіаційної безпеки. **Глибинне захоронення** (у геологічних формаціях) – це вид захоронення РАВ, який використовує систему інженерних і природних бар'єрів, що розміщується на глибині сотень метрів (та глибше) від

поверхні землі, з метою тривалої (на період часу, порівнюваний з часом життя сотень майбутніх людських генерацій) ізоляції РАВ від потрапляння їх у біосферу.

Під час зберігання відходів у глибинних геологічних формаціях існують три захисні бар'єри, які перешкоджають переходу радіонуклідів у біосферу:

- 1) матриця (наприклад, скло), у яку інкорпоровані радіонукліди;
- 2) оболонка контейнерів (нержавіюча сталь втрачає герметичність через декілька сотень років);
- 3) власне геологічні породи.

Приповерхневі і підземні сховища після повного заповнення консервуються, а всі інші споруди майданчику захоронення, за винятком системи радіаційного контролю, підлягають виведенню з експлуатації. Територія майданчика захоронення огорожується попереджувальними знаками радіаційної небезпеки, забезпечується охороною та іншими елементами системи фізичного захисту. Знак радіаційної небезпеки є попереджувальним і призначений привернути увагу до об'єктів потенційної та/або дійсної небезпеки шкідливого впливу на людей іонізуючого випромінювання.

Пункти радіаційного контролю у санітарно-захисній зоні і зоні спостереження розташовують відносно промайданчика у таких основних чотирьох напрямках: у напрямку переважаючих вітрів даної місцевості та, відповідно, у протилежному і перпендикулярному напрямках.

Найбільший об'єм РАВ постачають атомні електростанції. Одна з головних проблем ядерної енергетики – це відпрацьоване (опромінене) ядерне паливо (ВЯП). Використовують два способи поводження з ВЯП. Перший розглядає ВЯП як кінцеві відходи і передбачає їх остаточне захоронення в глибоких геологічних формаціях (США, Канада, Фінляндія). Другий вважає ВЯП цінним сировинним ресурсом і передбачає тимчасове зберігання з подальшою його переробкою для вилучення цінних речовин і остаточне поховання високоактивних відходів (Росія, Англія, Японія).

В Україні, відповідно до «Енергетичної стратегії на період до 2030 року», реалізується підхід «Відкладене рішення», що дозволяє зберігати (на період 50 – 100 років) цінні енергетичні ресурси для використання їх у майбутньому, коли регенерація стане економічно вигідною. Найбільш поширеним способом є «сухе» зберігання ВЯП у спеціальних металобетонних контейнерах, заповнених нейтральним газом.

На рис 4.9. наведено розташування основних об'єктів ядерно-паливного циклу України.

Запорізька АЕС є найбільшим постачальником електроенергії на Україні. У 2001 р. на ЗАЕС розпочато дослідно-промислову експлуатацію першого майданчика сухого сховища ВЯП (ССВЯП) і припинено вивезення відпрацьованого ядерного палива ЗАЕС до Росії. Комплекс ССВЯП (рис. 4.10) розрахований на 380 контейнерів, що містять 9000 збірок з опроміненим паливом. Такої кількості контейнерів вистачить, щоб прийняти опромінене паливо за весь період експлуатації Запорізької АЕС. Одинадцятирічний досвід експлуатації сховища по-

казав, що радіаційна обстановка у контейнерах і на майданчику ССВЯП стабільна, істотних відхилень від сформованих значень немає.



Рис. 4.9. Розташування основних об'єктів ядерно-паливного циклу України

В Україні 9 лютого 2012 р. був прийнятий закон, згідно з яким у зоні відчуження Чорнобильської АЕС передбачається розміщення майданчика центрального сховища ВЯП ємністю 16,53 тис. опромінених тепловиділяючих збірок реакторів типів ВВЕР-440 і ВВЕР-1000 інших трьох АЕС України (Південноукраїнської, Рівненської і Хмельницької) з використанням технології сухого зберігання. Екологічну й техногенну безпеку можна забезпечити тільки шляхом застосування новітніх технологій під час спорудження центрального сховища відпрацьованого ядерного палива.

Завершенням ланцюга операцій з РАВ є їх остаточне захоронення, тобто розміщення у спеціальний технічний об'єкт без подальшого їх вилучення. Місця зберігання чи захоронення РАВ називають *могильниками*.

Захоронення можна проводити тільки в разі впевненості в тому, що без постійного контролю з боку людини радіонукліди, які є у відходах, будуть надійно ізольовані від людини та інших живих організмів, а у випадку контакту з ними матимуть концентрацію, що не перевищує безпечних норм опромінення як для самої людини, так і для об'єктів природного середовища.



Рис. 4.10. Комплекс сухого сховища відпрацьованого ядерного палива на Запорізькій АЕС

Велике значення під час вибору технології поводження з РАВ відіграє їх тип. Зокрема, більшість продуктів поділу, які є *бета-випромінювачами*, мають відносно невеликі періоди напіврозпаду – десятки років, тоді як трансуранові елементи (розміщені в таблиці Менделєєва після урану), які утворюються в результаті захоплення нейтронів ядрами урану, мають *альфа-активні* ізотопи з періодами напіврозпаду, що становлять у сотні тисяч і мільйони років. Підходи до технологій переробки і захоронення таких радіонуклідів повинні відрізнятися, оскільки належна ізоляція на сотні років сьогодні не є технічною проблемою, але інша справа, коли йдеться про мільйони років. Тому питання про поводження з трансурановими елементами і довгоживучими продуктами поділу залишається актуальним. Для його вирішення багато країн проводили дослідження *трансмутації* – процесу перетворення довгоживучих радіонуклідів у відносно короткоживучі шляхом їх опромінення (тобто внаслідок ядерних реакцій). Для цього можуть використовуватися прискорювачі або *швидкі реактори*. При існуючих сьогодні труднощах промислової реалізації такого підходу з науково-технічного боку ця проблема вирішена і багато фахівців пов'язують перспективи поводження з трансурановими елементами з трансмутацією.

Інший підхід, який може бути практично реалізований уже зараз, – це використання *мінеральних матриць*, здатних утримувати радіонукліди протягом геологічних періодів часу. У природі існують мінерали, які не змінюються десятки мільйонів років. Синтетичні аналоги цих мінералів (так звані синроки – синтетичні каміння) достатньо добре вивчені і мають реальні перспективи ви-

користання в ролі ізолюючого середовища для радіонуклідів з дуже тривалими періодами напіврозпаду.

#### **4.8. Заходи безпеки при аваріях на радіаційно-небезпечних об'єктах**

Питанням протиаварійного захисту на радіаційно-небезпечних об'єктах приділяється увага уже на стадії проектування об'єкту. В проектах за узгодженням із органами державного регулювання ядерної та радіаційної безпеки визначаються:

- перелік і сценарії можливих аварій, що виникають унаслідок несправностей обладнання, неправильних дій персоналу, стихійних лих або інших причин;
- система технічних і організаційних протиаварійних заходів;
- засоби і методи дезактивації обладнання і приміщень, які зазнали радіаційного забруднення внаслідок аварії;
- рішення стосовно поводження з радіоактивними відходами, що утворилися в результаті аварії;
- номенклатура, кількість і місця зберігання засобів індивідуального захисту, медикаментів, аварійного запасу дозиметричних приладів, засобів дезактивації та санітарної обробки аварійного персоналу, інструментів та інвентарю, необхідних для проведення невідкладних робіт з ліквідації наслідків радіаційної аварії;
- параметри та обсяги радіаційного контролю в умовах радіаційної аварії;
- апаратурне та методичне забезпечення радіаційного контролю в умовах радіаційних аварій;
- вихідні дані для розробки планів заходів із захисту персоналу, населення та навколишнього середовища у випадку радіаційної аварії, включаючи за-проектні аварії.

Адміністрація підприємств I і II категорії розробляє, затверджує Аварійні плани, які узгоджуються з органами державного регулювання ядерної та радіаційної безпеки. План повинен періодично (не рідше 1 разу на 3 роки) коригуватися та узгоджуватися в установленому порядку.

##### **Дії персоналу у випадку радіаційної аварії.**

В установах усіх категорій повинна бути розроблена інструкція щодо дій персоналу у випадку радіаційної аварії. У разі встановлення факту аварії за сигналом, що сповіщає про її виникнення, в максимально короткі строки адміністрація установи і персонал вживають негайних заходів, передбачених цим документом.

В установах I і II категорій, де радіаційні аварії можуть мати масштаби комунальних, додатково до Аварійних планів готуються плани з реалізації захисних заходів за межами установи.

На аварійнонебезпечних виробничих ділянках, у санітарному пропускнику та медпункті повинні постійно знаходитись аптечки з набором засобів першої допомоги постраждалим під час аварії, поповнюваний запас засобів для дезактивації та санітарної обробки постраждалих.

При встановленні факту аварії адміністрація установи зобов'язана негайно поставити до відома органи державного регулювання ядерної та радіаційної безпеки.

Адміністрацією установи повинні бути вжиті термінові заходи з відновлення контролю над джерелами іонізуючих випромінювань, припинення розвитку аварії, виявлення постраждалих осіб, з ліквідації наслідків аварії та зведення до мінімуму доз опромінення персоналу, кількості опромінених осіб з населення, радіоактивного забруднення навколишнього середовища, економічних і соціальних утрат, викликаних даною аварією. Рішення про проведення термінових захисних дій приймається у відповідності до характеру аварії та базується на результатах оцінки очікуваного викиду (скиду) радіоактивних речовин у навколишнє середовище, а не відкладається до отримання результатів вимірювань з метою підтвердження величини цього викиду (скиду).

