

## ТЕМА 10

### ЯДЕРНІ АВАРІЇ

У 1996 році виповнилось 100 років з дня відкриття А.Беккерелем **явища радіоактивності**, яке А.Енштейн назвав самою революційною силою технічного прогресу з тих пір, як доісторична людина відкрила вогонь. Проте ми вже добре знаємо, що всякий технічний прогрес, з одного боку, приносить користь, а з другого - небезпеку.

Значні досягнення у створенні радіаційних технологій та опанування ядерної енергії, даючи людству багато корисного, висунули ряд нових проблем. Однією з цих проблем є радіоактивне забруднення довкілля при аваріях та його негативний вплив на здоров'я населення. Хоча частота аварій при дотриманні безпеки невелика, однак вірогідність їх підвищується через те, що збільшується кількість радіаційно- і ядерно-небезпечних об'єктів.

Ядерна енергетика бере свій початок з першої в світі атомної електростанції, яка була споруджена в СРСР під керівництвом І.В.Курчатова і введена в експлуатацію 27 червня 1954 року (м. Обнінськ Калузької області).

За станом на кінець 1996 року в 33 країнах світу працювало на атомних електростанціях 442 ядерних енергетичних реактори загальною потужністю 351 ГВт і 36 реакторів загальною потужністю 28 ГВт будувалось.

У 1996 році, за даними МАГАТЕ, на долю АЕС приходилось 18% виробництва електроенергії, що перевищує весь об'єм електроенергії, що вироблена у світі всіма типами електростанцій за 1960 рік.

Значного розвитку ядерна енергетика досягла і в колишньому Радянському Союзі. Виходячи з даних, які наведені в таблиці 16.1, потужності, що вводились на АЕС Радянського Союзу, подвоювались через кожні 5 років.

У 1985 році частка електроенергії, що вироблялась на АЕС, складала 14% сумарного виробництва електроенергії в СРСР.

Сьогодні в Україні працює 4 АЕС, які забезпечують біля 40% валового виробництва електроенергії в країні (таблиця 16.2).

Таблиця 16.1

#### Розвиток ядерної енергетики в СРСР

Роки	Потужності, що вводились на АЕС, ГВт
1971 - 1975	70 - 80
1976 - 1980	130 - 150
1981 - 1985	240 - 250

## Атомні електростанції України

Назва станції	Кількість і тип ядерних реакторів	Сумарна потужність всіх енергоблоків ГВт	Рік пуску першого блоку АЕС
Запорізька АЕС	6 ВВЕР*	6,0	1983
Південно-Українська	2 ВВЕР	2,0	1983
Рівненська АЕС	4 ВВЕР	3,0	1980
Хмельницька АЕС	2 ВВЕР	2,0	1984
Чорнобильська АЕС	4 РВПК**	3,0	1977-(закрита 15.12 2000р.)

\*ВВЕР - водоводяні енергетичні реактори

\*\*РВПК - реактори великої потужності каналні.

Про перспективність атомної енергетики в нашій країні свідчить Указ Президента України N 64/94 від 23 лютого 1994 року "Про невідкладні заходи щодо розвитку атомної енергетики та формування ядерно-паливного циклу в Україні".

### 16.1. Радіаційно небезпечні технології та об'єкти ядерно-паливного циклу

Поняття "ядерно-паливний цикл" характеризує послідовність операцій з радіоактивними матеріалами у ядерній енергетиці і включає до себе такі технології і відповідні їм об'єкти, (мал. 16.1) як:

видобування, подрібнення і концентрування уранової руди - уранові рудники збагачувальні фабрики;

вилучення урану із уранової руди та його збагачування ізотопом з масовим числом 235 - радіохімічні підприємства;

перетворення урану в паливо і виготовлення паливних елементів - підприємства атомного машинобудування;

використання паливних елементів у ядерних реакторах: - атомні електростанції, атомні теплоелектроцентралі, атомні станції побутового теплозабезпечення (АСТ), атомні станції промислового теплозабезпечення, атомні надводні кораблі (АНС), атомні підводні човни, космічні апарати, дослідницькі реактори;

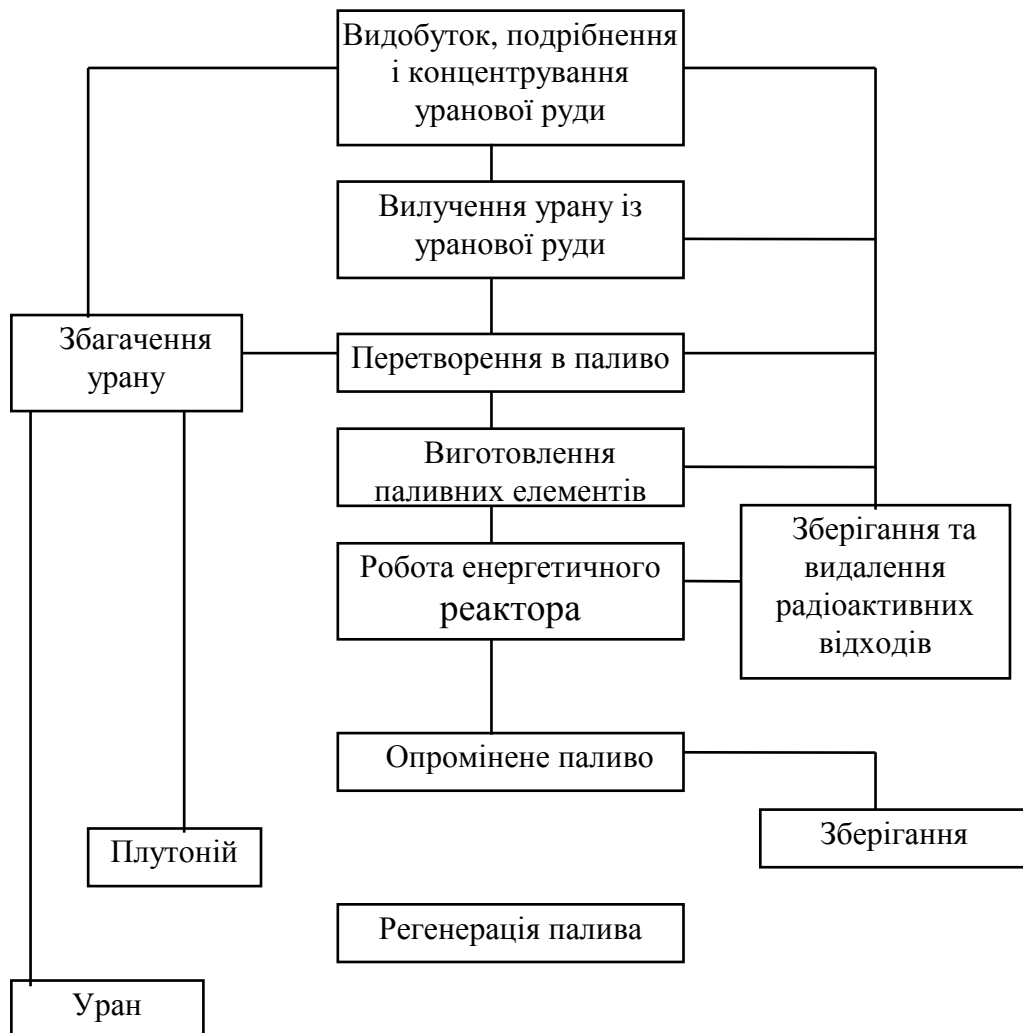
виділення з відпрацьованого палива накопиченого плутонію, невикористаного урану та інших радіонуклідів, які застосовуються в різних галузях виробництва (наука, техніка, медицина, тощо) - радіохімічні заводи;

регенерація палива і виготовлення паливних елементів - радіохімічні підприємства та підприємства атомного машинобудування;

перевезення свіжого і відпрацьованого палива, радіоактивних матеріалів та відходів - спеціалізовані транспортні підприємства;

зберігання палива, радіоактивних матеріалів та відходів - тимчасові сховища на окремих підприємствах та постійні сховища на пунктах захоронення радіоактивних відходів.

Слід відзначити, що в Україні, як в багатьох інших країнах світу, немає повного (замкнутого) ядерно-паливного циклу. Проте окремі елементи його функціонують. До них відносяться: видобуток, подрібнення і концентрування уранової руди (уранові рудники), використання ядерного палива (енергетичні та дослідницькі реактори), зберігання відпрацьованого палива (сховища), перевезення свіжого та відпрацьованого палива і радіоактивних відходів (спеціальні транспортні підприємства), зберігання радіоактивних відходів (пункти їх захоронення) та деякі інші.



Мал. 16.1 Схема ядерно-паливного циклу.

## 16.2 Будова, принцип роботи та класифікація ядерних реакторів

**Ядерний реактор** - це фізичний пристрій, у якому здійснюється керована ланцюгова реакція ядерного поділу з виділенням і відведенням теплової енергії.

У переважній більшості існуючих ядерних реакторів для підтримання ланцюгової реакції поділу ядер атомів палива використовуються повільні (теплові) нейтрони. Проте, вже є ядерні реактори, які працюють і на швидких нейтронах.

