

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Кафедра екології та природозахисних технологій

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

зі спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього  
середовища»

Тема роботи: «Технології зберігання та утилізації радіоактивних  
відходів АЕС»

Виконав:  
студент Мосійчук Р.А.

Керівник:  
старший викладач Батальцев Є.В.

Залікова книжка  
№ 19510080

Підпис: \_\_\_\_\_  
дата, підпис

Підпис: \_\_\_\_\_

Консультант з охорони праці:  
доцент Васькін Р.А.

Підпис: \_\_\_\_\_  
дата, підпис

Захищена з оцінкою  
\_\_\_\_\_  
оцінка, дата

Секретар ЕК  
старший викладач Батальцев Є.В.

Суми 2023

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій  
Кафедра екології та природозахисних технологій  
Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього  
середовища»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедрою \_\_\_\_\_

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Студентові \_\_\_\_\_ Мосійчуку Р.А.

Група ТС-91/1

1. Тема кваліфікаційної роботи: Технології зберігання та утилізації радіоактивних відходів АЕС.
2. Вихідні дані: Вихідні дані наукометричної бази даних Scopus, технічні звіти, статистичні дані Державної служби статистики України, вітчизняні та закордонні патенти бази.
3. Перелік обов'язкового графічного матеріалу:
  1. Загальна схема міграції радіоактивних речовин у навколишньому середовищі.
  2. Схема захоронення за глибиною.
  3. Планування концепції KBS-3 в кристалічних породах.
  4. Планування концепції СІGЕО шахтного захоронення в глиняних формаціях.
  5. Схема процесу розсіювання РАВ.
  6. Схема термічного методу переробки радіоактивних відходів.
  7. Схема сорбційного методу переробки радіоактивних відходів.
  8. Схема мембранного методу переробки рідких радіоактивних відходів.

4. Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

№	Етапи і розділи проектування	ТИЖНІ					
		1	2	3	4	5	6
1	Літературний огляд	+	+				
2	Аналіз проблеми			+			
3	Оброблення результатів				+		
4	Розділ з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях					+	
5	Оформлення роботи						+

Дата видачі завдання: 30.03.2023

Керівник:

старший викладач, к.т.н. Батальцев С.В.

## РЕФЕРАТ

*Структура та обсяг випускної кваліфікаційної роботи бакалавра.* Робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг бакалаврської роботи становить 61 с., у тому числі 8 рисунків, список використаних джерел, який містить 38 найменувань та 4 сторінках.

*Мета роботи* – дослідити та проаналізувати сучасні технології зберігання та утилізації радіоактивних відходів атомних електростанцій з метою встановлення оптимальних способів їхньої обробки та зменшення негативного впливу на довкілля.

*Для досягнення поставленої мети потрібно виконати наступні завдання:*

- проаналізувати основні види радіоактивних відходів, їхні характеристики та джерела виникнення;
- вивчити основні принципи зберігання та утилізації радіоактивних відходів, включаючи методи використання, переробки та знешкодження;
- розглянути сучасні технології зберігання та утилізації радіоактивних відходів, їх переваги та недоліки;
- оцінити ефективність різних методів утилізації та зберігання радіоактивних відходів.

*Об'єкт дослідження* – радіоактивні відходи атомних електростанцій.

*Предмет дослідження* – сучасні технології зберігання та утилізації радіоактивних відходів на атомних електростанціях.

У кваліфікаційній роботі надана характеристика основних видів радіаційних відходів та джерела їх утворення. Наведена інформація про принципи зберігання та утилізації радіоактивних відходів, включаючи методи використання, переробки та знешкодження. Була проведена оцінка різних методів утилізації відходів та створена таблиця, яка дозволяє обрати найбільш ефективний метод утилізації для певних видів радіаційних відходів.