Людей з травматичними ушкодженнями, хімічними отруєннями і осіб, одноразова доза сумарного опромінення яких є вищою за 100 мЗв, необхідно виводити із зони опромінення і направляти на медичне обстеження. За необхідності здійснюється санітарна обробка людей, а забруднений одяг у встановленому порядку вилучається.

Під час радіаційної аварії з викидом (скидом) радіонуклідів у навколишнє середовище протирадіаційний захист населення здійснюється у відповідності до критеріїв втручання, а також правил і принципів виправданості та оптимізації контрзаходів.

В умовах радіаційної аварії всі роботи виконуються аварійним персоналом, до складу якого входять:

- основний персонал;
- персонал аварійного об'єкта;
- члени спеціальних, заздалегідь підготовлених аварійних бригад (медичні бригади швидкого реагування, дозиметричні аварійні групи, спеціально підготовлені для робіт в умовах радіаційних аварій пожежні команди, бригади для ремонтно-відновлюваних та будівельних робіт, водії та екіпажі евакуаційних транспортних засобів та інші подібні формування);
- залучений персонал - особи, яких залучають до аварійних робіт, заздалегідь навчені та поінформовані про радіаційну обстановку в місці виконання робіт, у тому числі представники регіональних підрозділів для проведення робіт з дезактивації та захоронення радіоактивних відходів, які утворились у результаті аварії.

Роботи з ліквідації наслідків промислових аварій виконує тільки основний персонал, а в умовах комунальних аварій - також і залучений персонал, який у цьому разі прирівнюється до категорії А і забезпечується такими ж засобами захисту і дозиметричним контролем, як і основний.

Особи із складу аварійного персоналу повинні постійно інформуватися про отримані дози опромінення і про можливий ризик для здоров'я, пов'язаний з цими дозами.

Під час виконання аварійних робіт, допускається заплановане підвищене опромінення осіб з аварійного персоналу (за винятком жінок і чоловіків у віці

до 30 років). При цьому повинні бути вжиті всі заходи, щоб величина сумарного опромінення не перевищувала 100 мЗв.

Ліквідація аварії та виконання інших заходів, пов'язаних з можливим переопроміненням персоналу, повинні здійснюватись при дозиметричному контролі за спеціальним дозволом (нарядом-допуском), в якому визначаються гранична тривалість роботи, перелік обов'язкових засобів захисту, зазначаються прізвища осіб, що приймали участь у ліквідації аварії, та осіб, відповідальних за надання дозволу та за виконання робіт.

Аварійний персонал забезпечується профілактичними протипроменевими засобами (радіопротекторами і стимуляторами радіорезистентності), які дозволені до застосування МОЗ України. Доцільність застосування тих чи інших протипроменевих засобів визначається в залежності від величини доз опромінення, тривалості та характеру опромінення.

Під час здійснення заходів, виконання яких може призвести до опромінення в дозах вище 50 мЗв, особи з числа аварійного персоналу повинні:

- бути добровольцями, тобто дати письмову згоду на участь у подібній діяльності;
- пройти медичне обстеження і отримати допуск до робіт з урахуванням медичних показань (протипоказань);
- бути повністю поінформованими про ризик для здоров'я від подібного опромінення;
- пройти підготовку та навчання тим діям, які від них будуть потрібні в умовах аварійної ситуації.

У надзвичайних випадках, коли аварійні роботи виконуються для врятування життя людей, дози опромінення осіб з аварійного персоналу, що виконує ці роботи, не повинні перевищувати еквівалентної дози в будь-якому органі (включаючи рівномірне опромінення всього організму) 500 мЗв.

### **Дії населення у випадку радіаційної аварії.**

Дії населення в районі зараження в основному зводяться до дотримання відповідних правил поведінки і здійснення загальних санітарно-гігієнічних заходів, основних правил радіаційної безпеки (захисту). При виникненні загрози радіоактивного забруднення або його виявленні повідомляють населення, для того щоб можна було негайно вжити передбачених заходів захисту.

Перед передачею повідомлення сирени, переривчасті гудки підприємства і транспортних засобів дають попереджувальний сигнал «Увага всім». Потім передається інформація про небезпеку, що виникла, і рекомендації штабу з НС про дії населення.

При повідомленні про радіаційну небезпеку рекомендується негайно виконувати такі дії:

- 1) Заховатися у житлових будинках або службових приміщеннях. Важливо знати, що стіни дерев'яного будинку послаблюють іонізуюче випромінювання у 2 рази, а цегляного – у 10 разів. Заглиблені укриття (підвали) ще більше послаблюють дозу випромінювання: із дерев'яним покриттям – у 7 разів, із цегляним або бетонним – у 40-100 разів.

2) Вжити заходів захисту від проникнення у квартиру (будинок) радіоактивних речовин із повітрям: зачинити кватирки, вентиляційні люки, віддушини, ущільнити рами та прорізи для дверей.

3) Зробити запас питної води: набрати воду у закриті ємності, перекрити крани, підготувати найпростіші засоби санітарного призначення – мильні розчини для обробки рук. Мильно-олійну емульсію готують так. Беруть господарське мило (250-300 г), подрібнюють його і розчиняють у двох літрах води, яку підігрівають до температури 60-70°C. Після розчинення мила у гарячий розчин наливають півлітра мінеральної або рослинної олії. Суміш перемішують протягом п'яти хвилин і знову підігрівають, мішаючи до одержання однорідної емульсії.

4) Провести екстрену йодну профілактику (якомога раніше, але після спеціалізованого оповіщення): прийняти препарати стабільного йоду – таблетки йодистого калію або водно-спиртового розчину йоду. Йодистий калій слід прийняти після їжі разом із чаєм або водою 1 раз на день протягом 7 діб по одній таблетці (0,125 г) на один прийом. Водно-спиртовий розчин йоду приймають після їжі тричі на день протягом 7 діб по 3-5 крапель на склянку води. Дітям віком 2-5 років кількість препаратів зменшують у два рази, а дітям віком до 2 років – в чотири рази. Передозування йоду може викликати побічні явища: алергічний стан і запалювальні зміни у носоглотці.

5) Почати готуватися до можливої евакуації. Підготувати документи і гроші, предмети першої необхідності, упакувати ліки, які ви часто приймаєте, взяти мінімум білизни й одягу (одну-дві зміни), запас консервованих продуктів на 2-3 доби. Зібрані речі спакувати у поліетиленові мішки і пакети. Увімкнути радіо для прослуховування інформаційних повідомлень Комісії із НС.

б) Виконувати правила радіаційної безпеки та особистої гігієни:

Використовувати і їжу лише консервоване молоко і харчові продукти, що зберігалися у закритих приміщеннях і не підпадали під радіоактивне забруднення.

Не пити молоко від корів, які продовжують пастися на забруднених полях (радіоактивні речовини вже почали циркулювати так званим біологічними ланцюгами);?

Не вживати овочі, які росли у відкритому ґрунті і зірвані після початку потрапляння радіоактивних речовин у навколишнє середовище;?

Вживати їжу тільки в закритих приміщеннях, ретельно мити руки з милом перед вживанням їжі і полоскати рот 0,5% -м розчином питної соди;?

Не пити воду із відкритих джерел та із водопроводу після офіційного оголошення радіаційної небезпеки; накрити колодязі плівками або кришками;

Уникати тривалого пересування по забрудненій території, особливо по шляху, де багато пилу, або траві, не ходити в ліс, утримуватися від купання у найближчій водоймі;

Перевзуватися, заходячи у приміщення з вулиці, залишаючи «брудне» поза приміщенням.

7) Під час пересування по відкритій місцевості необхідно використовувати підручні засоби захисту:



- органів дихання – прикривати рот і ніс змоченою у воді марлевою пов'язкою, носовою хусточкою, рушником або частиною одягу;

- шкіри та волоссяного покриву – прикрити будь-якими предметами одягу, головними уборами, хустками, накидками, рукавичками.

При прийнятті рішення штабом з НС про евакуацію, необхідно підготуватися до неї: Приготувати засоби індивідуального захисту, у тому числі і підручні (накидки, плащі із синтетичних плівок, гумові чоботи, рукавички), одяг і взуття по сезону; взяти підготовлений запас продуктів, води і ліки для хворих (на один, два або три дні – оголошує штаб НС); одяг, взуття, предмети туалету, документи і гроші.

Зайвих речей в евакуацію не брати. Валізи і рюкзаки повинні бути обгорнені синтетичною плівкою. Питна вода повинна бути у флягах, термосах, пляшках із корком. Доцільно мати кружку, чашку, ложку, ніж, сірники, кишеньковий ліхтарик. Дітям дошкільного віку необхідно пришити до одягу і білизни бірки із зазначенням прізвища, імені, імені по батькові дитини, року народження, постійного місця проживання і кінцевого пункту евакуації.

Перед виходом із приміщень для евакуації звільнити холодильники, вимкнути усі електроприлади і газові пальники, винести на смітник продукти, що швидко псуються, рідини, інше сміття. Прийти на збірно-евакуаційний пункт і зареєструватися.