Основною частиною ядерного реактора є **активна зона**, в якій певним чином розташовані тепловиділяючі елементи з ядерним паливом, сповільнювач нейтронів та нейтроно-поглинаючі стержні, за допомогою яких здійснюється управління ланцюговою реакцією ядерного поділу. Для відведення тепла від тепловидільних елементів через активну зону безперервно прокачується теплоносій.

Як **ядерне паливо** у більшості реакторів використовується природний уран, збагачений ізотопом з масовим числом 235 у вигляді діоксиду. Ступінь збагачення складає декілька відсотків.

До **сповільнювачів** відносяться речовини, які в значній мірі зменшують енергію, а разом з тим і швидкість нейтронів (графіт, легка і важка вода та інші).

**Регулюючі стержні** та **стержні аварійного захисту** містять в собі речовини, що добре поглинають нейтрони (бор, кадмій, гафній та інші).

**Теплоносіями** можуть служити вода (легка або важка), газ (гелій, азот, двоокис вуглецю), рідкий метал (натрій) та деякі інші речовини.

**Класифікація ядерних реакторів.** За своїм призначенням ядерні реактори поділяються на дослідницькі, експериментальні та енергетичні.

На сьогоднішній день у ядерній енергетиці використовується п'ять основних модифікацій реакторів, що працюють на повільних нейтронах і один тип реактора - розмножувача на швидких нейтронах (табл. 16.3).

Таблиця 16.3

### Основні типи ядерних енергетичних реакторів

Тип реактора	Теплоносій	Сповільнювач
Реактори, що працюють на повільних нейтронах		
ВВЕР	Легка вода під тиском	Легка вода
	Легка вода кипляча	Легка вода
	Газ	Графіт
	Важка вода	Важка вода
РВПК	Легка вода	Графіт

Реактори, що працюють на швидких нейтронах		
ШН	Рідкий метал	Відсутній

На вітчизняних АЕС найбільш широкого застосування набули водоводяні енергетичні реактори (ВВЕР), в яких як теплоносієм, так і сповільнювачем є легка вода, і реактори великої потужності каналні (РВПК), де теплоносієм служить легка вода, а сповільнювачем - графіт.

Принципова відміна цих двох типів реакторів полягає ще і в тому, що в реакторі типу ВВЕР теплоносій прокачується через всю активну зону і під тиском знаходиться весь корпус реактора, а в реакторах типу РВПК теплоносій циркулює по робочих каналах і тільки вони знаходяться під тиском. В зв'язку з цими особливостями теплозйому реактори першого типу прийнято називати корпусними, а реактори другого типу - каналними. Основні технічні показники цих реакторів приведені в табл. 16.4

Таблиця 16.4

### Характеристика ядерних енергетичних реакторів

Характеристика	Тип реактора	
	ВВЕР-1000	РВПК-1000
Теплова потужність, МВт	3000	3200
Електрична потужність, Мвт	1000	1000
Ядерне паливо	UO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>
Збагачення палива ураном-235,%	4,4	2
Загрузка ядерного палива, т	66	192
Питома потужність, Мвт/т урану	45,5 · 10 <sup>3</sup>	16,7
Середня ступінь вигорання, Мвт доба/кг урану	10 <sup>4</sup>	22,3
Повна компанія, роки	3	3

### 16.3 Характеристика радіонуклідів, що утворюються при роботі ядерного реактора

Ядерні реактори є генераторами величезної кількості штучних радіонуклідів, які за своїм походженням розділяються на продукти ядерного поділу (ПЯП), продукти наведеної активності (ПНА) та ізопои трансуранових елементів (ІТЕ) (табл. 16.5).

Продукти ядерного поділу виникають у процесі розщеплення ядер урану або плутонію під дією нейтронів. До них відносяться біля 200 радіоактивних ізопоів 35 хімічних елементів середини таблиці Д.І. Менделєєва - від цинку (порядковий номер 30) до гадолінію (порядковий номер 64). ПЯП є, як правило, бета- і гама-випромінювачами. Періоди напіврозпаду їх знаходяться в межах від часток секунди до десятків років.

Таблиця 16.5

**Радіонукліди, що утворюються при роботі  
ядерного реактора**

Кількість радіонуклідів	Положення в таблиці Д.І.Менделєєва	Вид випромінення	Період напіврозпаду
<b>Продукти поділу ядер атомів палива</b>			
Біля 200	Середина таблиці (від 30 до 64 порядкового номеру)	бета, гама	Частки секунди - десятки років
<b>Продукти наведеної активності</b>			
Біля 400	Початок і середина таблиці	бета, гама	Секунди, десятки і тисячі років
<b>Ізотопи трансуранових елементів</b>			
Біля 60	Кінець таблиці (після 92 порядкового номеру)	альфа, бета	Десятки і мільйони років

Продукти наведеної активності (ПНА) з'являються при опромінюванні нейтронами конструкцій активної зони, теплоносія, що проходить через неї. До ПНА відносяться біля 400 радіонуклідів, які як і ПЯП є, в основному, бета- і гама-випромінювачами з періодами напіврозпаду від секунд до десятків і тисяч років.

Ізотопи трансуранових елементів (ІТЕ) виникають при опромінюванні урану-238 повільними нейтронами. До ІТЕ відносяться біля 60 радіонуклідів, котрі за переважною більшістю є альфа-випромінювачами з великими періодами напіврозпаду.

Таким чином, під час роботи ядерного реактора в ньому утворюється близько 700 різних радіонуклідів.

Науковий комітет з дії атомної радіації Організації об'єднаних націй (НКДАР ООН) вважає, що певне значення в опроміненні людей мають тільки 20 радіоізотопів 14 хімічних елементів. Це водень-3 або тритій, вуглець-14, магній-54, залізо-55, криптон-85, стронцій-89, стронцій-90, цирконій-95, рутеній-103, рутеній-106, йод-131, цезій-134, цезій-137, барій-140, церій-141, церій-144, плутоній-238, плутоній-239, плутоній-241, америцій-241. Найбільшу ж роль в опроміненні населення відіграють лише 8 радіонуклідів,

тому що внесок кожного з них в ефективну еквівалентну дозу перевищує 1%. До цих радіонуклідів відносяться вуглець-14, цезій-137, цирконій-95, рутеній-106, стронцій-90, церій-144, водень-3, йод-131.

Кількісне накопичення та якісний склад конкретних радіонуклідів в активній зоні реактора залежить від тривалості його роботи, ступеню збагачення ядерного палива і часу витримки реактора після його зупинки. Вихід продуктів поділу із активної зони при її перегріванні або розплавленні визначається ступенем їх леткості.

Так, інертні гази криптон (Kr) і ксенон (Xe), які киплять при від'ємній температурі (відповідно - 152<sup>0</sup> і - 107<sup>0</sup> С), повністю випаровуються з палива.

В значній мірі можуть виділятися із палива йод (I<sub>2</sub>), цезій (Cs) і телур (Te), що мають температуру плавлення відповідно 184<sup>0</sup>, 669<sup>0</sup>, 990<sup>0</sup> С.

Такі хімічні елементи, як молібден (Mo), цирконій (Zr), церій (Ce) і плутоній (Pu), температура кипіння котрих відповідно 4612<sup>0</sup>, 4377<sup>0</sup>, 3426<sup>0</sup>, 3232<sup>0</sup>С, більш стійко зв'язані з паливом (паливні нукліди) і можуть поступати в навколишнє середовище у вигляді дрібнодисперсного пилу (паливних частинок).

Таким чином, при ядерній аварії реактора радіоактивні викиди можуть складатись із двох компонентів:

- газоаерозольного, до складу якого входять легкі радіонукліди (радіоізотопи криптону, ксенону, йоду, цезію і телуру);

- паливного у виді дрібнодисперсного пилу, до складу якого входять важкі радіонукліди (радіоізотопи молібдену, цирконію, церію, плутонію і в значній мірі стронцію).

Співвідношення цих компонентів залежить від ступеня перегрівання палива і механічного руйнування реактора.

При радіаційних аваріях на інших об'єктах ядерно-паливного циклу кількісний і якісний склад радіонуклідів може значно відрізнятись від вище наведеного.

Слід зауважити, що постійний розпад деяких радіонуклідів, що потрапили у довкілля, супроводжується утворенням та накопиченням нових (дочірніх) радіонуклідів, а це приводить до відповідних змін радіонуклідного складу забруднення об'єктів навколишнього середовища.