Ключові слова: РАДІАКТИВНІ ВІДХОДИ, МЕТОДИ УТИЛІЗАЦІЇ РАВ, ЗАХОРОНЕННЯ РАДІАКТИВНИХ ВІДХОДІВ

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 РАДІОАКТИВНІ ВІДХОДИ АЕС: ВИДИ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ...	7
1.1 Класифікація радіоактивних відходів.....	8
1.2 Фізичні та хімічні властивості радіоактивних матеріалів .....	9
1.3 Основні джерела радіоактивних викидів .....	11
1.4 Вплив на навколишнє середовище радіоактивних речовин.....	14
РОЗДІЛ 2 СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБЕРІГАННЯ РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ АЕС.....	19
2.1 Методи та місця зберігання радіоактивних відходів .....	20
2.2 Технології пакування та маркування радіоактивних відходів.....	21
2.4 Захоронення радіоактивних відходів.....	26
РОЗДІЛ 3 СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ АЕС .....	32
3.1 Методи утилізації радіоактивних відходів.....	32
3.2 Оцінка ефективності методів утилізації .....	43
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	48
4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів при роботі атомних електростанцій.....	48
4.2 Законодавчі акти, що регулюють питання безпеки на підприємствах.....	49
4.3 Техніка безпеки при вході в небезпечні зони та процедури реагування на надзвичайні ситуації.....	49
ВИСНОВКИ.....	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	54
ДОДАТКИ.....	58
Додаток А.....	58
Додаток Б.....	60

Підп. і дата					ТС 19510080			
	Взаєм.інв.№							
Підп. і дата	Інв.№дубл.				Технології зберігання та утилізації радіоактивних відходів АЕС	Літ.	Аркуш	Аркушів
	Вип	Арк	№ докум.	Підп.		Дата		4
Інв.№попід.	Розроб.	Мосійчк			СумДУ, ф-т ТеСЕТ гр. ТС-91/1			
	Перев.	Батальцев						
	Н.Контр	Батальцев						
	Затв.	Пляцук						

## ВСТУП

На сьогоднішній день зросла кількість радіоактивних відходів, які потребують спеціального зберігання та утилізації. Це на пряму пов'язано з введенням енергоефективних технологій.

Відходи від АЕС мають дуже високу радіоактивність, що негативно впливає на стан здоров'я людини, а також на навколишнє середовище. Саме тому, їх утилізація має бути ефективною та детально спланованою. Усі методи утилізації мають як переваги, так і вади. Існують багато видів утилізації радіаційних відходів, основні з яких – окиснення, плавлення, термічна обробка, цементування та інші.

Всі організації, які мають справу з радіоактивними відходами повинні мати ефективний метод їх зберігання, бо такі відходи можуть нести загрозу протягом довгого часу, а також не можуть бути нагально утилізовані. Процес їх зберігання повинен постійно бути під контролем задля безпеки людей та навколишнього середовища.

Радіоактивні відходи – це відходи, в яких радіонукліди перевищують межі, котрі встановлені нормами радіаційної безпеки.

При потраплянні їх до навколишнього середовища вони спричиняють загрозу для здоров'я людей та простору в цілому. РАВ можуть мати різний агрегатний стан. Вони можуть бути різними за складом випромінювання, питомою активністю, періодами напіврозпаду, агрегатним станом тощо.

Наразі рідкі радіоактивні відходи являються більш розповсюдженими; вони формуються на радіохімічних заводах, атомних електростанціях та дослідницьких центрах.

Мета дипломної роботи – дослідити та проаналізувати сучасні технології зберігання та утилізації радіоактивних відходів атомних електростанцій з метою

Інв. № докл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № доубл.	Підп. і дата

											ТС 19510080	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата								5

встановлення оптимальних способів їхньої обробки та зменшення негативного впливу на довкілля.

Завдання дипломної роботи:

- проаналізувати основні види радіоактивних відходів, їхні характеристики та джерела виникнення;
- вивчити основні принципи зберігання та утилізації радіоактивних відходів, включаючи методи використання, переробки та знешкодження;
- розглянути сучасні технології зберігання та утилізації радіоактивних відходів, їх переваги та недоліки;
- оцінити ефективність різних методів утилізації та зберігання радіоактивних відходів.

Об'єкт дослідження – радіоактивні відходи атомних електростанцій.

Предмет дослідження – сучасні технології зберігання та утилізації радіоактивних відходів на атомних електростанціях.

Методи дослідження:

1. Аналіз наукової літератури: проведення аналізу наукових джерел, що пов'язані з технологіями зберігання та утилізації радіоактивних відходів АЕС, з метою визначення актуальних проблем, технологій та підходів.

2. Експертні оцінки: вивчення думок та оцінок експертів з питань зберігання та утилізації радіоактивних відходів АЕС, що дозволяє визначити найбільш перспективні напрямки дослідження.