Під час перебування у забрудненій зоні та пересуванні по ній забороняється:

- знімати на відкритій місцевості засоби індивідуального захисту;
- підіймати пил і рухатися по високій траві або кущах;
- сидати без потреби і доторкатися до сторонніх предметів;
- пити, вживати їжу, палити.

Слід періодично проводити часткову дезактивацію засобів захисту шкірного покриву, одягу і речей (обережно обтирати або обмітати їх), а також часткову санітарну обробку (змивати або обтирати відкриті ділянки тіла). Для евакуації використовують критий транспорт. Вибирають найкоротші маршрути руху місцями з найменшими рівнями радіації. Виходити на вулицю до прибуття транспорту не рекомендується, щоб не одержувати зайвого опромінення. Після прибуття в район розміщення евакуйованих слід пройти повну санітарну обробку, здати засоби індивідуального захисту й одяг на дезактивацію або утилізацію. Промити очі 25-м розчином питної соди або чистою водою, прополоскати рот і горло, двічі вимити тіло з милом. Після проходження дозиметричного контролю одягти чисту білизну, одяг, взуття.

Території, які внаслідок аварії зазнали забруднення радіоактивними речовинами, в залежності від рівня забруднення поділяють на наступні зони:

**Зона періодичного радіоактивного контролю**, або низького забруднення. Тут дозволяється збирання грибів, лікарських рослин, заготівля деревини, сільськогосподарська та інші види діяльності здійснюються без обмежень. полювання і рибальство дозволяється відповідно до правил, що діють на території України. У підсобних і приватних господарствах ніяких обмежень щодо використання тварин і птахів не запроваджується.

**Зона посиленого радіоактивного контролю** або середнього забруднення. Тут дозволено збирання грибів, ягід, лікарських рослин, заготівля сіна, але з обов'язковим попереднім дозиметричним контролем. Заготівля деревини і використання продуктів її переробки здійснюється без обмежень. У підсобних та сільських господарствах різної форми і власності рекомендується періодичний вибірковий радіометричний контроль молока, м'яса, кормів, плодів, ягід, збіжжя та іншої продукції.

**Зона гарантованого добровільного відселення.** Це зона високого радіаційного забруднення. У цій зоні заготівля грибів, ягід, лікарських рослин, кормів заборонені. Впроваджується особливий режим сільськогосподарської діяльності і обмежене землекористування (скорочення рільництва, зменшення робіт по обробітку земель), зміна спеціалізації товарного сільського господарства та насінництва на вирощування технічних культур, наприклад, таких як льон, конопля та інші; зміна спеціалізації тваринництва на інтенсивне вирощування хутрових звірів, конярство. Випасання худоби на пасовищах цієї зони здійснюється при досягненні висоти трави не менше 10 см. При питомій активності земної поверхні понад  $550 \text{ кБк/м}^2$  заготівля деревини допускається тільки у зимову пору і при наявності снігового покриву. Використання деревини як палива та виробництва дьогтю забороняється. Заборонено випасати тут молочну та м'ясну худобу. Заготовляти сіно можна тільки для робочих коней. Використання гною як органічного добрива заборонено.

**Зона відчуження.** Це зона надзвичайно високого радіаційного забруднення. Певною мірою цю зону можна використовувати тільки як дослідницький полігон для вивчення та розробки заходів захисту від ядерних катастроф. Всяка нормальна виробнича і соціальна діяльність людини тут заборонені.

З метою фіксації досягнутого рівня радіаційної безпеки на даному радіаційно-ядерному об'єкті, населеному пункті і навколишньому середовищі встановлюються **контрольні рівні**.

Значення останніх визначається адміністрацією об'єкта на рівні, нижчому за відповідні ліміти доз та допустимі рівні. Допускається встановлювати контрольні рівні для окремого радіонукліда та шляху його надходження, включаючи введення контрольних рівнів на вміст радіонукліда в окремому продукті харчування або на окремій території.

При перевищенні контрольних рівнів адміністрацією об'єкта проводиться розслідування з метою виявлення та усунення причин, що призвели до перевищення. Контрольні рівні регулярно переглядаються, враховуючи поточний радіаційний стан на об'єкті.

## **Запитання для самоконтролю**

1. В чому полягають основні засади державної політики у сфері захисту від іонізуючих випромінювань?
2. Наведіть основні принципи протирадіаційний захисту?

3. За рахунок чого забезпечується необхідний рівень протирадіаційного захисту персоналу підприємств?

4. Що відноситься до колективних технічних засобів захисту від іонізуючих випромінювань?

5. Яке призначення стаціонарних і пересувних захисних екранів?

6. З чого виготовляють захисні екрани?

7. Які інженерні споруди або об'єкти використовують для захисту населення?

8. Які засоби індивідуального захисту використовують при роботі з джерелами іонізуючого випромінювання?

9. З врахуванням яких факторів вибирають засоби індивідуального захисту?

10. Які вимоги ставляться до захисного одягу?

11. Які засоби індивідуального захисту органів дихання використовуються для захисту від іонізуючих випромінювань?

12. Яке призначення засобів захисту рук?

13. Які Закони України та нормативно-правові акти регулюють питання захисту від іонізуючих випромінювань?

14. Які види діяльності в сфері використання ядерної енергії підлягають обов'язковому ліцензуванню?

15. Які органи видають ліцензії та дозволи підприємствам на проведення робіт з джерелами іонізуючих випромінювань?

16. Що необхідно для отримання ліцензії та дозволу?

17. Хто здійснює та в чому полягає державний нагляд в сфері використання ядерної енергії?

18. В чому полягає особливий режим території?

19. Що забороняється в санітарно-захисній зоні?

20. Як підрозділяють роботи з використанням відкритих джерел підрозділяють на класи?

21. Яке призначення санітарного шлюзу?

22. Які вимоги ставляться до осіб з персоналу, віднесених до категорії А?

23. Як здійснюється допуск до роботи з джерелами іонізуючих випромінювань?

24. Як здійснюється прибирання в приміщеннях з постійним перебуванням персоналу, призначених для робіт із джерелами іонізуючих випромінювань у відкритому вигляді?

25. Як здійснюють дезактивацію забруднених поверхонь?

26. Які вимоги ставляться до вентиляції приміщень, призначених для робіт із джерелами іонізуючих випромінювань у відкритому вигляді?

27. Що повинен включати Комплекс санітарно-побутових приміщень?

28. Що відноситься до лікувально-профілактичних заходів?

29. Хто, коли і для чого проходить медичні огляди?

30. Які радіозахисні речовини Ви знаєте?

31. Що включають вимоги стосовно технології безпечного поводження з радіоактивними відходами?

32. Які шляхи поводження з радіоактивними відходами Ви знаєте?
33. Як здійснюється збір і сортування радіоактивних відходів?
34. Як здійснюється тимчасове зберігання радіоактивних відходів?
35. Які методи переробки рідких радіоактивних відходів Ви знаєте?
36. Які методи переробки твердих радіоактивних відходів Ви знаєте?
37. Яка відмінність між зберіганням і захороненням радіоактивних відходів?
38. Що забороняється у межах санітарно-захисних зон сховища радіоактивних відходів?
39. Які питання протиаварійного захисту відображаються в проектах радіаційно-небезпечних об'єктів?
40. Дії персоналу у випадку радіаційної аварії.
41. Хто виконує роботи в умовах радіаційної аварії?
42. Дії населення у випадку радіаційної аварії.
43. Для чого здійснюється йодна профілактика?
44. Як здійснюється підготовка до евакуації?
45. Назвіть правила особистої гігієни при перебуванні в зоні радіаційного забруднення.
46. Як поділяються території, які внаслідок аварії зазнали забруднення радіоактивними речовинами?

## РОЗДІЛ 5. ВИПРОМІНЮВАННЯ ОПТИЧНОГО ДІАПАЗОНУ

**Перелік умінь**, які фахівець з вищою освітою повинен набути в результаті засвоєння інформації, викладеної в п'ятому розділі підручника.

Фахівець повинен уміти ідентифікувати основні шкідливі та небезпечні чинники при використанні обладнання з джерелами випромінювань оптичного діапазону, вибирати засоби колективного та індивідуального захисту від випромінювань та визначати необхідні заходи безпеки, у тому числі:

- виявляти небезпечні об'єкти;
- виявляти шкідливі та небезпечні чинники пов'язані з використанням джерел випромінювань оптичного діапазону;
- вибирати засоби колективного захисту від випромінювань;
- здійснювати вибір та користуватися засобами індивідуального захисту від випромінювань;
- визначати необхідні організаційні та медико-профілактичні заходи спрямовані на зменшення негативного впливу випромінювань на людей та довкілля.

### 5.1. Загальні відомості про випромінювання оптичного діапазону

Довжина хвиль оптичних випромінювань знаходиться в діапазоні від 10 до 340000 нм. Оптичні випромінювання з довжиною хвилі від 770 до 340000 нм називають інфрачервоними (ІЧ) випромінюваннями, 380–770 нм – видимими випромінюваннями, а в діапазоні від 6 до 380 нм – ультрафіолетовим (УФ) випромінюваннями.

Джерелами інфрачервоного (теплого) випромінювання є всі тіла, температура яких вище абсолютного нуля. Багато виробничих процесів супроводжується виділенням тепла. Частина цього тепла передається від більш нагрітих тіл менш нагрітим за рахунок тепловипромінювання.