Оскільки, до складу аварійних викидів ядерних реакторів входять як короткоживучі радіонукліди з періодами напіврозпаду менше 15 діб, так і довгоживучі з періодами напіврозпаду більше 15 діб, то за перебігом часу кількість короткоживучих радіонуклідів буде зменшуватись у більшій мірі, ніж довгоживучих. Тому за часом буде змінюватись і внесок кожного із них в сумарну дозу опромінення населення. Викид основних радіонуклідів внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС приведені в таблиці 16.6

Таблиця 16.6

**Основні радіонукліди, що потрапили у довкілля внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС, та їх дозоформуєча роль у різні терміни після аварії**

Радіонуклід	Період напіврозпаду	Термін після аварії					
		Перші 10 діб	Перший місяць	Третій місяць	Кінець 1986 року	1987 - 1988 роки	1993 і наступні роки
Йод-131	8.04 доби	+	+	-	-	-	-
Йод-132	2.3 год.	+	-	-	-	-	-
Йод-133	20.8 год.	+	-	-	-	-	-
Йод-135	6.61 год.	+	-	-	-	-	-
Телур-132	3.25 доби	+	-	-	-	-	-
Лантан-140	14.2 год.	+	-	-	-	-	-
Барій-140	12.7 доби	+	+	-	-	-	-
Ніобій-95	35 діб	+	+	-	-	-	-
Цирконій-95	64 доби	+	+	+	-	-	-
Рутеній-103	29.3 доби	+	+	-	-	-	-
Рутеній-106	268.2 доби	+	+	+	+	+	-
Церій-141	32.5 доби	+	+	-	-	-	-
Церій-144	248.3 доби	+	+	+	+	+	-
Цезій-134	2.06 року	+	+	+	+	+	-
Цезій-137	31 рік	+	+	+	+	+	+
Стронцій-89	52 доби	+	+	+	-	-	-
Стронцій-90	27 років	+	+	+	+	+	+
Плутоній-238	87.7 років	+	+	+	+	+	+
Плутоній-239	24380 років	+	+	+	+	+	+
Плутоній-240	6537 років	+	+	+	+	+	+
Кюрій-242	163 доби	+	+	+	+	-	-
<b>Кількість нуклідів</b>		<b>21</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>5</b>

Маса радіонуклідів, які були викинуті з реактору аварійної ЧАЕС подані в таблиці 16.7.

Таблиця 16.7



**Маса радіонуклідів, які були викинуті з реактору аварійної ЧАЕС  
[Д.М.Гродзинский, 1995]**

Радіонуклід	Маса одного Кі радіонукліду, г	Сумарна активність викиду, МКі	Сумарна маса викиду, г
1	2	3	4
Sr-89	$3,55 * 10^{-5}$	2,2	78,1
Sr-90	$6,08 * 10^{-3}$	0,22	1496
Zr-95	$4,67 * 10^{-5}$	3,8	177,4

1	2	3	4
Ru-103	$3,12 * 10^{-5}$	3,3	99,8
Ru-106	$3,10 * 10^{-4}$	1,6	496
I-131	$8,08 * 10^{-6}$	7,3	59
Cs-134	$8,24 * 10^{-4}$	0,5	412
Cs-137	$1,19 * 10^{-4}$	1	11800
Ce-141	$3,52 * 10^{-5}$	2,8	98,5
Ce-144	$3,16 * 10^{-4}$	2,4	858
Pu-238	$5,84 * 10^{-2}$	$0,8 * 10^{-3}$	46,7
Ru-239	16,3	$0,7 * 10^{-3}$	11410
Ru-240	4,39	$1 * 10^{-3}$	4390
Ru-241	$1,48 * 10^{-2}$	0,14	2072
Cm-242	$1,86 * 10^{-6}$	$1,86 * 10^{-6}$	$3,72 * 10^{-6}$

Викладені закономірності зміни за часом радіонуклідного складу аварійних викидів ядерних реакторів та створюваного ними забруднення оточуючого середовища враховуються при розробці, плануванні та впровадженні відповідних заходів радіаційного захисту населення.

## 16.4 Токсикологія радіоактивних речовин

### 16.4.1 Радіотоксичність нуклідів та фактори, що їх зумовлюють

Токсична дія на організм має свої особливості :

1. На відміну від більшості хімічних речовин токсична дія радіонуклідів виявляється в незрівнянно малій їх вагомій кількості. Так, біологічно вагомі активності радіонуклідів, що надходять в організм, мають масу в межах  $10^{-14}$  -  $10^{-11}$  г/добу. Це в сотні, мільйони і мільярди разів менше, ніж надходження в організм відповідних елементів, які вимірюються величинами порядку  $10^{-4}$  -  $10^{-2}$  г/добу (табл. 16.8)

2. Токсична дія самих радіонуклідів зумовлена не стільки хімічними, скільки фізичними властивостями (здатність до іонізуючого випромінювання при їх радіоактивному розпаді). Хімічні ж властивості радіонуклідів мають значення лише при їх надходженні, розподілі та виведенні з організму.

3. Механізм токсичної дії радіонуклідів суттєво відрізняється від дії відомих нам хімічних отрут (ОР та інші). Ця відмінність зумовлена дією іонізуючого випромінювання, джерелами якого є радіонукліди, що надійшли в організм.

Таблиця 16.8

**Допустимі межі надходження окремих радіонуклідів деяких мікроелементів в організм людини та фізіологічна необхідність організму в цих мікроелементах**

Радіонуклід Мікроелемент	Доп. межі надходження радіонуклідів ч/з ШКТ		Фізіологічне споживання мікроелементу г/добу
	мкКі/добу	г/добу	
Марганець - 56	0,26	$1,3 * 10^{-14}$	-
Стаб. марганець	-	-	$6,5 * 10^{-3}$
Залізо - 59	0,12	$4,1 * 10^{-14}$	-
Стаб. залізо	-	-	$1,48 * 10^{-2}$
Кобальт - 60	0,10	$8,3 * 10^{-14}$	-
Стаб. кобальт	-	-	$1,2 * 10^{-4}$
Стронцій - 90	$8,7 * 10^{-4}$	$6,4 * 10^{-12}$	-
Стаб. стронцій	-	-	$1,0 * 10^{-3}$
Йод - 131	$2,2 * 10^{-3}$	$1,8 * 10^{-14}$	-
Стаб. йод	-	-	$1,5 * 10^{-4}$

Радіотоксичність характеризує ступінь важкості радіаційного ураження при надходженні радіонукліду всередину організму.

В медичній радіології та радіаційній гігієні за мінімально значимою активністю (МЗА) на робочому місці всі радіонукліди, як джерела внутрішнього опромінення, прийнято ділити на чотири групи радіаційної токсичності (небезпечності) - А, Б, В, Г (табл. 16.9).

Основними чинниками, що зумовлюють ступінь радіотоксичності нукліду, є: тип радіоактивного розпаду, час напіврозпаду, схема розпаду, вид випромінювання, енергія випромінювання, шлях надходження до організму, тривалість надходження, характер розподілу в організмі, шлях виведення з організму, час перебування в організмі.

**Класифікація радіонуклідів, що входять до складу аварійних викидів  
ядерних реакторів, за ступенем радіаційної токсичності  
(небезпечності)**

Індекс групи	МЗА,БК (мкКі)	Ступінь радіотоксичності	Радіонукліди
А	$3,7 \cdot 10^3$ (0,1)	Особливо токсична	Плутоній - 239 Плутоній - 240 Плутоній - 241 Америцій - 241 Кюрій - 242
Б	$3,7 \cdot 10^4$ (1,0)	Висока	Стронцій - 90 Рутеній - 106 Йод - 131 Церій - 144
В	$3,7 \cdot 10^5$ (10)	Середня	Цирконій - 95 Цезій - 134 Цезій - 137
Г	$3,7 \cdot 10^6$ (100)	Мала	Водень - 3 (тритій) Вуглець - 14

**16.4.2 Токсикокінетика радіонуклідів.  
Шляхи надходження радіонуклідів в організм**

Органи, через які радіоактивні речовини проникають в організм, першими випробують на собі радіаційну дію.

Надходження радіоактивних речовин в організм можливе через органи дихання, шлунково-кишковий тракт, через неушкоджену шкіру та поверхню ран і опіків (мал. 16.2).

Надходження радіонуклідів через органи дихання має місце в період випадання радіоактивних опадів при формуванні сліду, коли особовий склад попадає в шлейф радіоактивної хмари, а також при сильному пилеутворенні на вже сформованому сліді.

Інгаляційно можуть надходити радіоактивні гази і випари, а також радіоактивні аерозолі.