Інв. № покл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ТС 19510080					Арк
					Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	6

## РОЗДІЛ 1 РАДІОАКТИВНІ ВІДХОДИ АЕС: ВИДИ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ

Найважливішою у промисловому використанні ядерної енергії являється проблема поводження з радіоактивними відходами. Атомна енергетика відрізняється від інших джерел отримання енергії тим, що має шкідливий радіаційний фон відходів. І при цьому вони утворюються на всіх етапах ядерно-паливного циклу.

Усі матеріальні точки та субстанції в яких перевищено рівень радіонуклідів відносяться до радіоактивних відходів (РАВ).

Саме ці радіонукліди, що містяться у відходах можуть критично впливати на здоров'я людини та довкілля через розсіювання в біосфері виділяючи радіацію.

РАВ – можуть бути газами, розчинами, матеріалами чи виробами, тобто можуть мати різний агрегатний стан. Найбільш поширеними визнані рідкі радіоактивні відходи. Вони формуються на атомних електростанціях, радіохімічних заводах та у дослідницьких центрах.

Тверді РАВ також накопичуються у великій кількості, особливо:

- в реакторах АЕС загальною електричною потужністю 1 ГВт за рік утворюються 300 – 500 м<sup>3</sup> твердих відходів
- від переробки опроміненого палива утворюється, ще 10 м<sup>3</sup> високоактивних РАВ від переробки опроміненого палива
- від переробки палива утворюється 130 м<sup>3</sup> відходів низької активності та 40 м<sup>3</sup> середньої [1,2].

Інв. №поділ.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата

										ТС 19510080	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата							7

## 1.1 Класифікація радіоактивних відходів

Міжнародного агентства з атомної енергії (МАГАТЕ) розробили спеціальні норми та стандарти, щодо правил поведінки з утвореними радіаційними відходами. Основою національних норм стали рекомендації надані Міжнародної комісії з радіологічного захисту (МКРЗ) після численних комісій та досліджень. У таблицях А.1 – А.4 (Додаток А) наведені загально прийняті класифікації РАВ в Україні.

Для поділення РАВ на різні типи використовують багато підходів, один з яких розподілення радіоактивних відходів відповідно до можливості та безпеки при захороненні їх в при поверхневих сховищах, чи навпаки відповідно до необхідності поховання відходів у стабільніших геологічних прошарках та формаціях. За цим критерієм радіаційні відходи поділяються на короткоживучі та довгоживучі.

Основна відмінні між короткоживучими та довгоживучими РАВ полягає в терміні нагляду за станом захоронення. Для короткоживучих РАВ – цей термін закінчується раніше ніж через 300 років, після цього періоду зупиняють моніторинг ділянки схрону. Для довгоживучих РАВ цей термін сягає 300 років та більше (для високоактивних РАВ) [3,4].

Усі РАВ класифікують на чотири групи за «рівнем вилучення», що встановлений для різних груп радіонуклідів.

Наприклад, у категорії гамма-випромінюючих РАВ (з невідомою питомою активністю) використовується систематизація, яка підрозділяє їх на низько-, середньої високоактивні за поглинанням потужності.

Майже в усіх країнах, в яких є атомні електростанції наразі фіксується високий рівень РАВ. Під час їх переробки виникає багато проблем, а саме, з радіаційною а також екологічною небезпекою переробки високоактивних відходів.

	Підп. і дата
	Інв. № дубл.
	Взаєм. інв. №
	Підп. і дата
	Інв. № подл.

ТС 19510080

Арк

8



І високоактивні РАВ від паливної переробки включають в себе радіонукліди, які здобуті шляхом проходження ядерних реакцій. Такі, як продукти поділу і трансуранові елементи (ТУЕ), які утворюються з атомів  $^{238}\text{U}$  в активній зоні ядерного реактора, під час вбирання ними нейтронів з подальшим  $\beta$ -розпадом.

Такі високоактивні відходи становлять лише 3% від загальної кількості РАВ у світі, проте, вони охоплюють до 95% всієї активності. Через велику кількість тепловиділення радіоактивні відходи також потребують додаткових заходів для їх зберігання та захоронення (додаток А, таблиці А.1 – А.4).