Потужність, яка відводиться від тіла за рахунок випромінювання, визначається рівнянням Стефана – Больцмана і є пропорційною четвертому степеню його абсолютної температури:

$$P_e = \epsilon_m C_0 F_m (T_m^4 - T_2^4),$$

де  $\epsilon_m$  – коефіцієнт чорноти тіла;  $C_0 = 5,67 \cdot 10^{-8}$  – постійна Стефана – Больцмана, Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>);  $F_m$  – площа поверхні тіла, м<sup>2</sup>;  $T_m$  і  $T_2$  – відповідно температури тіла і оточуючого тіла газу, К.

Нагріті тіла випромінюють одночасно різні довжини хвиль. Однак максимум випромінювання завжди відповідає хвилям визначеної довжини, яка в міру збільшення температури тіла зменшується. Спектр теплового випромінювання твердих і рідких тіл суцільний. ІЧ випромінюванням притаманні хвильові і квантові властивості. Енергія кванта цього випромінювання знаходиться в межах від 0,0125 до 1,25 еВ.

Джерела ІЧ-випромінювання бувають природні (природна радіація сонця, неба) і штучні (нагрівальні печі, злитки металу, двигуни, машини тощо). У результаті поглинання енергії випромінювання підвищується температура тіла людини, конструкцій приміщень, устаткування, що значною мірою впливає на умови праці.

З підвищенням температури тіл у спектрі їх випромінювання збільшується частка видимого випромінювання, а при температурі вище 1900°C нагріті тіла починають випромінювати і ультрафіолетові промені. За довжиною хвилі УФ-випромінювання розміщуються між видимими і іонізуючими. Енергія квантів цього випромінювання становить 3,56 – 123 еВ. За способом генерації вони відносяться до теплових випромінювань, а за дією на поглинаючі тіла проявляють як тепловий ефект, так іонізуючу здатність. УФ-випромінювання з енергією квантів більше 12 еВ здатні порушувати хімічні зв'язки в молекулах сполук, що входять до складу організму людини, та іонізувати атоми. Особливістю УФ-випромінювань, що відрізняє їх від гама- та рентгенівського випромінювання, є те що, їх добре поглинають тверді тіла, рідини і ряд газів.

УФ-випромінювання виникає при зварювальних роботах, експлуатації оптичних квантових генераторів, роботі ртутно-кварцових ламп, радіоламп тощо. Пил, газ, дим поглинають УФ випромінювання і змінюють його спектральну характеристику. Повітря практично є непрозоре для короткохвильового УФ-випромінювання через його поглинання озоном. УФ-випромінювання викликає зміну складу повітря робочої зони. Внаслідок його дії відбувається іонізація повітря, утворюються озон, оксиди азоту, перекис водню. Іонізуюча та хімічна дія УФ-випромінювання обумовлює утворення в атмосфері ядер конденсації, туману та смогу.

## **5.2. Вплив ІЧ- та УФ-випромінювань на людину**

Дія ІЧ-випромінювання на організм людини в основному зводиться до нагрівання біологічних тканин. Глибина проникнення ІЧ-випромінювання в біологічні тканини залежить від довжини хвилі. Тому при оцінці впливу ІЧ-випромінювання весь його діапазон прийнято поділяти на три області: А ( $l = 0,76-1,4$  мкм), В ( $l = 1,4-3,0$  мкм) і С ( $l > 3$  мкм). Перша область (А) позначається як короткохвильова. Це випромінювання здатне проникати через шкіру і в основному поглинається в шарах дерми і підшкірній жировій клітковині. Другу і третю області (В і С) відносять до довгохвильових. Такі ІЧ випромінювання мають малу проникаючу здатність і поглинаються в основному у верхньому шарі шкіри – епідермісі (рис. 2.42).

При поглинанні шкірою ІЧ-випромінювань прискорюється обмін речовин, збільшується вміст натрію і фосфору в крові, зменшується число лейкоцитів, відбувається поляризація шкіри людини. ІЧ-випромінювання приводить до змін у серцево-судинній системі, збільшується частота пульсу і дихання, підвищується температура тіла, підсилюється потовиділення. При тривалій дії і значній густині променистого потоку ІЧ-випромінювання

можуть призвести до патологічних змін в очах: помутніння рогівки і кришталіка, кон'юнктивіту, опіку сітківки. При дії короткохвильового ІЧ-випромінювання на непокриту голову може статися, так званий, сонячний удар – головний біль, запаморочення, частішання пульсу і дихання, неприємність, порушення координації рухів, ураження мозкових тканин.

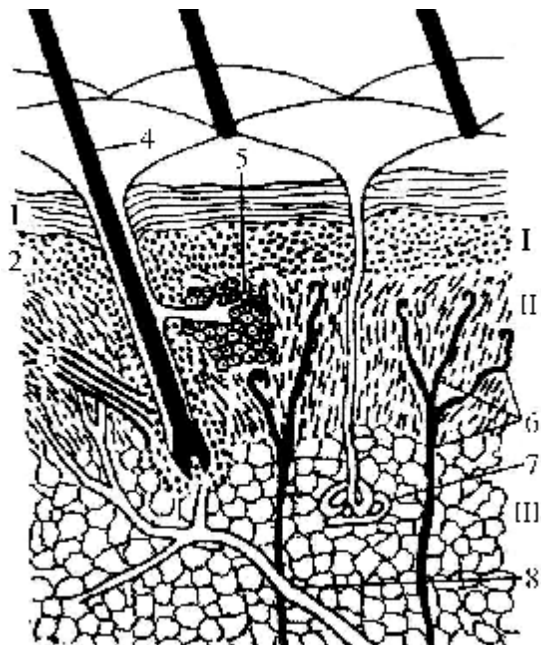


Рис. 5.1. Схематичне зображення мікроскопічної будови шкіри людини (в розрізі): I – епідерміс; II – дерма; III – підшкірна жирова клітковина; 1 – роговий шар епідермісу; 2 – базальний, шипуватий, зернистий та блискучий шар епідермісу; 3 – м'язи, що піднімають волосся; 4 – стержень волосся; 5 – сальна залоза; 6 – нервові закінчення; 7 – потові залози з вивідним протоком; 8 – кровоносні судини

Тривала дія ІЧ-випромінювань може призвести до порушення роботи терморегулюючого апарату людини, що може викликати гіпотермією. Людина втрачає свідомість, температура тіла може досягати  $40^{\circ}$ , збільшується частота пульсу і дихання, змінюються зорові відчуття. При систематичних перегріваннях підвищується сприйнятливність до застуд. Спостерігається зниження уваги, підвищується стомлюваність, знижується продуктивність праці.

Дія УФ-випромінювання на біологічні тканини пов'язана з поглинанням випромінювання нуклеїнової кислотою та зведеними білками клітин і протіканням у цих сполуках світлохімічних реакцій. Залежно від довжини хвилі випромінювання, щільності потоку енергії та часу опромінення ця дія може бути як негативною, так і добродійною.

Шкідливий вплив УФ-випромінювання на біологічні тканини пов'язаний з тривалою дією на них значних потоків енергії. Вплив випромінювань на клітини шкіри проявляється в частковій загибелі цих клітин, зміні їх форми та розміру. УФ-випромінювання подразнює нервові закінчення шкіри і викликає зміни в організмі, дерматити, екземи, набряклість. Під впливом випромінювання можуть виникати ракові пухлини. Крім того, УФ-випромінювання впливають на центральну нервову систему, викликають головний біль, підвищення температури, стомленість, нервові порушення.

Для характеристики біологічної дії УФ-випромінювання використовують поняття мінімальної еритемної дози, Це найменша доза УФ-випромінювання, яка призводить через 8 годин до почервоніння шкіряного покриву

(еритеми), що зникає на наступну добу. Помітне почервоніння шкіри виникає вже при потоці енергії  $30 \text{ Дж/см}^2$ .

При значних потоках енергії УФ-випромінювання небезпечно також для органів зору. Воно поглинається, в основному, рогівкою та кон'юктивою і може призвести до опіків рогової оболонки та помутніння кришталика.

При помірних потоках енергії УФ-випромінювання проявляє на людину добродійну дію, яка полягає в протіканні фотохімічних реакцій, та має бактерицидну дію. Зважаючи на те, що УФ-випромінювання має терапевтичну і тонізуючу дію, разом із загальним освітленням використовують і ультрафіолетове освітлення спеціальними еритемними лампами. Для лікувального опромінення УФ-випромінюванням обладнують також спеціальні світлолікувальні кабінети – фотарії.

### 5.3. Нормування та контроль ІЧ- та УФ-випромінювань

Нормування ІЧ-випромінювань здійснюється згідно із санітарними нормами ДСН 3.3.6.042-99.

Інтенсивність теплового опромінення працюючих від нагрітих поверхонь не повинна перевищувати  $35 \text{ Вт/м}^2$  – при опроміненні 50% та більше поверхні тіла,  $70 \text{ Вт/м}^2$  – при опроміненні від 25 до 50% поверхні тіла та  $100 \text{ Вт/м}^2$  – при опроміненні не більше 25% поверхні тіла працюючого.

За наявності відкритих джерел випромінювання (нагрітий метал, відкрите полум'я) допускається інтенсивність опромінення до  $140 \text{ Вт/м}^2$ . При цьому площа опромінення не повинна перевищувати 25% поверхні тіла працюючого при обов'язковому використанні індивідуальних засобів захисту (спецодяг, окуляри, щитки).