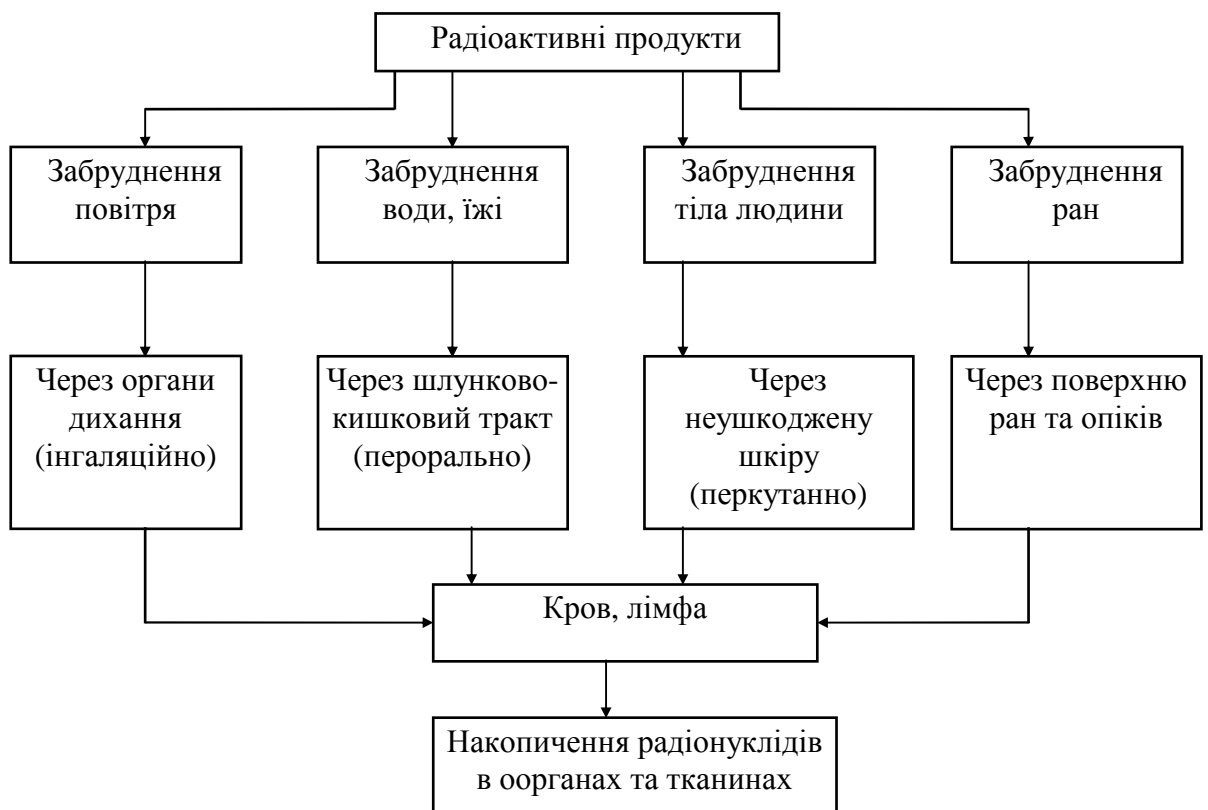
Гази і випари легко проникають в альвеоли, де у залежності від їх фізико-хімічних властивостей всмоктуються.

Аерозолі, у залежності від розміру частинок, поділяються на дим, туман і пил.

Встановлено, що тільки дрібнодисперсна фракція аерозолів з діаметром частинок від 0,001 до 0,1 мкм (дим) доходить до альвеол, фракція аерозолів з діаметром частинок від 0,1 до 10 мкм (туман) затримуються в трахеї чи бронхах, а великодисперсна фракція з діаметром частинок більше 10 мкм (пил) - в носоглотці.

Малорозчинні аерозолі, затримані в трахеобронхіальній ділянці, швидко виводяться під дією війчатого епітелію і при ковтанні надходять у шлунково-кишковий тракт.

Надходження радіонуклідів через шлунково-кишковий тракт має найбільш важливе значення. На забруднених радіонуклідами територіях таке надходження носить тривалий характер, внаслідок чого дози внутрішнього опромінення людей, як правило, перебільшують дози зовнішнього опромінення.



**Мал. 16.2 Основні шляхи надходження радіонуклідів в організм**

Встановлено, що основними харчовими шляхами надходження радіонуклідів в організм людини є:

рослина → людина; рослина → тварина → м'ясо → людина; рослина → тварина → молоко → людина; вода → гідробіонти → людина.

Забруднення харчової продукції сільського господарства може бути поверхневим та структурним.

Поверхнєве забруднення сільськогосподарських культур і тварин проходить, в основному, у весняно-літній період під час випадання радіоактивних опадів із хмари, а також при підйомі у повітрі радіоактивних речовин, що випали на ґрунт в процесі радіоактивного забруднення території аварійними викидами. При цьому нерозчинні продукти залишаються на поверхні рослин, а розчинні - в значній мірі поглинаються листям, плодами, стеблами.

При зберіганні готової продукції в упаковці і на складах забруднення її буде незначним.

Структурне забруднення сільськогосподарських культур проходить за рахунок усвоєння депонованих у ґрунті радіонуклідів через кореневу систему рослин.

Усвоєння радіонуклідів із ґрунту рослинами залежить від біологічної доступності (розчинності) радіонуклідів, ґрунтово-кліматичних умов і фізіологічних особливостей рослин.

За ступенем переходу в рослини радіонукліди можна розподілити в такий ряд: стронцій-90 > йод-131 > барій-140 > цезій-137 > рутеній-106 > церій-144 > цинк-45 > ніобій-95.

Високі коефіцієнти переходу характерні для піщаних та торфяно-болотистих ґрунтів.

За ступенем концентрації радіонуклідів рослинні продукти розподіляються наступним рядом: боби > картопля > овес > квасоля > гречка > пшениця > просо > ячмінь.

За таким же принципом тваринні продукти утворюють ряд: курятина > свинина > баранина > телятина.

Із продуктів тваринного походження критичними за надходженням радіонуклідів в організм є молоко і м'ясо, а рослинного походження - картопля.

### **Розподіл радіонуклідів у організмі**

По суті радіоактивні ізотопи розподіляються в організмі так, як і стабільні ізотопи хімічних елементів. На цих властивостях ґрунтується ряд методів радіонуклідної діагностики.

За характером розподілу радіонуклідів в організмі людини їх поділяють на дві групи:

радіонукліди, що рівномірно, або відносно рівномірно розподілені по всьому тілі людини - тритій, натрій-24, рубідій-86, ніобій-95, цирконій-95, цезій-134, цезій-137 та ін.;

радіонукліди, що вибірково або переважно накопичуються в окремих органах і тканинах (органотропні радіонукліди):

в щитовидній залозі (тіреотропні радіонукліди) - радіоізотопи йоду, найбільш вагомий серед яких є йод-131;

в скелеті (остеотропні радіонукліди) - фосфор-32, кальцій-45, стронцій-90, барій-140, плутоній-239 і ін.;

в печінці (гепатотропні радіонукліди) - марганець-54, церій-139, неодім-147 і ін.;

в нирках (ренотропні радіонукліди) - молібден-99, телур-121, телур-125м і ін.

За ступенем накопичення радіонуклідів основні органи і тканини розташовують наступним чином: щитовидна залоза > печінка > нирки > скелет > м'язи.

Слід визначити, що радіонукліди, з досить короткими періодами напіврозпаду, не встигають досягнути органу, де він переважно депонується. Швидко розпадаючись, вони реалізують дозу випромінювання на шляху до нього: це або в органі первинного проникнення, тобто в легенях, або шлунково-кишковому тракті, або в кровоносному чи лімфатичному руслах та ін. Через те при надходженні радіонуклідів різного віку розподіл і формування поглинутих доз в окремих органах (окрім скелету) іде неоднаково. Так, при надходженні "молодих" радіонуклідів дози формуються швидко: на протязі першої доби на 30-50%, а до кінця тижня - повністю. В скелеті дози формуються повільніше.

### **Шляхи виведення радіонуклідів із організму**

Швидкість виведення радіонуклідів із організму людини залежить від багатьох чинників, серед яких найбільше значення мають:

фізико-хімічний стан депонованих радіонуклідів;

обмін речовин в органах і тканинах основного їхнього депонування;

функціональний стан систем виділення.

Через легені і шкіру порівняно швидко виводяться такі газоподібні нукліди, як тритій, а також радіоізотопи інертних радіоактивних газів ксенону і криптону. Найбільша кількість радіонуклідів, що надходять в організм, особливо сполук, що важко розчиняються, виводяться через шлунково-кишковий тракт.

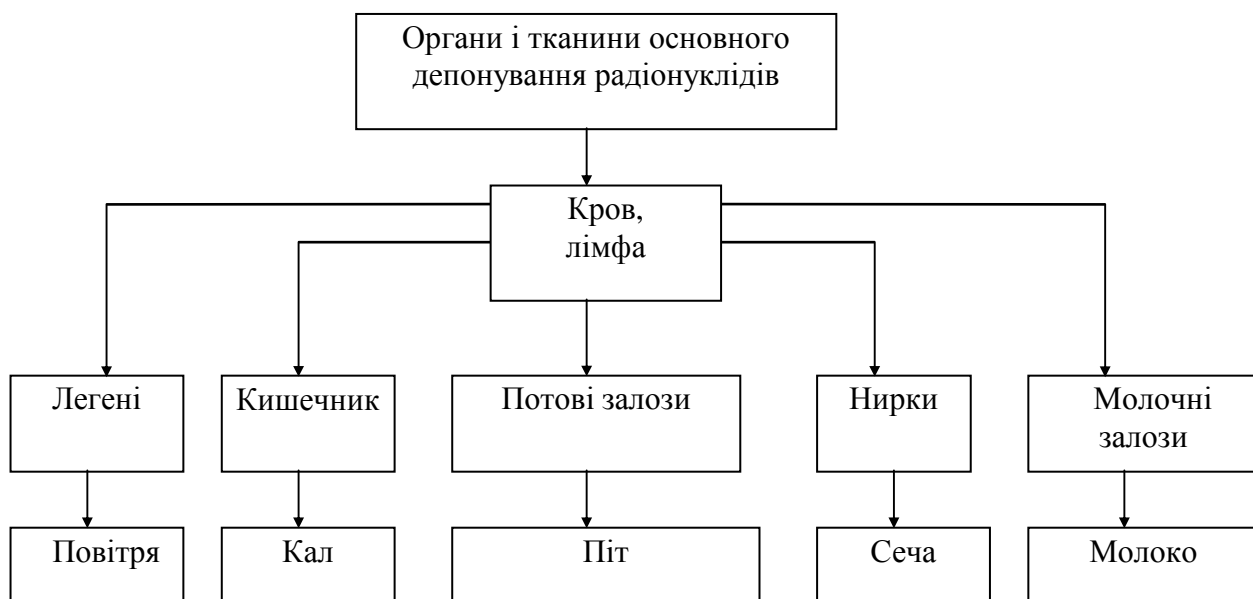
Сполуки тритію, натрію-24, йоду-131, цезію-137 і деяких інших радіонуклідів, що добре розчиняються, легко виводяться із організму через нирки, а також потові залози і з молоком. Вони добре виділяються і через слинні залози, а також через печінку (із жовччю), але надходять при цьому в шлунково-кишковий тракт. Ці ж радіонукліди, легко долаючи плацентарний бар'єр, надходять до організму плоду.