Склад РАВ дуже складний та змішаний. Поділ радіонуклідних продуктів залежить від багатьох факторів, таких як показник опромінення відходів, вигоряння, загальної динамічної рівноваги та швидкості  $\alpha$ -розпаду. Ускладнює подальшу утилізацію РАВ, те що при зберіганні до відходів потрапляють продукти корозії контейнерів відпрацьованого палива, частини обладнання, додаткові реагенти, а також трансуранові хімічні елементи, такі як – ізотопи урану, плутонію, нептунію, америцію та інші [36, 37].

## 1.2 Фізичні та хімічні властивості радіоактивних матеріалів

Радіоактивні матеріали відрізняються від звичайних за фізичними та хімічними властивостями.

Фізичні властивості РАВ:

- радіоактивні матеріали мають стійкість, що визначається їх періодом напіврозпаду. Тобто, через деякий час обсяг радіоактивного матеріалу зменшиться на 50%;
- радіоактивні матеріали можуть відрізнятися густиною, кольором, текстурою, що залежить від їх форми та хімічного складу;

Інв. №поділ.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата
--------------	--------------	---------------	-------------	--------------

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 19510080	Арк
						9

– Радіоактивні матеріали виділяють енергію в формі радіації, що може бути електромагнітною (наприклад, гамма-випромінювання) або частковою (наприклад, альфа-, бета-, нейтронна радіація).

Основні хімічні властивості радіоактивних матеріалів:

1. Реактивність: Деякі радіоактивні матеріали можуть мати високу реактивність, тобто вони можуть здійснювати хімічні реакції з іншими речовинами. Наприклад, плутоній може реагувати з киснем і водою, що призводить до утворення оксидів.

2. Розчинність: Радіоактивні матеріали можуть бути розчинними або нерозчинними у різних розчинниках в залежності від їх хімічної природи та форми. Наприклад, уран може бути розчинним у розчинниках, що містять кислоти або луги, тоді як плутоній може бути нерозчинним у воді, але розчиняється у нітратному розчиннику.

3. Кислотність та лужність: Деякі радіоактивні матеріали можуть бути кислотними або лужними в залежності від їх хімічного складу та взаємодії з розчинниками. Наприклад, радій має високу лужність, тоді як кобальт може бути кислотним.

4. Токсичність: Більшість радіоактивних матеріалів є токсичними та шкідливими для живих організмів. Наприклад, іонізуюча радіація може пошкоджувати клітини тіла, що може призводити до різних захворювань та патологічних станів.

5. Розпад: Радіоактивні матеріали мають властивість радіоактивного розпаду, що означає, що вони розпадаються на більш стабільні речовини і випускають радіацію під час цього процесу. Відповідно, хімічні властивості радіоактивних матеріалів можуть змінюватися в процесі радіоактивного розпаду, що потрібно враховувати при зберіганні та переробці радіоактивних відходів.

Підсумовуючи, радіоактивні речовини мають особливі фізичні та хімічні властивості, які напряму пов'язані з їх структурою і властивостями ядер та електронних оболонок.

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№поодл.	

										ТС 19510080	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата							10

Завдяки цим властивостям можна визначити поведження радіоактивних матеріалів в різному оточенні. Це грає важливу роль у їх зберіганні, використанні та переробці. Не менш важливо, дотримуватися правил під час роботи з радіоактивними матеріалами для збереження безпеки від впливу радіації.

### 1.3 Основні джерела радіоактивних викидів

Науковці виділяють шість основних джерел радіоактивного забруднення навколишнього середовища.

1. Викиди теплоелектростанцій, що включають в себе природні радіоактивні ізотопи, які мігрують в навколишнє середовище.

2. Штучні радіоактивні ізотопи випробувань, а також використання ядерної зброї. Нажаль, до сих під підпільне тестування та розроблення ядерної зброї проводиться різними країнами.

3. Природні радіоактивні ізотопи радіоактивних і нерадіоактивних елементів, які ескортуються в доквілля при видобутку корисних копалин з товщини земної кори.

4. Аварії на підприємствах ядерного паливного циклу.

5. Підприємства ядерного паливного циклу, перші етапи якого (видобуток урану, збагачення енергоємного ізотопу, виготовлення твелів) є джерелами природних радіоактивних ізотопів, а подальші (робота атомних електростанцій, захоронення радіоактивних відходів та їх переробка) – джерелами штучних радіоактивних ізотопів.

6. Побутові інциденти з радіоактивними, в основному, штучними джерелами іонізуючих випромінювання.