При тепловому випромінюванні від  $140$  до  $350 \text{ Вт/м}^2$  для попередження перегріву організму працюючих необхідно збільшувати на постійних робочих місцях швидкість руху повітря відносно нормованих величин на  $0,2 \text{ м/с}$ . При інтенсивності понад  $350 \text{ Вт/м}^2$  нормами обмежується тривалість безперервної роботи і регламентованих перерв (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

Допустима тривалість безперервного ІЧ-опромінення та регламентованих перерв протягом години

Інтенсивність ІЧ випромінювання, $\text{Вт/м}^2$	Тривалість безперервних періодів опромінення, хв	Тривалість перерв, хв	Сумарне опромінення протягом зміни, %
350	20	8	до 50
700	15	10	до 45
1050	12	12	до 40
1400	9	13	до 30
1750	7	14	до 25
2100	5	15	до 15



Нормування УФ-випромінювання у виробничих приміщеннях здійснюють згідно із санітарними нормами СН 4557-88. Допустимі значення густини ультрафіолетового випромінювання наведені у табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Допустимі значення густини УФ-випромінювання

Діапазон УФ випромінювання, нм	Допустимі значення густини УФ випромінювання, Вт/м <sup>2</sup>
220 – 280 (УФ-С)	0,01
280 – 320 (УФ-В)	0,01
320 – 400 (УФ-А)	10,0

Для виміру густини потоку випромінювання на робочому місці застосовують актинометри, а для визначення спектрального складу випромінювань – спектрометри.

#### 5.4. Захист від ІЧ- та УФ-випромінювань

Допустима інтенсивність теплового опромінення працюючих у першу чергу повинна забезпечуватися за рахунок раціонального розміщення робочих місць, виведення працюючих з несприятливих зон, автоматизації та дистанційного керування технологічними процесами, зменшення часу роботи в несприятливих зонах, віддалення робочих місць від джерел випромінювання тощо.

При виборі теплозахисних засобів враховують інтенсивність та спектральний склад випромінювання, а також умови технологічного процесу. Ефективним і економічним заходом захисту від ІЧ-випромінювання є теплова ізоляція. Наряду зі зменшенням тепловиділення, вона запобігає опікам, зменшує енерговитрати. Для теплоізоляції зовнішніх поверхонь використовують термостійкі, негорючі матеріали з низьким коефіцієнтом теплопровідності. Для зниження температур робочих поверхонь конструкцій і устаткування застосовують також внутрішню теплоізоляцію – футерівку.

Розповсюдженим засобом захисту від ІЧ-випромінювання є теплозахисні екрани. Залежно від принципу дії вони поділяються на:

- тепловідбивні (поліровані металеві листи, загартоване скло з плівковим покриттям, металізовані тканини тощо);
- тепловбираючі (сталева сітка, металеві листи або коробки з теплоізоляцією з азбестового картону, шамотної цегли, повсті та інших теплоізоляторів);
- тепловідвідні (екрани з металевого листа або сітки, що охолоджуються проточною водою, водяні завіси тощо);
- комбіновані.

Залежно від особливостей технологічних процесів застосовують непрозорі, прозорі і напівпрозорі екрани. Екрани повинні забезпечувати нормовані величини опромінення працівників; бути зручними в експлуатації; не ускладнювати огляд, чищення та змащування агрегатів; гарантувати безпечну роботу з ними; бути міцними і

зручними для виготовлення та монтажу; мати достатньо тривалий строк експлуатації; у процесі експлуатації зберігати ефективні теплозахисні якості.

До засобів індивідуального захисту працюючих від ІЧ-випромінювання відносяться: спецодяг (костюм чоловічий повстяний), шкіряне спеціальне взуття для працюючих в гарячих цехах, вачеги, рукавиці (суконні, брезентові, комбіновані, повстяні капелюхи, захисні каски з підшоломниками, каски текстолітові або з полікарбонату, теплозахисні щитки, захисні окуляри із світлофільтрами, маски захисні з прозорим екраном, тощо. При ліквідації аварій та виконанні аварійних робіт використовують теплоізолюючі куртки та костюми, тепловідбиваючі комплекти з металізованої тканини.

Якщо на робочих місцях неможливо досягти регламентованої інтенсивності теплового опромінення працюючих, то використовують обдування, повітряне та водоповітряне душення.

Для зменшення негативного впливу ІЧ-випромінювання на працюючих необхідно дотримуватися раціонального питного режиму та режиму праці.

Захист від **УФ-випромінювань** досягається за рахунок збільшення відстані від джерел випромінювання до робочих місць та їх раціональним розташуванням, зменшенням часу опромінення, екрануванням робочих місць, спеціальним фарбуванням приміщень, використаннім засобів індивідуального захисту.

Найбільш раціональним методом захисту є екранування джерел випромінювання, для чого використовують екрани з поглинаючих випромінювання матеріалів і світлофільтри. Екрани виконуються у вигляді щитів, ширм, кабін. Хороший захист від УФ-випромінювань забезпечує флінтглас (скло, яке вміщує оксид свинцю).

Стіни і ширми в приміщеннях з джерелами УФ-випромінювання фарбують у світлі кольори (сірий, жовтий, блакитний), застосовуючи цинкове чи титанове білило для поглинання УФ-випромінювання.

До засобів індивідуального захисту працюючих від УФ-випромінювання відносяться: спецодяг (куртки, брюки, рукавички, фартухи) із тканин, що не пропускають УФ-випромінювань (льняні, бавовняні, поплін); захисні окуляри та щитки із світлофільтрами, а також спеціальні мазі із вмістом речовин, що служать світлофільтрами (салол, саліцилово-метиловий ефір).

## **5.5. Захист від лазерного випромінювання**

Джерелами лазерного випромінювання є оптичні квантові генератори (ОКГ), які нині знаходять широке застосування в різних галузях промисловості. Системах передачі інформації, телебаченні, спектроскопії, електронній та обчислювальній техніці тощо. Від інших джерел оптичного випромінювання лазерне випромінювання відрізняється своєю спрямованістю і величезною густиною енергії в промені. Ці особливості обумовлюють небезпечність лазерного випромінювання для обслуговуючого персоналу.

Сучасні ОКГ здатні генерувати випромінювання практично у всьому діапазоні довжини хвиль оптичних випромінювань: інфрачервоні, видимі і

ультрафіолетові. За режимом роботи ОКГ поділяються на безупинної дії й імпульсні. Залежно від характеру робочої речовини ОКГ бувають твердотілі, напівпровідникові, рідинні та газові.

Залежно від енергії в імпульсі, густини енергії, довжини хвилі лазерного випромінювання воно може впливати на шкіру, внутрішні органи та органи зору. При оцінці дії лазерного випромінювання на біологічні об'єкти виділяють термічний та ударний ефекти.

*Термічний ефект* проявляється в появі опікових міхурів і випаровування поверхневих шарів, ураження внутрішніх органів та омертвіння тканин у результаті опіку. Для лазерного випромінювання характерні різкі границі уражених ділянок і можливість концентрації енергії в глибоких шарах тканини. На характер ураження впливає природний колір (пігментація), мікроструктура і щільність тканин. Термічний ефект більш характерний при безупинному режимі роботи ОКГ.

*Ударний ефект* характерний для імпульсного режиму роботи ОКГ. Причиною цього виду ураження є ударні хвилі, які виникають при поглиненні лазерного випромінювання. Ударна хвиля може виникнути як на поверхні тіла, так і у внутрішніх органах. Поширення ударної хвилі в організмі призводить до ураження внутрішніх органів без яких-небудь зовнішніх проявів.

При дії лазерних випромінювань невеликої інтенсивності можливе виникнення різних функціональних зрушень у серцево-судинній системі, ендокринних залозах, центральній нервовій системі. З'являється стомлюваність, великі стрибки артеріального тиску, головний біль.

Найбільш небезпечне лазерне випромінювання для очей. При довжині хвилі в діапазоні 0,4 – 1,4 мкм випромінювання особливо небезпечне для сітківки ока, а в інших діапазонах – для рогівки очей і шкіри.

*Нормування лазерного випромінювання* здійснюється згідно із санітарними нормами і правилами СНиП 5804-91, відповідно яких при проектуванні лазерної техніки потрібно дотримуватися принцип відсутності впливу на людину прямого, дзеркального та дифузного випромінювання.

ОКГ за ступенем небезпеки поділяється на 4 класи:

- 1 клас – повністю безпечні;
- 2 клас – небезпечні для очей та шкіри при дії прямого пучка;
- 3 клас – небезпечні для очей при дії прямого і дзеркального випромінюванням та для шкіри при дії прямого пучка;
- 4 клас – найбільш потужні, які небезпечні для очей і шкіри як при прямому, так і при дифузному випромінюванні.

При нормуванні весь спектр лазерного випромінювання поділено на три спектральні діапазони: I –  $180 < \lambda < 380$  нм, II –  $380 < \lambda < 1400$  нм, III –  $1400 < \lambda < 10^5$  нм.

Згідно з СНиП 5804-91 регламентуються гранично допустимі рівні (ГДР) густини потоку енергії чи потужності випромінювання на шкірі, сітківці, рогівці залежно від тривалості впливу, режиму роботи ОКГ та його спектрального діапазону. Норми встановлюються для однократного та хронічного (того,

що систематично повторюється) опромінення. Наприклад, при однократному впливі і тривалості опромінення більше 100 с в оптичному діапазоні  $1400 < \lambda < 10^5$  нм густина потужності випромінювання не повинна перевищувати  $500 \text{ Вт/м}^2$ .