Таким чином, в результаті процесів обміну, радіонукліди, що надійшли в організм, поступово виводяться з нього.

Основні шляхи виведення радіонуклідів із організму показано на мал. 16.3.

Час, протягом якого з організму виводиться половина введеної кількості радіонуклідів, має назву біологічного періоду напіввиведення (Td)

Поряд з виведенням зменшення активності радіонукліду в організмі людини іде за рахунок радіоактивного розпаду, швидкість якого залежить від періоду напіврозпаду (Tф).



**Мал. 16.3 Основні шляхи виведення радіонуклідів з організму**

Час, протягом якого активність радіонукліду в організмі зменшується наполовину, одержав назву ефективного періоду напіввиведення ( $T_e$ ):

$$T_e = \frac{T_f * T_d}{T_f + T_d} ;$$

Як видно з таблиці 16.10, при виведенні короткоживучих радіонуклідів (наприклад, йоду-131) швидкість зниження активності органів і тканин  $T_e$  залежить від тривалості періоду напіврозпаду ( $T_f$ ), а при виведенні довгоживучих (наприклад, плутонію-239) - від біологічного періоду напіввиведення ( $T_d$ ).

Таблиця 16.10

**Періоди напіврозпаду ( $T_f$ ) та напіввиведення ( $T_d$  і  $T_e$ ) радіонуклідів із всього організму**

Радіонуклід	$T_f$	$T_d$	$T_e$
Стронцій - 90	29 років	13000 діб	5850 діб
Йод - 131	8 діб	138 діб	7,4 доби
Цезій - 137	30 років	70 діб	69,5 доби
Плутоній - 239	24000 років	65000 діб	654000 діб

За величиною поглинутої дози за рахунок внутрішнього спромінення органи складають, як правило, такий ряд: щитовидна залоза > органи дихання > ШКТ > печінка > нирки > скелет > м'язи.

Із збільшенням віку радіонукліди змінюють характер опромінення: зменшуються дози опромінення одних органів (наприклад, щитовидної залози) і збільшують дози опромінення інших органів (наприклад, скелету).

### **16.4.3 Особливості радіаційних уражень при надходженні радіонуклідів до організму**

Радіонукліди, що рівномірно розподіляються в організмі, складають, відносно, рівномірне променеве навантаження на все тіло. Через це ГПХ, в такому випадку, матиме клінічну картину, яка характерна для зовнішнього рівномірного опромінення всього тіла. Залежність ступеню важкості ГПХ від активності разового надходження суміші радіонуклідів (продуктів ядерного вибуху) у віці 0,5-10 діб показано в таблиці 16.11

Таблиця 16.11

#### **Залежність ступеню важкості ГПХ від активності радіонуклідів, що надійшли до організму**

Супінь ураження	Активність радіонуклідів, що надійшли в організм, мкКі
I (легкий)	15-60
II (середній)	60-120
III (важкий)	120-200
IV (вкрай важкий)	> 200

При інкорпорації радіонуклідів, які вибірково накопичуються в окремих органах і тканинах, має місце вкрай нерівномірне пролонговане опромінення організму. Поглинуті дози бета-випромінювання в окремих органах можуть відрізнятися в 100-1000 і більше разів.

Біологічна дія основних за сумарною активністю радіонуклідів, викинутих у навколишнє середовище внаслідок Чорнобильської катастрофи показана в таблиці 16.12.



**Біологічна дія основних за сумарною активністю радіонуклідів,  
викинутих у навколишнє середовище внаслідок Чорнобильської  
катастрофи**

[за НРБ 76/87; Козловим Ф.М., 1990]

Радіоактивні ізотопи	Хімічна характеристика	Тип випромінювання	Період напіврозпаду	Критичні органи	Органи депонування
I-131	галоген	$\gamma$ , ( $\beta$ )	8.04 доби	Все тіло: щитовидна, паращитовидна, шишковидна залози	Щитовидна залоза
Cs-137	аналог К	$\gamma$	30.17 років	Все тіло: легені	М'язи
Sr-90	аналог Са	$\beta$	29.12 років	Скелет, легені, нижній відділ товстого кишечника (НВТК)	Кістки (практично не виводиться)
Y-90	метал, лантаноїд	$\beta$	2.64 доби	Скелет, НВТК	-«-
Ce-144	-«-	$\gamma$ , $\beta$	284.3 доби	Все тіло: НВТК, скелет, легені	Печінка
Mo-99	токсичний метал, аналог Сг	$\beta$ , ( $\gamma$ )	2.75 доби	Нирки, НВТК	Нирки
Te-132	аналог S	$\gamma$	3.26 доби	НВТК	-
Ba-140	аналог Са	$\gamma$	12.7 діб	Все тіло: скелет, легені, НВТК	Кістки
Zr-95	метал, аналог Ті	$\gamma$ , $\beta$	64.05 доби	Все тіло: НВТК, скелет, легені	Все тіло, кістки
Ru-106	метал аналог Fe	$\gamma$ , ( $\beta$ )	368 діб	Все тіло: НВТК, легені	Все тіло
Ru-239-240	токсичний метал, трансуранид	$\beta$ , $\alpha$ , $\gamma$	тисячі років	Все тіло; скелет, печінка	Печінка, кістки, все тіло

					(практично не виводиться)
Am-241	--	$\beta, \alpha$	433 роки	Скелет, печінка	Печінка, кістки (практично не виводиться)
Xe-133	інертний газ	$\gamma, \beta$	5. 24 діб	Все тіло; шкіра, підшкірна клітковина	—
Kr-85	--	$\gamma, \beta$	64.05 доби	--	—

## 16.5 Характеристика аварій ядерних реакторів.

### 16.5.1 Характеристика аварій ядерних реакторів

У галузі радіаційної безпеки для позначення випадків, що пов'язані з переопроміненням людей, застосовуються два терміни: радіаційна і радіаційно-ядерна аварія.

Радіаційна аварія - це будь-яка незапланована подія на будь-якому об'єкті з радіаційною чи радіаційно-ядерною технологією, якщо при виникненні її виконуються дві необхідні і достатні умови:

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

Основними причинами радіаційних аварій є порушення технологічних регламентів і санітарних правил роботи з джерелами іонізуючих випромінювань.

Радіаційно-ядерна аварія є більш вузьким поняттям - це будь-яка незапланована подія на об'єкті з радіаційно-ядерною технологією, яка відбувається з одночасною втратою контролю над ланцюговою ядерною реакцією і виникненням реальної чи потенціальної загрози самочинної ланцюгової реакції.

Найбільш вірогідними причинами виникнення ядерних аварій є нехтування та порушення правил ядерної і радіаційної безпеки при монтажі, налазці, випробуваннях ядерних реакторів, зарядках і перезарядках активних зон, транспортуванні та зберіганні свіжого і відпрацьованого ядерного палива та деяких інших операціях.

**Класифікація аварій ядерних реакторів.** За імовірністю виникнення і наслідками аварії ядерних реакторів поділяться на проектні і запроектні. Проектні аварії - це передбачені ситуації, що відносно легко усуваються і не супроводжуються значним переопроміненням персоналу і окремих груп населення. Запроектні аварії, наприклад, ті, що приводять до повного розплавлення ядерного палива, можуть приводити до переопромінення персоналу та населення і значного забруднення навколишнього середовища.

За масштабами розповсюдження радіонуклідів прийнято розрізняти два типи аварій: промислову і комунальну. При промисловій радіаційній аварії радіаційні наслідки обмежені робочим приміщенням та територією об'єкту відповідно, і радіаційному впливу піддається, як правило, персонал ядерного об'єкту. Комунальна аварія характеризується розповсюдженням радіонуклідів за межі території об'єкту, що потребує проведення заходів з захисту не тільки персоналу, але і населення (таблиця 16.13).