Основними природними дозоутворювачами радіаційного фону для людини та інших живих організмів є наступні ізотопи – U, Th, Rn, Ra, Po, а також ізотопи елементів, які не є радіаційними, але приймають участь в утворенні радіаційного фону, а саме –  $^{40}\text{K}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^3\text{H}$ . Найрозповсюдженими ізотопами штучного

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

										ТС 19510080	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата							11

походження є  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{131}\text{I}$ , а також представники трансуранових хімічних елементів –  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ .

Основні джерела надходження радіоактивних речовин в атмосферу. До чотирьох основних джерел надходження різних природних радіонуклідів в атмосферу належать:

1. Вплив космічного випромінювання, так званих – космогенних радіонуклідів, які утворюються в атмосфері під впливом іонізуючого випромінювання з космосу. Дозоутворюючі радіонукліди цього виду представлені елементами –  $^3\text{H}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{28}\text{Mg}$ ,  $^{32}\text{P}$ ,  $^{35}\text{S}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ .

2. Продукти розпаду, ізотопи радону ( $^{222}\text{Rn}$  – радон,  $^{220}\text{Rn}$  – торон,  $^{219}\text{Rn}$  – актинон та  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Bi}$ ). Основним джерелом надходження є літосфера, з якої в атмосферу просочуються радіонукліди.

3. Викиди теплоелектростанцій та інших підприємств, що спалюють органічні паливні матеріали – деревину, вугілля, нафту, газ та інше (основні дозоутворюючі радіонукліди –  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{32}\text{P}$ ,  $^{35}\text{S}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{48}\text{Ca}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{238}\text{U}$ ).

4. Пилова хмара, з поверхні землі в місцях видобутку різних корисних копалин. В таких пилових хмарах можуть міститися частинки радіоактивних руд та інші елементи. Особливо під час пилових бурь до атмосфери з поверхні ґрунтів здіймаються тони земляних мас, які можуть бути насиченими дозоутворюючими радіонуклідами. Наприклад,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{48}\text{Ca}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$ .

Виділяють три основних джерела надходження штучних радіоактивних ізоотопів в атмосферу:

1. Аварійні викиди на підприємствах ядерного паливного циклу. Найбільше прецедентів аварій на всьому ядерному циклі було зафіксовано саме на території атомних станцій.

2. Випробування різних видів атомної зброї в різних оболонках атмосфери Землі (тропосфері, стратосфері та навіть в космосі).

3. Штатні та позаштатні викиди радіонуклідів ядерними реакторами.

Підп. і дата
Інв. № доubl.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. № доubl.

Майже в усіх випадках штучного надходження ізотопів в атмосферу відбувається процес розподілу ядер елементів  $^{235}\text{U}$  та  $^{239}\text{Pu}$  на сотні різних видів радіоактивних ізотопів. Переважна кількість яких належить до короткоживучих радіонуклідів. Але при цьому головними дозоутворюючими радіонуклідами стають саме довгоживучі  $^{90}\text{Sr}$  і  $^{137}\text{Cs}$  (період піврозпаду – 29 – 30 років).

Серед основних джерел первинного забруднення ґрунту РАВ можна виділити наступні:

1. Видобуток корисних копалин, під час якого відбувається вивільнення радіоактивних ізотопів з глибин земної кори.
2. Будь-який етап роботи ядерного паливного циклу (ЯПЦ) супроводжується виділенням ізотопів. В особливості такі процеси ЯПЦ, як збагачення основного енергетичного ізотопу –  $^{235}\text{U}$ , виготовлення та виймання твелів, штатні викиди АЕС та викиди при захороненні та транспортуванні відпрацьованих РАВ.
3. Осадження космогенних радіонуклідів на поверхні планети.
4. Побутові інциденти з радіоактивними природними і штучними джерелами іонізуючих випромінювання.
5. Утворення та осідання радіоактивних речовин під час роботи ТЕС і ТЕЦ.
6. Забруднення ґрунту від багаторічних випробувань ядерної зброї.
7. Аварійні ситуації на підприємствах ЯПЦ (дозоутворюючий викид – довгоживучі ізотопи). Аварії на ЯПЦ можуть стати й джерелом вторинного забруднення земель, через міграцію радіоактивних ізотопів через стічні води та вітер.