Крім небезпечної дії лазерного випромінювання, робота ОКГ може супроводжуватися виникненням інших шкідливих та небезпечних факторів: світловим випромінюванням при роботі ламп накачування, УФ-випромінюванням імпульсних ламп і газорозрядних трубок, рентгенівським та електромагнітним випромінюванням, забрудненням повітряного середовища озonom, оксидами азоту, продуктами випаровування мішені, високою напругою зарядних пристроїв тощо. Тому при експлуатації ОКГ передбачається комплекс заходів, спрямованих на створення здорових та безпечних умов праці.

Діючі ОКГ необхідно розміщувати в окремих, спеціально виділених приміщеннях, в які обмежується доступ сторонніх осіб. На дверях приміщень встановлюються попереджувальні знаки і система сигналізації про роботу ОКГ. Стіни, стеля і підлога в приміщеннях повинні мати матову поверхню з коефіцієнтом відбивання не більше 0,4. Колір фарбування стін вибирається залежно від спектру випромінювання і таким, щоб густина відбитої (дифузійної) енергії була мінімальною. Оптичний квантовий генератор повинен встановлюватися в приміщенні так, щоб промінь не потрапляв на вікна та двері. Для виготовлення екрануючих штор рекомендують темні тканини. Приміщення повинно мати загально обмінну чи місцеву витяжну вентиляцію. Промінь ОКГ за можливості доцільно екранувати. Небезпечні зони повинні позначатися попереджувальними знаками безпеки.

Для захисту органів зору використовують спеціальні окуляри із світлофільтрами. Як матеріали для виготовлення захисних окулярів використовують: скло і пластмаси, що поглинають випромінювання, а також діелектричні тонкі плівки, що відбивають падаючу світлову енергію (оксиди титану тощо). Найкращий захист органів зору забезпечують окуляри, виготовлені з поглинаючих матеріалів, на зовнішню поверхню скла яких наноситься плівка з відбиваючих матеріалів, та окуляри, виготовлені з використанням багаточарових фільтрів. Окуляри підбираються для певної довжини хвилі. Для захисту шкіри застосовують фетровий одяг, шкіряні рукавички.

### **Запитання для самоконтролю**

1. Охарактеризуйте випромінювання, що відносяться до оптичного діапазону.
2. Як впливає інфрачервоне випромінювання на людину?
3. Як впливає ультрафіолетове випромінювання на людину?
4. Як здійснюється нормування ІЧ- та УФ-випромінювань?
5. Які методи використовуються для захисту від променевого тепла та в чому полягає їх сутність?
6. Охарактеризуйте лазерні випромінювання: параметри, біологічну дію, нормування та вимоги безпеки при роботі з ОКГ.

## РОЗДІЛ 6. ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ПОЛЯ ТА ВИПРОМІНЮВАННЯ РАДІОЧАСТОТНОГО ДІАПАЗОНУ

**Перелік умінь**, які фахівець з вищою освітою повинен набути в результаті засвоєння інформації, викладеної в шостому розділі підручника.

Фахівець повинен уміти ідентифікувати основні шкідливі та небезпечні чинники при використанні обладнання з джерелами електромагнітних випромінювань, вибирати засоби колективного та індивідуального захисту від випромінювань та визначати необхідні заходи безпеки, у тому числі:

- виявляти небезпечні об'єкти;
- виявляти шкідливі та небезпечні чинники пов'язані з використанням джерел електромагнітних випромінювань;
- вибирати засоби колективного захисту від випромінювань;
- здійснювати вибір та користуватися засобами індивідуального захисту від випромінювань;
- визначати необхідні організаційні та медико-профілактичні заходи спрямовані на зменшення негативного впливу електромагнітних випромінювань на людей та довкілля.

### 6.1. Джерела електромагнітних полів та випромінювань

На організм людини постійно діють електромагнітні поля та випромінювання. Основними їх природними джерелами є електромагнітне поле Землі, радіовипромінювання Сонця, атмосферні електричні поля тощо.

Електромагнітні поля та випромінювання виникають при роботі систем електропостачання та різноманітних машин і механізмів, що використовуються в різних галузях виробництва для індукційної та діелектричної термообробки різних матеріалів, збагачення корисних копалин, очищення повітря, отримання плазмового стану речовини, телебачення, радіомовлення, зв'язку і т.д.

Джерелами електромагнітних випромінювань радіочастот є потужні радіостанції, генератори надвисоких частот, установки індукційного і діелектричного нагрівання, радары, вимірювальні і контрольні пристрої, дослідницькі установки, високочастотні прилади і пристрої. Електростатичні поля та електромагнітні випромінювання у широкому діапазоні частот виникають при роботі персональних електронно-обчислювальних машин і відеодисплейних терміналів. Джерелами електромагнітних полів промислової частоти є будь-які електроустановки і струмопроводи промислової частоти. Чим вище напруга і більше струм, що протікає в них, тим вище напруженість полів. Деякі джерела електромагнітних полів наведені на рис. 6.1.

Діапазон природних і штучних полів дуже широкий: починаючи від постійних магнітних і електростатичних полів і закінчуючи рентгенівським і гамма-випромінюванням частотою  $3 \cdot 10^{21}$  Гц і вище. Кожний з діапазонів електромагнітних випромінювань по-різному впливає на живий організм. У цьому розділі розглядаються питання захисту від електромагнітних полів та

електромагнітних випромінювань з частотою від 3 до  $3 \times 10^{12}$ , які прийнято відносити до випромінювань радіочастотного діапазону. Властивості і дія цього випромінювання на людину суттєво відрізняються від випромінювань оптичного діапазону (інфрачервоного, видимого, ультрафіолетового) та іонізуючих випромінювань.



Рис. 6.1. Джерела електромагнітних полів та випромінювань

## 6.2. Основні характеристики електромагнітних випромінювань

До радіохвильового діапазону відносяться електромагнітні випромінювання з частотою від 3 до  $3 \times 10^{12}$  Гц. Номенклатура діапазонів частот електромагнітних полів (ЕМП) наведена у табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Характеристика спектру електромагнітних випромінювань

Назва діапазону	Діапазон частот	Довжина хвилі	Назва хвилі
Низькі частоти (НЧ)	0,003 – 0,3 Гц	$10^7 - 10^6$ км	Інфранизькі Низькі Промислові Звукові
	0,3 – 3,0 Гц	$10^6 - 10^4$ км	
	3,0 – 300 Гц	$10^4 - 10^2$ км	
	300 Гц – 30 кГц	$10^2 - 10$ км	
Високі частоти (ВЧ)	30 – 300 кГц	10 – 1 км	Довгі Середні Короткі
	300 кГц – 3 МГц	1 км – 100 м	
	3 – 30 МГц	100 – 10 м	
Ультрависокі частоти (УВЧ)	30 – 300 МГц	10 – 1 м	Ультракороткі
Надвисокі частоти (НВЧ)	300 МГц – 3 ГГц	100 – 10 см	Дециметрові Сантиметрові Міліметрові
	3 ГГц – 30 ГГц	10 – 1 см	
	30 ГГц – 300 ГГц	10 – 1 мм	

Електромагнітне поле (електромагнітне випромінювання) оцінюється векторами напруженості електричного  $E$  (В/м) і магнітного  $H$  (А/м) полів, що характеризують силові властивості ЕМП.

У діапазоні частот до 300 МГц біля джерела випромінювання виділяють ближню зону чи зону індукції і далеку зону чи хвильову. У зоні індукції електричне і магнітне поля можна вважати незалежними одне від одного. У хвильовій зоні, де вже сформувалася електромагнітна хвиля, при поширенні у вакуумі і повітрі ці величини зв'язані співвідношенням  $E=377H$ . В електромагнітній хвилі вектори  $E$  і  $H$  завжди взаємно перпендикулярні. Довжина хвилі  $\lambda$ , частота коливань  $f$  і швидкість поширення електромагнітних хвиль у повітрі  $c$  зв'язані співвідношенням  $c = \lambda f$ .

Електромагнітне випромінювання у хвильовій зоні прийнято характеризувати інтенсивністю випромінювання  $I$  (густина потоку енергії), що у загальному виді визначається векторним добутком  $E$  і  $H$  і для сферичних хвиль при поширенні в повітрі може бути виражена як

$$I = \frac{P_{дж}}{4\pi r^2}, \text{ Вт/м}^2,$$

де  $P_{дж}$  – потужність джерела, Вт;  $r$  – відстань від джерела, м.

Для оцінки впливу електромагнітного поля на людину використовується поняття потужності поглиненого тілом людини випромінювання  $P$ , Вт:

$$P = IS_{ef},$$

де  $S_{ef}$  – ефективна поглинаюча поверхня тіла людини, м<sup>2</sup>.

Слід відзначити, що у виробничому приміщенні електромагнітне поле від джерела спотворюється так званим «полем вторинного випромінювання», тобто електромагнітним полем, відбитим від різноманітних поверхонь. Вторинне випромінювання накладається на основне поле і змінює його параметри. Розрахувати параметри поля вторинного випромінювання і, тим більше, результативного поля практично неможливо.

### 6.3. Дія електромагнітного випромінювання на людину

Електромагнітні поля та випромінювання можуть негативно впливати на людину. Характер цього впливу залежить від діапазону частот, інтенсивності та тривалості дії випромінювання, розміру поверхні тіла, що опромінюється, та індивідуальних особливостей організму. Розрізняють термічну (теплову) дію та функціональні й морфологічні зміни.