## Класифікація аварій ядерних реакторів АЕС

№ п/п	Тип аварії	Дія радіоційних факторів	Вимагає радіоційного захисту
1.	Промислова	В межах території виробничих приміщень і промислового майданчика об'єкту	Персоналу об'єкту
2.	Комунальна	Росповсюджується за межі промислового майданчику та санітарно-захисної зони об'єкту	Персоналу об'єкту та населення
2.1	Локальна	Комунальна радіаційна аварія, якщо в зоні аварії проживає населення чисельністю до 10 тис. чоловік	Персоналу об'єкту та населення
2.2	Регіональна	Комунальна радіоційна аварія, зона якої поширюється на адміністративно-територіальну одиницю з чисельністю >10 тис. чол.	Персоналу об'єкту та населення
2.3	Глобальна	Комунальна радіоційна аварія, під вплив якої підпадає значна частина або вся територія країни та її населення	Персоналу об'єкту та населення
2.4	Транскордонна	Це така глобальна радіаційна аварія, коли зона аварії поширюється за межі державних кордонів країни, в якій вона відбулася	Персоналу об'єкту та населення

Для оцінки ситуацій, що можуть виникати при експлуатації ядерних реакторів, в багатьох країнах світу, в тому числі і в Україні, застосовується Міжнародна шкала подій на АЕС, котра була розроблена спеціалістами Міжнародного агенства з атомної енергії (МАГАТЕ). Суть цієї шкали полягає в тому, що за наслідками для оточуючого середовища (величина радіоактивного викиду по йоду-131) і населення (доза опромінення), а також для ядерного реактора і персоналу станції всі події на АЕС поділяються на 7 класів: 1-й - незначна подія; 2-й - подія середньої тяжкості; 3-й - серйозна

подія; 4-й - аварія в межах АЕС; 5-й - аварія з ризиком для оточуючого середовища; 6-й - тяжка аварія і 7-й - глобальна аварія.

Події I-го і 2-го класу не призводять до переопромінення як персоналу станції, так і населення. Події 3-го класу супроводжуються переопроміненням тільки персоналу станції, а події від 4-го до 7-го класу викликають переопромінення як персоналу станції, так і населення. За цією шкалою аварія на Чорнобильській АЕС відноситься до 7-го класу подій.

### 16.5.2 Характеристика фаз (етапів) розвитку ядерної аварії

Всім добре відомо, що будь-яка аварія складається з низки подій, які розвиваються за часом. У світовій практиці прийнято виділяти декілька періодів у розвитку ядерної аварії, які в публікаціях ізних міжнародних організацій називаються по-різному, але суть подій при цьому не змінюється (таблиця 16.14).

Таблиця 16.14

#### Характеристика розвитку ядерних аварій на АЕС за часом

Фази аварії /ВООЗ, 1981/	Етапи аварії /МКРЗ, 1984/	Фази аварії /МАГАТЕ, 1988/
Рання фаза Охоплює період від моменту загрози викиду до перших декількох годин після її початку.	Ранній етап	Рання фаза
Проміжна фаза Охоплює період від перших кількох годин до кількох діб після початку аварії. Припускається, що більша частина викиду вже відбулася і що радіоактивні речовини головним чином вже осіли на поверхні ґрунту.	Проміжний етап	Середня фаза
Пізня фаза Може тривати довго. Характеризується поступовою відміною заходів захисту, що були введені раніше, і прийняттям рішень, пов'язаних з поверненням до звичайного образу життя та діяльності.	Відновлюючий етап	Пізня фаза

Норми радіаційної безпеки України від 1997 року пропонують градацію подій у післяаварійний період.

Перша фаза аварії (рання або гостра) це фаза комунальної аварії тривалістю від декількох годин до одного - двох місяців після початку аварії, яка включає наступні події:

- а) газо-аерозольні викиди і рідинні скиди радіоактивного матеріалу із аварійного джерела;
- б) процеси повітряного переносу та інтенсивної міграції і радіонуклідів;
- в) радіоактивні опади і формування радіоактивного сліду.

В період ранньої фази аварії при наявності значних викидів радіоізотопів йоду виділяють йодний період аварії, на протязі якого існує серйозна загроза надходження в організм людини цих радіонуклідів

інгаляційно та з продуктами харчування і, як наслідок, опромінення щитовидної залози, особливо у дітей.

Друга фаза аварії - середня або стабілізаційна фаза комунальної аварії, яка починається через один-два місяці і завершується через 1-2 роки після початку радіаційної аварії, на якій відсутні (із-за радіоактивного розпаду) короткоживучі осколочні радіоізотопи телуру, йоду, барію і лантану, але у формуванні гамма-поля зростає роль цирконію ( $^{95}\text{Zr}$ ), ніобію ( $^{95}\text{Nb}$ ), ізотопів рутенію ( $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ), цезію, ( $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{136}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ). Основними джерелами внутрішнього опромінення на середній фазі аварії є радіоізотопи цезію ( $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{136}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ), і стронцію ( $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ), які надходять з продуктами харчування, виробленими на радіоактивно забруднених територіях.

Третя фаза аварії - це фаза комунальної аварії, що починається через 1-2 роки після початку аварії, коли основним джерелом зовнішнього опромінення є  $^{137}\text{Cs}$  у випадках на ґрунт, а внутрішнього -  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  в продуктах харчування, які виробляються на забруднених цими радіонуклідами територіях.

Аварія на IV енергоблоці Чорнобильської АЕС із руйнуванням активної зони реактора типу РБМК -1000, яка сталася вночі 26.04.1986 р., призвела до радіаційної екологічної катастрофи світового масштабу.

У квітні-травні 1986 р. зруйнований реактор викинув у повітря до 90 МкБк радіоактивності. 50% активності викиду склали інертні гази ( $\text{Xe-133}$  і  $\text{Kr-85}$ ), 8-11% радіойод ( $\text{I-131}$ ,  $\text{I-132}$ ,  $\text{I-133}$ ), 1-2% цезій ( $\text{Cs-137}$ ,  $\text{Cs-134}$ ), 0,2% стронцій ( $\text{Sr-90}$ ,  $\text{Sr-89}$ ) [Барьяхтар В.Г., 1995]. Хімічно пасивні інертні гази швидко розсіялися у атмосфері, не інкорпорууючись до організму людини, справили лише короткочасний радіаційний вплив.

Серед хімічно-активних радіонуклідів короткоживучі ізотопи ( $\text{I-131}$ ,  $\text{I-133}$ ,  $\text{Te-132}$ ,  $\text{Zr-95}$ ,  $\text{Ru-103}$ ,  $\text{Ba-140}$ ,  $\text{Np-239}$ ,  $\text{Mo-99}$ ,  $\text{Sr-89}$ ,  $\text{Y-91}$ ,  $\text{Ce-141}$  та інші) склали понад 80% активності викиду, середньоживучі ( $\text{Cs-134}$ ,  $\text{Ce-144}$ ,  $\text{Ru-106}$  та інші) - до 15%, довгоживучі ( $\text{Cs-137}$ ,  $\text{Sr-90}$ ,  $\text{Pu-238-242}$ ) - до 5%. Крім того була викинута значна кількість сполук стабільних ізотопів токсичних елементів ( $\text{Pb}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Ba}$ , інших).

Аерозольно-пилова радіоактивна хмара, яка утворилася внаслідок вибуху реактора, кілька разів облетіла земну кулю, заливши «плями» радіоактивних випадінь різної інтенсивності у багатьох країнах світу. Крім того, ще майже тиждень зі зруйнованого реактору витікав потужний струмінь газоподібних летючих і аерозольних продуктів, який, досягаючи висоти 1200 м (у перші 2-3 доби після аварії), поширювався дією вітру на сотні і тисячі кілометрів, поступово випадаючи і вимиваючись дощами, утворюючи характерні неперервні «сліди» і окремі «плями» радіоактивності.

За межами колишнього Радянського Союзу істотно радіоактивного забруднення (200 Бк/кв.м і більше) зазнали країни Східної Європи, Фінляндія, Швеція, Австрія, Північна Італія, Словенія, Македонія, Болгарія, східна частина Греції і західна частина Турції [Монин А.С., Шишков Ю.А., 1991].

Утворилося потужне поле радіоактивного забруднення (у межах колишнього Союзу - понад 150 тис.км<sup>2</sup> по ізолінії 0,05 мР/год на 10.06.1986).

Шляхи радіаційного впливу на конкретні категорії опромінюваних осіб залежать від фази (етапу) розвитку ядерної аварії. Знання цих шляхів дозволяє вірно визначити адекватні контрзаходи з метою радіаційного захисту.

**В ранній фазі або ранньому етапі розвитку ядерної аварії.** При аварії ядерного реактора з викидом в атмосферу радіоактивних речовин можливі наступні основні шляхи впливу радіаційних факторів на населення і особовий склад дислокованих в безпосередній близькості від місця аварії:

зовнішнє опромінення від радіоактивної хмари аварійного джерела;

зовнішнє опромінення від шлейфу випадінь з радіоактивної хмари;

вдихання радіонуклідів, які містяться у шлейфі;

інгаляційне надходження радіоіотопів йоду з продуктами харчування та питною водою;

поверхнє забруднення радіонуклідами шкіри, одягу та інших поверхонь;

зовнішнє опромінення від випадів радіонуклідів на ґрунт та інші поверхні;

інгаляційне надходження радіонуклідів за рахунок їх вторинного підняття з вітром;

споживання радіоактивних забруднених продуктів харчування та води.