Існують наступні шляхи надходження радіоактивних речовин у водойми.

Основні первинні джерела надходження РАВ:

- розчинення у водоймах радіоактивних елементів та ізотопів земної кори.
- аеральне – випадіння радіоактивних ізотопів, як природних, так і штучних, з атмосфери на дзеркало водойм.

Вторинні засмічення водойм РАВ відбувається через:

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№поодл.	

								ТС 19510080	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата					13

- вітрові підйоми, а також перенесення радіоактивного пилю на дзеркало водойм;
- змив радіоактивних відходів під час повенів з берегів, які забруднені радіонуклідами;
- перенос радіонуклідів річними потоками води;
- змив радіоактивних відходів в процесі дощів, паводків, сніготанень з територій водозборів.

Радіоактивність гідросфери утворюється завдяки природним радіонуклідам, які в свою чергу насуються у водні екосистеми з земної кори, а також з атмосфери через забруднення внаслідок діяльності людей (викид в оточення радіоактивні відходи, випробовування ядерної зброї, опрацювання радіоактивних руд та під час аварійних ситуацій на підприємствах ЯПЦ).

У відкриті водойми природні радіонукліди надходять з повітря під час взаємодії космогенних радіонуклідів (ядра вогню, кисню, аргону, азоту тощо) з космічним випромінюванням. Представниками космогенних радіонуклідів, які можуть потрапити на поверхню водойм з атмосферними опадами, є  $^3\text{H}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{26}\text{Al}$ ,  $^{32}\text{P}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ .

#### 1.4 Вплив на навколишнє середовище радіоактивних речовин

На сьогоднішній день в усіх АЕС передбачено захист людей від загрози раптових випромінювань. Завдяки заходам та системам безпеки запроваджених для захисту, рівень РАВ на атомних електростанціях буде зменшуватись.

На всіх об'єктах атомної енергетики реалізується широкий комплекс технічних і організаційних заходів, які направлені на зниження негативного впливу радіації як на людину так і на оточуюче середовище.

Реалізація заходів виглядає так:

Інв. №подл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата	ТС 19510080				Арк
					Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

- застосування технологічних засобів, високої надійності та впровадження системи контролю та управління за радіаційною безпекою, що будується по принципу резервування та здійснення усіх технічних процесів;
- здійснення обов'язкового очищення скидів та викидів, котрі мають високий рівень забрудненості у навколишнього середовище;
- обов'язкове передбачене забезпечення запобіжних мір під час природніх та техногенних впливах 1 раз в 10000 років;
- створення бар'єрного захисту там, де більш за все поширені радіоактивні речовини;
- здійснення контролю за цим захистом та розробка нових превентивних технологій;
- забезпечення нормальної експлуатації, впровадження систем безпеки, а також спеціальних технічних систем, сфокусованих на знищенні аварій та гарантування захисту, без участі персоналу;
- виконання технічних рішень, метою яких являється зменшення РАВ та покращення порядків очищення забруднених радіацією середовищ, а також повернути їх в технологічний процес.

Існують певні спеціальні протоколи аналізу безпеки, які входять до складу проектів АЕС. Вони створені на основі нинішніх методик аналізу, які в свою чергу ґрунтуються на дотриманні та виконанні вимог усіх нормативних документах. Такі проекти повинні бути задіяні на усіх АЕС.

Радіоактивні викиди в повітря можуть бути аерозольними та газовими за агрегатним станом. Рідкі РАВ можуть бути розчинами чи дрібнодисперсними сумішами.

Під час роботи АЕС можуть бути викиди гарячої води в атмосферу. Через це вже в навколишньому середовищі відбувається розподіл на воду та пар. Такі викиди вважаються:

- аварійними, тобто які відбулися зненацька та мають несподівані наслідки;

Інв. №подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата
-------------	--------------	---------------	-------------	--------------

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 19510080	Арк
						15

– періодичними чи постійними, вони є контрольованими персоналом та робітниками.

Радіоактивні речовини та елементи мають змогу поширюватися в оточенні, потрапляти до людського організму та до організму тварин, а також впливати на рослини. На рисунку 1.1 представлена схема впливу радіоактивних відходів та їх поширення в навколишньому середовищі [3,4].