Первинним проявом дії електромагнітної енергії є нагрів, який може призвести до змін і навіть до пошкодження тканин і органів тіла людини. Підвищення температури може бути загальним або мати локальний характер. Нагрів особливо небезпечний для органів зі слабкою терморегуляцією та для тих, у складі яких багато води (мозок, очі, нирки, органи кишкового та сечостатевого тракту, сім'яні залози). Коливання надвисоких частот можуть викликати також помутніння кришталика ока.

За тривалої дії електромагнітного випромінювання на людину можуть з'являтися функціональні зміни у вигляді головного болю, порушення сну, підвищеної стомливості, дратівливості, пітливості, випадення волосся, болях у ділянці серця, зниження статевої потенції та ін. Функціональні порушення, викликані біологічною дією електромагнітного випромінювання, здатні в організмі людини накопичуватися, але в той же час є зворотними, якщо виключити дію випромінювання на людину та покращити умови праці.

У тканинах периферичної та центральної нервової системи та серцево-судинній системі спостерігаються морфологічні зміни, що проявляються у порушенні регуляторних функцій та нервових зв'язків в організмі або зміні структури самих клітин, зниженні кров'яного тиску (гіпотонія), уповільненні ритму скорочення серця (брадикардія) тощо. Спостерігаються також зміни у будові та зовнішньому вигляді тканин і органів тіла людини (опіки, омертвіння, крововиливи, зміни структури клітин тощо).

Незважаючи на значну кількість проведених досліджень, питання механізму впливу цього випромінювання на біологічні системи залишається ще відкритим. Точно встановленою можна вважати тільки теплову дію, а механізм і особливості впливу нетеплових форм біологічної дії ще до кінця нез'ясовані. Нетеплова дія може бути обумовлена специфічним впливом випромінювань радіочастотного діапазону на деякі біохімічні явища: біоелектричну активність, вібрацію субмікроскопічних структур, енергетичне порушення на молекулярному рівні.

#### 6.4. Нормування та контроль електромагнітних випромінювань

Нормування електромагнітних випромінювань радіочастотного діапазону на робочих місцях здійснюється згідно з ГОСТ 12.1.006-84. Дія цього нормативно-правового акта розповсюджується на електромагнітні випромінювання в діапазоні частот 60 кГц – 300 ГГц. У діапазоні частот 60 кГц – 300 МГц нормованими параметрами є напруженість електричної  $E$  та магнітної  $H$  складових поля (табл.6.2.), а у діапазоні 300 МГц – 300 ГГц нормативним параметром є густина потоку енергії (ГПЕ), див. табл. 6.3.

Таблиця 6.2

Гранично допустимі значення  $E_{зд}$  і  $H_{зд}$  на робочих місцях

Параметр	Діапазон частот, МГц		
	Від 0,06 до 3	Більше 3 до 30	Більше 30 до 300
$E_{зд}$ , В/м	500	300	80
$H_{зд}$ , А/м	50	-	-
$EH_{E_{зд}}$ (В/м) <sup>2</sup> ·год	20000	7000	800
$EH_{H_{зд}}$ (А/м) <sup>2</sup> ·год	200	-	-

Нормативною величиною є також гранично допустиме енергетичне навантаження за електричною  $EH_E$ , (В/м)<sup>2</sup>·год, та магнітною  $EH_H$ , (А/м)<sup>2</sup>·год, складовими полів:



$$EH_E = (E_n)^2 \cdot T;$$

$$EH_H = (H_n)^2 \cdot T,$$

де  $E_n$ ,  $H_n$  – нормативне значення напруженості електричної і магнітної складової полів, В/м та А/м;  $T$  – тривалість дії полів на протязі робочого дня, год.

Таблиця 6.3

Гранично допустимі величини густини потоку енергії в діапазоні частот 300 МГц – 300 ГГц

Густина потоку енергії, Вт/м <sup>2</sup>	Допустимий час перебування в зоні впливу ЕМП	Примітки
До 0,1	Робочий день	
0,1 – 1,0	Не більше 2 год	В інший робочий час густина потоку енергії не повинна перевищувати 0,1 Вт/м <sup>2</sup>
1,0 – 10,0	Не більше 10 хв	За умови використання захисних окулярів. В інший робочий час густина потоку енергії не повинна перевищувати 0,1 Вт/м <sup>2</sup>

За одночасної дії електричного і магнітного полів умови праці вважаються допустимими, якщо

$$GH_E / EH_{E20} + EH_H / EH_{H20} \leq 1,$$

де  $EH_E$  і  $EH_H$  – енергетичні навантаження, що характеризують фактичну дію електричного і магнітного полів.

Для електромагнітних полів промислової частоти (50 Гц) нормативи встановлюються згідно з ГОСТ 12.1.002-84 та ДСН 239-96. Для робочих місць вводиться обмеження часу перебування працюючих під дією електромагнітного поля: при напруженості 5 кВ/м – 8 год; при напруженості від 5 до 20 кВ/м включно – визначається за формулою  $T = (50/E) - 2$  год (де  $E$  – фактична напруженість); при напруженості більше 20 до 25 кВ/м – 10 хв.

Санітарними нормативами встановлюються також захисні зони поблизу ліній електропередачі залежно від їх напруги: 20 м для лінії з напругою 300 кВ, 30 м – 500 кВ і 55 м – 1150 кВ.

Вимірювання параметрів електромагнітних випромінювань слід виконувати не рідше одного разу на рік, а також при введенні в дію нових установок, внесенні змін у конструкцію, розміщення чи режим роботи установок, при створенні нових робочих місць та внесенні змін у засоби захисту від дії випромінювань. Для виміру інтенсивності випромінювань застосовують вимірювачі напруження електромагнітних полів (рис. 6.2).



Рис. 6.2. Вимірювачі електромагнітних випромінювань ПЗ-41 (а) та Циклон-4 (б)

### 6.5. Захист від електромагнітного випромінювання

Класифікація засобів та заходів захисту від електромагнітних випромінювань радіочастотного діапазону наведена на рис. 6.3.



Рис. 6.3. Класифікація засобів захисту від електромагнітних випромінювань

Залежно від умов експлуатації обладнання, діапазону частот, розташування робочого місця, рівня опромінення застосовують такі методи захисту: захист часом та відстанню, зменшення випромінювання у самому джерелі, екранування джерела полів або випромінювань, екранування робочих місць, засоби індивідуального захисту, раціональне розташування в приміщенні установок, раціоналізація режимів експлуатації установок та роботи обслуговуючого персоналу, застосування попереджувальної світлової та звукової сигналізації.

**Захист часом** передбачає обмеження часу перебування людини в робочій зоні, якщо інтенсивність опромінення перевищує встановлені норми. Цей метод використовується, коли немає можливості знизити інтенсивність опромінення до допустимих значень і лише для електричного поля частотою 50 Гц та випромінювань у діапазоні частот 300 МГц – 300 ГГц.

Якщо інтенсивність опромінення в діапазоні 300 МГц – 300 ГГц знаходиться між двома нормованими рівнями (табл. 2.15), то допустиме значення часу опромінення визначається за формулою

$$t_{\text{дон}} = T \frac{1 + 0,005y / y_{\text{дон}}}{0,65 + 0,355y / y_{\text{дон}}},$$

де  $y$  – інтенсивність опромінення,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ;  $y_{\text{дон}}$  – допустима інтенсивність опромінення,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ .

**Захист відстанню** застосовується тоді, коли неможливо послабити інтенсивність опромінення за допомогою інших методів. У цьому випадку збільшують відстань між джерелом випромінювання та обслуговуючим персоналом. У ближній зоні при спрямованому випромінюванні цей метод не застосовується, оскільки в цій зоні густина поверхневої енергії не залежить від віддалі.

Передбачено також улаштування санітарно-захисних зон.

Санітарно-захисна зона для передавальних радіостанцій, обладнаних антенами неспрямованої дії, для телецентрів і телевізійних ретрансляторів, а також для радіолокаційних станцій кругового огляду встановлюється по колу.

Для передавальних радіостанцій, обладнаних антенами спрямованої дії, а також для радіолокаційних станцій, антени яких сканують у визначеному секторі або фіксують у заданому напрямку, санітарно-захисна зона встановлюється в напрямку дії випромінювання електромагнітних хвиль.






Земельні ділянки, що входять у санітарно-захисну зону, не вилучаються у землекористувачів і можуть використовуватись як сільськогосподарські угіддя, а також для розміщення на них виробничих споруд, що належать радіотехнічному об'єкту або іншим відомствам, з дотриманням діючих санітарних норм і правил.

**Зниження випромінювання в джерелі виникнення** досягається шляхом застосування спеціальних пристроїв – поглиначів потужності, атенюаторів, спрямованих відгалужувачів, хвилеводних ослаблювачів. Наприклад, широкого розповсюдження набули радіопоглинальні матеріали, які забезпечують максимально можливе перетворення енергії електромагнітного випромінювання в інший вид енергії (табл. 6.4).

**Виділення зон випромінювання.** Для кожного випадку розташування апаратури експериментально визначають межі зони, де інтенсивність опромінення перевищує гранично допустимі значення. Такі вимірювання здійснюють при роботі апаратури на максимальну потужність. Установки огорожують або вивішують попереджувальний надпис „*Не заходити, небезпечно!*”. Така зона може додатково позначатись яскравою фарбою на підлозі приміщення.