На персонал аварійного об'єкту та осіб, які приймають участь у ліквідації наслідків аварії (в межах аварійного об'єкту) також можливе зовнішнє опромінення від зруйнованого або пошкодженого ядерного реактора та фрагментів активної зони, викинутих вибухом на майданчик станції, а також зовнішнє опромінення від факелу радіоактивного викиду.

## **16.6 Заходи радіаційного захисту.**

### **Критерії прийняття рішень.**

Протирадіаційний захист населення в умовах радіаційної аварії базується на системі протирадіаційних заходів (контрзаходів).

Всі захисні контрзаходи, які застосовуються в умовах радіаційної аварії, поділяються на прямі та непрямі.

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

До непрямих відносяться всі 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.

В залежності від масштабів і фаз радіаційної аварії, а також від рівнів прогнозних аварійних доз опромінення прями контрзаходи умовно поділяються на термінові, невідкладні та довгострокові.

Термінові - це такі контрзаходи, проведення яких має за мету відвернення таких рівнів доз гострого 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.

До прямих 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, тимчасова заборона вживання окремих продуктів харчування місцевого виробництва використання води з місцевих джерел.

До довгострокових контрзаходів, які можуть здійснюватись на ранній і на пізній фазах аварії, належать: тимчасове відселення населення, переселення (на постійне місце проживання), обмеження вживання радіоактивно забрудненої води і продуктів харчування, дезактивація територій, різноманітні сільськогосподарські контрзаходи.

Потенційні шляхи опромінення та відповідні контрзаходи в залежності від фази аварії приведені в таблиці 16.15



**Потенційні шляхи опромінення, фази аварії та контрзаходи**

Потенційні шляхи опромінення	Фаза аварії	Контрзахід*
Зовнішнє опромінення від радіоактивної хмари аварійного джерела (установки)	Рання	Укриття, евакуація, обмеження режиму поведінки
Зовнішнє опромінення від шлейфу радіоактивної хмари	Рання	Укриття, евакуація, обмеження режиму поведінки
Вдихання радіонуклідів, які містяться у шлейфі	Рання	Укриття, герметизація приміщень, відключення зовнішньої вентиляції
Надходження радіоізоотопів йоду інгаляційне, з продуктами харчування та питною водою	Рання	Укриття, обмеження режимів поведінки та харчування. Профілактика надходження радіоізоотопів йоду за допомогою препаратів стабільного йоду
Поверхнє забруднення радіонуклідами шкіри, одягу, інших поверхонь	Рання Середня	Евакуація Укриття. Обмеження режимів поведінки та харчування. Дезактивізація
Зовнішнє опромінення від випадів радіонуклідів на ґрунт та інші поверхні	Середня Пізня	Евакуація Тимчасове відселення. Переселення. Обмеження режимів поведінки та харчування. Дезактивація територій, будівель та споруд
Інгаляційне надходження радіонуклідів за рахунок їх вторинного підняття з вітром	Середня Пізня	Тимчасове відселення Переселення. Дезактивація територій, будівель та споруд.
Споживання радіоактивно забруднених продуктів харчування та води	Пізня	Сільськогосподарські та гідротехнічні контрзаходи

\*Радіаційний контроль об'єктів навколишнього середовища, продуктів харчування та питної води проводиться на всіх фазах аварії, але об'єм та

структура цього контролю визначається спеціальним методично-регламентуючим документом.

**Прийняття рішень про введення конкретних заходів радіаційного захисту** ґрунтується, з одного боку, на аналізі радіаційного стану та прогнозованих доз опромінення людей, а з другого боку - на врахуванні можливих наслідків для їх здоров'я, введення того чи іншого заходів захисту.

Доцільність введення конкретного заходу захисту визначається двома рівнями дози: нижнім, який не потребує обов'язкового введення заходів захисту, і верхнім, який потребує обов'язкового введення заходу захисту (таблиця 16.16).

Таблиця 16.16

**Дозові критерії для прийняття рішень по введенню заходів захисту при ядерних аваріях на АЕС**

Заходи захисту	Все тіло		Окремі органи	
	Нижній рівень	Верхній рівень	Нижній рівень	Верхній рівень
Рання фаза розвитку аварії / прогнозована доза за перші 10 діб від початку аварії, мЗв/				
1. Укриття, захист органів дихання та шкіряного покриву	5	50	50	500
2. Йодна профілактика				
- дорослих	—	—	50*	500*
- дітей та вагітних жінок	—	—	50*	250*
3. Евакуація				
- дорослих	50	500	500	5000
- дітей та вагітних жінок	10	50	200*	500*
Середня фаза розвитку аварії / прогнозована доза за перший рік від початку аварії, мЗв/				
1. Обмежене вживання забруднених продуктів харчування та питної води	5	50	50	500
2. Переселення та евакуація	50	500	Не встановлюються	Не встановлюються

\* - Тільки для щитовидної залози.

У пізній фазі розвитку аварії дозовими критеріями для прийняття рішень про введення заходів захисту є прогнозована доза опромінення в конкретних умовах проживання більше 1 мЗв за рік або 70 мЗв за все життя. Основним заходом захисту є переселення людей із забруднених радіонуклідами місцевостей у незабруднені з відшкодуванням відповідних збитків, що потребує великих економічних витрат.

### Регламентация радіаційного впливу на окремі категорії осіб, що опромінюються

Як зазначено в Нормах радіаційної безпеки /НРБ-97/ під час аварії точно передбачити потенційну дозу опромінення неможливо. Тому повинні бути використані всі практично можливі заходи, щоб знизити до мінімуму реальну дозу опромінення людей.

**Опромінення персоналу** при ліквідації наслідків радіаційної (ядерної) аварії обмежується дозами, які наведені в табл. 16.17

Таблиця  
16.17

#### Дози запланованого підвищеного опромінення всього тіла, для аварійного персоналу, котрий приймає участь в ліквідації наслідків радіаційної (ядерної) аварії (мЗв за календарний рік)

Скорочена назва нормативного документу, рік	За кожний окремий рік (за дозволом місцевої СЕС)	У виключних випадках з метою збереження життя людей
НРБ 76/87 СРСР, 1987	до 100	до 250
НРБ - 96 Росії, 1996	до 100	до 250
НРБ України, 1997	до 100	до 500

Примітка. Забороняється заплановане підвищене опромінення жінок, а також чоловіків віком до 30 років.

**Аварійне опромінення населення.** У разі виникнення радіаційної (ядерної) аварії Міністерством охорони здоров'я виходячи із її масштабів та характеру, встановлюються тимчасові основні дозові межі і допустимі рівні радіоактивного забруднення питної води, харчових продуктів, тощо.

За теперішнім часом (пізня фаза розвитку аварії) на Чорнобильській АЕС допустима доза опромінення населення складає 1 мЗв/рік. Допустимі рівні окремих радіонуклідів в питній воді та деяких харчових продуктах наведені в таблиці 16.18. В Україні використовуються ТДР-91, які були затверджені Міністерством охорони здоров'я СРСР.

**Допустимі рівні деяких радіонуклідів в питній воді  
та продуктах харчування (Бк/кг, Бк/л)**

Назва радіонукліду та продукту	Скорочена назва нормативного документу (країна)		
	ТДР - 91 /Україна/	РДР - 92 /Білорусь/	ТДР - 91 /Латвія, Литва, Естонія/
<b>ЦЕЗІЙ -137 I 134</b>			
1. Вода питна	18.5	18.5	18.5
2. Молоко та молокопродукти	370	111	250
3. Молоко сухе	1110	740	370
4. М'ясо та м'ясопродукти	740	600	370
5. Хліб та хлібопродукти	370	185	250
6. Картопля та корнеплоди	592	370	250
7. Овочі, фрукти, ягоди (свіжі)	592	185	250
8. Сухофрукти	2960	—	740
9. Гриби свіжі	1480	—	600
10. Гриби сушені	7400	3700	3700
11. Чай сухий	7400	—	1850
12. Лікарські рослини	7400	—	2590
13. Дитяче харчування всіх видів	185	37	—
<b>СТРОНЦІЙ - 90</b>			
1. Вода питна	3.7	0.37	3.7
2. Молоко	37	3.7	37
3. Молокопродукти	—	—	37
4. Хліб та хлібопродукти	37	3.7	37
5. Картопля	37	3.7	37
6. Дитяче харчування всіх видів	3.7	1.85	3.7

Для особового складу військ, які дислоковані на забруднених радіонуклідами територіях застосовуються такі ж допустимі рівні опромінення та радіоактивного забруднення, як і для населення.

### 16.7 Медичні наслідки ядерної аварії

Розглядаючи медичні наслідки ядерної аварії на ЧАЕС слід виділити, принаймі, 5 контингентів потерпілих, які суттєво відрізняються один від одного як за умовами, так і за рівнями опромінення. До них відносяться:

- персонал атомної електростанції;

- учасники ліквідації наслідків аварії (ліквідатори) 1986 р.;
- учасники ліквідації наслідків аварії (ліквідатори) 1987 р.;
- населення, що евакуйоване із 30-км зони та м. Прип'ять (евакуйовані);
- мешканці радіаційно забруднених територій.