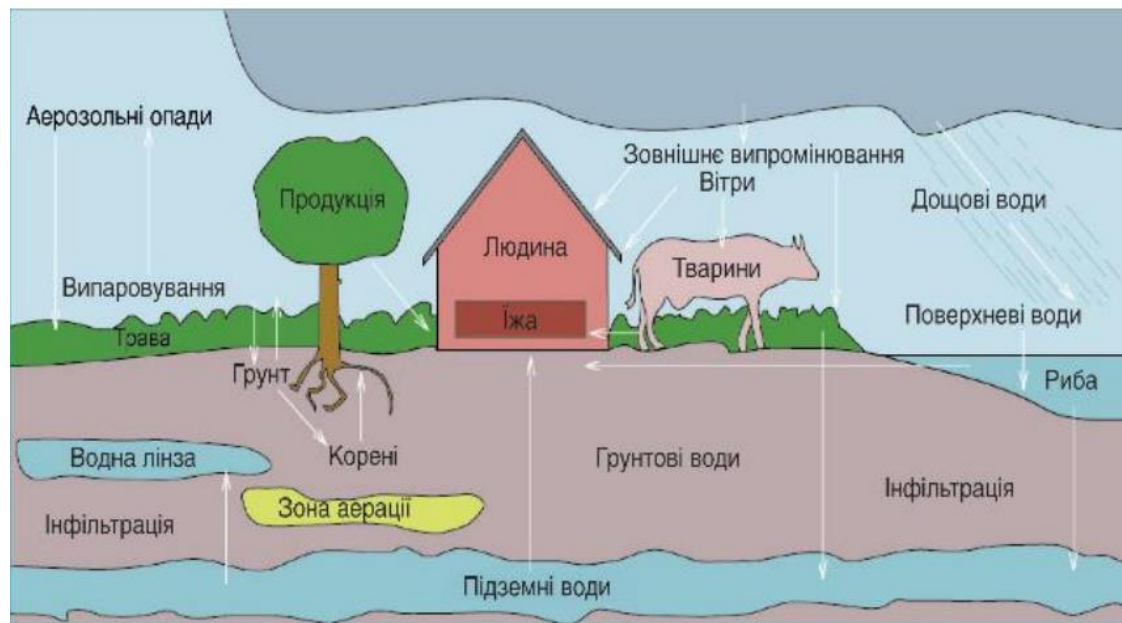


Рисунок 1.1 – Загальна схема міграції радіоактивних речовин у навколишньому середовищі

Радіонуклід  $^{137}\text{Cs}$ . Рахують найпоширенішим радіаційним викидом АЕС. Він характеризується дуже швидкою міграцією в різних типах харчових ланцюгів. Також під час потрапляння до людського організму він затримується в м'язових клітинах і може викликати захворювання на рак (саркома).

В останні десятиріччя були проведені дослідження впливу тритію на здоров'я людини та на оточуюче середовище, який формується під час технологічних ланцюгів атомних електростанцій. Дослідження вказали на вкрай негативний вплив на організм людини даного елементу.

Інв. №подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата



Були виділені фактори які впливають на питання забезпечення радіаційної безпеки на території АЕС:

- особливий моніторинг за використанням тритію. Він має довгий період напіврозпаду (12,4 роки), через що вважається небезпечним полютантом навколишнього середовища;
- формування водню (H), нейтрального гелію (He), які ктворюються під час розпаду тритію (T);
- газів інкорпорований T ефективно включається до складу біологічної тканини та являється потенційним джерелом мутагенних порушень, через  $\beta$ -випромінювання середньої енергії (5,8 кВ), так і через порушення молекулярних зв'язків, що в свою чергу, викликані заміною ізотопу, чого не можна сказати про інертні радіоактивні гази.

В результаті хімічної еквівалентності звичайного елементу водню (H) тритій, у формі надважкої води, може збиратися в технологічних водах атомних електростанцій, з них просочуватися у водойму-охолоджувач, а далі й в підземні води чи приземний шар атмосфери. В навколишньому середовищі в зонах впливу АЕС концентрація тритію дуже висока.

Для того щоб робота АЕС була безпечна та не несла загрози для здоров'я людини і навколишнього середовища мають бути виконані такі вимоги:

- постійне вимірювання температури, вимірювання тиску та активності;
- перевіреним захист від іонізуючого випромінювання населення та працівників, за рахунок виготовлення спеціальних бар'єрних будівельних споруд;
- дотримання правил на принципів глибокого захисту, метою якого являється закріплення та захоплення радіоактивних елементів, що в свою чергу зменшує можливість їх виходу до оточення. Це відбувається завдяки технічним та організаційним заходам, які спрямовані на забезпечення безпеки радіації та спритного реагування – реалізації спостереження, локалізація забруднень, а також формування систем захисту та контролю;

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№поодл.