Таблиця 6.4

## Типи радіопоглинальних матеріалів

Клас РПМ	Зовнішній вид	Рекомендації до використання	Особливості
Електропровідний пінополіуретан		Радіоекрановані камери, приладобудування, забезпечення ЕМС	Універсальність
Спеціальний електропровідний картон		Радіоекрановані камери метрового, дециметрового діапазонів	Ефективні для довгохвильового діапазону
Картон з електропровідною пропиткою		Радіоекрановані камери сантиметрового діапазону	Використовується при невисоких виробничих вимогах
Наповнені провідним матеріалом пластиком піраміди		Радіоекрановані камери при жорстких вимогах виходячи з кліматичних умов	Висока захищеність від дії вологи, агресивності середовища
Радіопоглинальний матеріал килимового типу		Безехові камери	Універсальність висока зносостійкість та захищеність від дії вологи, можливість укриття об'єктів будь-якої форми

Один з найбільш ефективних технічних засобів захисту від електромагнітного випромінювання радіочастотного діапазону є екранування (рис. 6.3). Для екранів використовують матеріали з великою електричною провідністю.

Принцип дії захисних екранів базується на поглинанні енергії випромінювання матеріалом з наступним відведенням в землю, а також на відбиванні її від екрану.

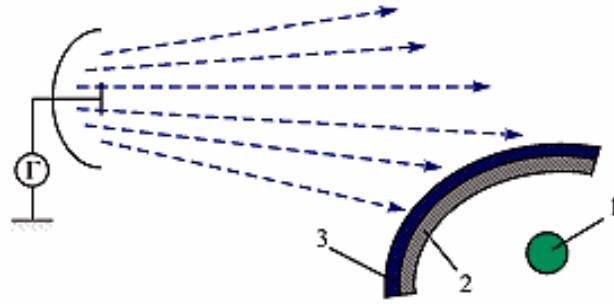


Рис. 6.3. Структурна схема екранування робочого місця від ЕМ випромінювань: 1 – робоче місце; 2 – металева пластина; 3 – радіопоглинальний матеріал

Основна характеристика екрана – ступінь послаблення електромагнітного поля, тобто ефективність екранування, що є відношенням  $E$ ,  $H$ ,  $u$  у даній точці за відсутності екрана до  $E_e$ ,  $H_e$ ,  $u_e$  у тій же точці з екраном.

Ступінь послаблення електромагнітного поля залежить від глибини проникнення височастотного струму в товщину екрана. Чим більша магнітна проникність екрана і чим вища частота екранованого поля, тим менша глибина проникнення і необхідна товщина екрана.

Засобами індивідуального захисту слід користуватися у тих випадках, коли застосування інших способів запобігання впливу електромагнітних випромінювань неможливе. Широко застосовують захисні халати, комбінезони, окуляри. Для пошиття халатів і комбінезонів використовують спеціальну радіотехнічну тканину, в якій тоненькі металеві нитки утворюють сітку. Для захисту органів зору застосовують сітчасті окуляри, які мають конструкцію у вигляді напівмаски з мідної або латунної сітки, або окуляри ОРЗ-5 із спеціальним склом, покритим струмопровідним шаром двооксиду олова.

### Запитання для самоконтролю

1. Які джерела електромагнітних випромінювань Ви знаєте?
2. Назвіть основні характеристики електромагнітних випромінювань?
3. Як діють електромагнітні випромінювання на організм людини?
4. Як здійснюється нормування електромагнітних випромінювань?
5. Які прилади використовують для контролю електромагнітних випромінювань?
6. Охарактеризуйте методи захисту від електромагнітних випромінювань.
7. Яким чином можна знизити інтенсивність випромінювання в джерелі виникнення?
8. Як здійснюється екранування джерел випромінювання?
9. Які засоби індивідуального захисту від електромагнітних випромінювань Ви знаєте?

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Авдеев О.К., Кретинин А.А., Леденев А.И. и др. Радиоактивные отходы Украины: состояние, проблемы, решения: моногр. – К.: ИЦ «ДрУк», 2003. – 400 с.
2. Барановська Н. П. Суспільний вимір проблем атомної енергетики через призму подій на Чорнобильській АЕС (до 25-ї річниці аварії), – Наука та наукознавство. – 2011. – №2. – С. 131-143.
3. Бакуменко В. Д., Проскура М. І., Холоша В. І. Сучасні підходи до вирішення проблем Чорнобильської Зони відчуження та безумовного (обов'язкового) відселення. – К., 2000. – 152 с.
4. Булдаков Л.А., Калистратова В.С. Радиоактивное излучение и здоровье. – М.: ИНФОРМ-АТОМ, 2003. – 165 с.
5. Беликов. А.С., Калда Г.С., Соколов И.А. и др. Радиационная безопасность зданий и сооружений с учетом инновационных направлений в строительстве. – Днепропетровск: «Середняк Т.К.», 2013. – 367 с.
6. Белоус Д.А. Радиация, биосфера, технология. – СПб.: Изд-во ДЕАН, 2004. – 448 с.
7. Давиденко В. М. Радіобіологія / В.М. Давиденко – Миколаїв: Видав.МДАУ, 2011. – 265 с.
8. ДСП 6.074.120 - 01 Основні санітарні правила протирадіаційного захисту України. Затверджено Постановою Головного сан. лікаря України 28.12.2000 № 120. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://consultant.parus.ua/doc>.
9. ДСТУ ІЕС/ISO 31010:2013 Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику. – К.: Мінекономрозвитку України, 2015. – 74с.
10. Жизнь и радиация. Перевод с англ. П.В. Рамзаева – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 187 с.
11. Закон України «Про відходи». Відомості Верховної Ради України, 1998, № 36-37, ст. 242. (Редакція від 09.05.2016). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show>.
12. Закон України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку». Відомості Верховної Ради України, 1995, № 12, ст. 81 (Редакція від 26.10.2014). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show>.
13. Закон України «Про поводження з радіоактивними відходами». Відомості Верховної Ради України, 1995, № 27, ст. 198 (Редакція від 01.01.2017). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/255/95-вр>.
14. Закон України «Про видобування та переробку уранових руд». Відомості Верховної Ради України, 1998, № 11-12, ст. 39 (Редакція від 05.12.2012). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/645/97-вр>.
15. Закон України «Про захист людини від впливу іонізуючих випромінювань». Відомості Верховної Ради України, 1998, № 22, ст. 115 (Редакція від 29.09.2013). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/15/98-вр>.

16. Закон України «Про дозвільну діяльність у сфері використання ядерної енергії». Відомості Верховної Ради України, 2000, № 9, ст. 68 (Редакція від 05.12.2012). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1370-14>.
17. Закон України «Про фізичний захист ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання». Відомості Верховної Ради України, 2001, № 1, ст. 1 (Редакція від 28.12.2015). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2064-14>.
18. Закон України «Про цивільну відповідальність за ядерну шкоду та її фінансове забезпечення». Відомості Верховної Ради України, 2002, № 14, ст. 96 (Редакція станом на 05.10.2016). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2893-14>
19. Защита населения от радиационного воздействия в случае радиологической атаки. Публикация МКРЗ 96. Пер. с англ. Ред. Я. Валентин. – Мед. радиология и радиац. безопасность, 2008, т. 53, № 2. – С. 61-75.
20. Зеркалов Д.В. Цивільний захист. Навчальний посібник / Зеркалов Д.В., Міхеєв Ю. В., Праховник Н.А., Землянська О. В. За редакцією Д. В. Зеркалов – К.: «Основа». 2014. – 234 с.
21. Мельников Н.Н. К вопросу о влиянии радиации на здоровье человека (некоторые аспекты). – Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология, 2004, № 5. – С. 389-395.
22. Національна доповідь. Відповідно до Об'єднаної Конвенції про безпеку поводження з відпрацьованим паливом та про безпеку поводження з радіоактивними відходами. – К.: 2003. – 95 с.
23. 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.
24. Радиационная медицина. Т. 2. Радиационные поражения человека / Под общ. ред. акад. РАМН Л.А. Ильина. – М: ИздАТ, 2001. – 432 с.
25. Радиация. Дозы, эффекты, риск. Перевод с англ. Ю. А. Банникова. – М.: Мир, 1990. – 78 с.
26. Радиация и жизнь. Под ред. Холл Дж.Э.: Пер. с англ. – М.: Медицина, 1990. – 256 с.
27. Чорнобиль і соціум: збірник. Вип. 10: Сучасні ризики: тенденції, перспективи, шляхи мінімізації наслідків. Відп. ред. Ю.І. Саєнко, Ю.О. Привалов. – К.: ПЦ Фоліант, 2004. – 312 с.
28. Ярмоненко С.П. Низкие уровни излучения и здоровье: радиобиологические аспекты. – Мед. радиология и радиац. безопасность, 2000, т. 45, №3. – С. 5-32.

Навчальне видання

**Голінько** Василь Іванович

**РАДІАЦІЙНА БЕЗПЕКА**  
Навчальний посібник

Видано в редакції автора

Підписано до друку 15.03.2018. Формат 30x42/4.  
Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. арк. 8,5.  
Обл.-вид. арк. 8,5. Тираж 30 прим. Зам. № .

Підготовлено до друку та надруковано  
у Державному ВНЗ «Національний гірничий університет»  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842 від 11.06.2004.  
49005, м. Дніпро, просп. Дмитра Яворницького, 19.