**Аварійне опромінення персоналу Чорнобильської АЕС та пожежників.** На момент аварії, тобто в ніч з 25 на 26 квітня 1986 р., на першому, другому, третьому і четвертому енергоблоках перших двох черг ЧАЕС було 176 осіб експлуатаційного персоналу та персоналу допоміжних цехів і служб. Окрім цього на майданчику будівництва п'ятого і шостого енергоблоків (третья черга ЧАЕС) в нічну зміну працювало 268 будівельників та монтажників.

Дози аварійного опромінення персоналу АЕС і пожежників знаходились в діапазоні від 1 до 16 Гр.

Основними видами радіаційного впливу було короткочасове зовнішнє (загальне і контактне), внутрішнє та поєднане опромінення. У пожежників мала місце комбінована дія випромінювань та термічного фактору.

З приводу радіаційних уражень і опіків було госпіталізовано біля 300 осіб. У 145 розвинулась ГПХ різного ступеню тяжкості, у тому числі I ступеня тяжкості - у 43, II ступеня - у 61, III ступеня - у 21 і IV ступеня - у 20 осіб. На жаль, 28 потерпілим, які брали участь у ліквідації наслідків аварії в перші години, врятувати життя не вдалось.

**Опромінення учасників ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС (ліквідаторів) та евакуйованого населення.** Дані з опромінення цих контингентів наведені в таблиці 16.19, з якої видно, що найбільші дози опромінення отримали ліквідатори 1986 року.

Таблиця 16.19

**Середні індивідуальні та колективні ЕЕД опромінення ліквідаторів наслідків аварії на ЧАЕС і евакуйованих із 30-км зони та м. Прип'ять.**

Контингент	Чисельність контингенту осіб	Середні індивідуальні ЕЕД Зв /бер/	Колективні ЕЕД чол • Зв
Ліквідатори 1986 р.	130.000	0.2/20/	26.000
Ліквідатори 1987 р.	70.000	0.07/7/	4.900
Евакуйовані	130.000	0.014/1.4/	1.800

У ліквідаторів основними видами радіаційного впливу було короткочасове та пролонговане (фракціоноване) зовнішнє (загальне і контактне), внутрішнє та поєднане опромінювання, а у евакуйованого населення - короткочасове зовнішнє (загальне і контактне), внутрішнє та поєднане опромінення.

**Опромінення мешканців радіаційно забруднених територій.** В Україні на початок 1995 року до радіаційно забруднених територій було віднесено 12 областей (72 адміністративних району) з понад 2 тис. населених пунктів, де мешкає біля 2.4 млн. чол.

Хоча дози опромінення цього контингенту значно нижчі тих, які отримані розглянутими вище контингентами, проте вони коливаються в значно більших межах - від доз, що створюються природним радіаційним фоном, до декількох мЗв на рік.

Основу радіаційного впливу на організм (70-90% сумарної дози) складає внутрішнє опромінення зумовлене вживанням харчових продуктів з підвищеним вмістом радіонуклідів.

### **16.8 Характеристика вогнищ ураження при аваріях ядерних реакторів**

При аварії ядерних реакторів виникають вогнища радіоактивного ураження.

Вогнище радіоактивного ураження складається із зони аварії, яка являє собою ділянку території, де безпосередньо знаходиться зруйнований реактор та інші споруди, що зазнали пошкоджень від аварії і зон радіоактивного зараження місцевості (табл. 16.20).

Таблиця 16.20

#### **Характеристика зон радіоактивного зараження місцевості при аваріях ядерних реакторів АЕС**

Найменування зони	Індекс зони	Доза випромінювання за 1-й рік після аварії, рад			Потужність дози випр. через 1 год. після аварії рад/год	
		на зовнішній межі	на внутрішній межі	всередині зони	на зовнішній межі	на внутрішній межі
Радіаційної небезпеки	М	5	50	16	0.014	0.140
Помірного зараження	А	50	500	160	0.140	1.4
Сильного зараження	Б	500	1500	866	1.4	4.2
Небезпечного зараження	В	1500	5000	2740	4.2	14
Надзвичайно небезпечного зараження	Г	5000	—	9000	14	—

У межах зони "М" доцільно обмежене перебування особового складу, який не залучають безпосередньо до робіт з ліквідації наслідків радіаційної аварії.

При ліквідації наслідків аварії у всіх зонах виконуються основні заходи: радіаційний і дозиметричний контроль, захист органів дихання, профілактичне прийняття препаратів, які містять йод, санітарна обробка, дезактивація обмундирування, техніки.

У межах зони "А" необхідно намагатися до скорочення перебування особового складу на відкритій місцевості, доцільно здійснювати у броньованій техніці, особовий склад повинен застосовувати засоби захисту органів дихання та шкіри.

У зоні сильного радіоактивного зараження (зона "Б") особовий склад повинен діяти у броньованих об'єктах чи розміщатися в захисних спорудах.

У зоні небезпечного радіоактивного зараження (зона "В") дії ведуться тільки в сильно захищених броньованих об'єктах, час перебування особового складу в зоні обмежений декілька годинами. Аварійні та рятувальні роботи необхідно проводити із залученням радіаційно-стійкої спеціальної техніки.

У зоні надзвичайно небезпечного радіоактивного зараження (зона "Г") не слід допускати навіть короточасного перебування особового складу.

## **16.9 Оцінка радіаційної обстановки при аварії на АЕС**

Радіоактивні продукти, які визначають радіаційну обстановку в районі розміщення АЕС і в зонах радіоактивного зараження, чинять певний вплив на особовий склад, режим проживання населення і проведення аварійно-рятувальних робіт.

Оцінка радіаційної обстановки здійснюється з метою визначення впливу радіоактивного зараження місцевості (атмосфери) на особовий склад чи обґрунтування оптимальних режимів його діяльності.

### **Завдання, які вирішуються під час оцінки радіаційної обстановки**

При оцінці радіаційної обстановки вирішуються наступні завдання:

визначення дози опромінювання при дії (розсташуванні) на зараженій місцевості;

визначення дози опромінення при подоланні зон радіоактивного зараження;

визначення допустимого терміну перебування на зараженій місцевості;

визначення допустимого часу початку входу (початок дій) на зараженій місцевості;

визначення допустимого часу подолання заражених ділянок маршруту руху.

При вирішенні завдань з оцінки радіаційної обстановки оцінюють наслідки радіаційних уражень в таких трьох напрямках:

радіаційні втрати особового складу в результаті зовнішнього опромінення (від хмари, яка проходить і зараженої місцевості);

радіаційні втрати в результаті аплікації зараженого обмундирування;

радіаційні втрати в результаті комбінованої дії радіоактивних речовин (зовнішнє опромінення і внутрішнє надходження).

Для рішення завдань з радіаційної обстановки необхідно зібрати вихідні дані.

Вихідні дані за параметрами радіоактивного зараження атмосфери і місцевості при аваріях реакторів АЕС типу РВПК-1000 і ВВЕР-1000 характеризується наступним:

- миттєвим викидом частини радіоактивних продуктів в момент руйнування корпусу реактора і подальше їх витікання протягом 10 діб;

- частка радіоактивних продуктів, які надходять в атмосферу при миттєвому викиді і подальшим їх витіканням, відповідно 25% і 75% для РВПК-1000 та 75% і 25% - для ВВЕР-1000 (відсоток від загальної активності радіоактивних продуктів, викинутих із реактора);

- висота центру миттєвого викиду і розповсюдження активної хмари 1 км, а радіоактивного потоку, який формується при витіканні продуктів із реактора - 200 м.

### **16.10 Організація надання медичної допомоги при радіаційних аваріях**

Надання медичної допомоги особам, які потерпіли при радіаційних аваріях включає: долікарську допомогу; лікарську медичну допомогу; кваліфіковане (спеціалізоване) медичне обстеження і лікування в повному обсязі у гострий період; подальше динамічне медичне спостереження в окремі терміни після аварії; проведення загальних і спеціальних лікувально-профілактичних і оздоровчих заходів; військово-лікарську експертизу.

Медичному обстеженню підлягають потерпілі при опроміненні в дозах, які перевищують:

0,25 Гр (25 рад) загального одноразового зовнішнього рівномірного чи нерівномірного опромінення;

1,5-3,0 Гр (150-300 рад) локального одноразового опромінення;

при перевищенні річного гранично-допустимого надходження радіонуклідів у короткий час.

Медичне обстеження і медичне спостереження можуть проводитись як у стаціонарі, так і амбулаторно. При дозах, які не перевищують 0,5 Гр загального зовнішнього опромінення чи 3 Гр локального опромінення, медичне обстеження проводиться, як правило в амбулаторних умовах.

Долікарська і лікарська допомога надається потерпілим при гострому отруєнні радіонуклідами і одноразовому зовнішньому опроміненні в дозах, які перевищують 1 Гр загального і 10 Гр локального опромінення. Потерпілий з ознаками гострої променевої хвороби через 1-3 години госпіталізується для проведення медичного обстеження і лікування в повному обсязі. Таким



потерпілим допомога надається на етапі кваліфікованої чи спеціалізованої медичної допомоги, в залежності від ступеня важкості ураження.