- Інспектування за забезпеченням захисту для робітників АЕС, в тому числі і постійний контроль та аналіз рівня радіації;
- страхування системами уникнення аварій під час робочого процесу. Такі системи уособлюють в собі герметичну споруду, тобто спеціальні огорожі з певними елементами для транспорту вантажівок та людей;
- наявність спринклерної системи, що виконує роль розпилення води всередині оболонки, завдяки чому відбувається конденсація та тиск та температура в цій оболонці зменшується.

Така ж система слугує і для зв'язування йоду та інших системах для зменшення тиску і температури в захисних оболонках, в системах знешкодження водню, а також у відгалуженні тепла від захисних оболонок.

Усі елементи, які мають радіацію несуть небезпеку для людини, бо вони мають змогу поглинатися та затримуватися в людському організмі, що у подальшому накопичується та може мати негативні наслідки.

Радіоактивні ізопопи попадають в організм людини з їжею, водою та пилом. Діяти вони можуть неоднаково; приміром, залізо, тритій, вуглець, полоній розподіляються в людському організмі рівномірно, чого не можна сказати про інші ізопопи, які збираються та знаходяться в печінці, нирках та щитовидній залозі. Саме тому, питання моніторингу на територіях ЯПЦ є надзвичайно важливим [5].

Інв. № покл.	Підп. і дата				Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата
ТС 19510080							
Вип.	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	Арк		
					18		

## РОЗДІЛ 2 СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБЕРІГАННЯ РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ АЕС

На даний час Україна має активні ядерні блоки на територіях чотирьох діючих АЕС. Вони утворюють велику кількість РАВ протягом своєї діяльності. Саме для подальшої утилізації та захоронення всі РАВ поділяють на Газоподібні, рідкі та тверді.

Через негативний вплив радіоактивних відходів на життя та здоров'я людей, а також на навколишнє середовище мають бути запроваджені методи збирання та безпечно збереження відходів, при цьому враховуючи фізико-хімічні, біологічні властивості радіонуклідів, їх відмінності та особливості.

Цей процес регулює закони України про «Про поводження з радіоактивними відходами» та «Про відходи».

Згідно до законодавства України право на поводження з радіоактивними відходами мають, ті юридичні та фізичні особи, які мають спеціальний дозвіл, який був виданий у затвердженому державою порядку регулювання ядерної та радіаційної безпеки. Вони отримують право на відповідний вид діяльності, тобто становляться ліцензіатами на утилізацію, захоронення та транспортування РАВ.

Ліцензіати, які виконують роботи на будь-якому етапі поводження з радіоактивними відходами, зобов'язані:

- Вести документацію, щодо контрольного обліку РАВ персонально;
- передавати цю інформацію до належних органів державної влади, а також в органи місцевого самоврядування звітів, щодо дотримання рекомендованого поводження з відходами;
- гарантувати безпечну роботу при виборі майданчика будівництва, проектування, експлуатації будови і їх зняття з експлуатації об'єктів, що призначені для поводження з РАВ;
- забезпечувати фізичний захист радіоактивних відходів;

Підп. і дата				
Інв. № докл.				
Взаєм. інв. №				
Інв. № дубл.				
Підп. і дата				
Вип.	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 19510080

Арк

19

- застосовувати міри спрямовані на ліквідацію радіаційних аварій та їх наслідків;
- вчасно робити перевірку та переоцінку спроможностей об'єктів безпеки, що працюють та які розраховані на поводження з РАВ. При потребі мати змогу зробити всі можливі вдосконалення задля більш високого рівня безпеки цих об'єктів;
- мати можливість компенсувати втрати за рахунок страхових компаній чи власних коштів, через радіаційні аварії під час поводження з РАВ;
- забезпечувати розробку та введення в дію програм якості, що стосуються безпеки поводження з радіоактивними відходами;
- забезпечувати радіаційний моніторинг місць в яких зберігаються або захороняються РАВ.

## 2.1 Методи та місця зберігання радіоактивних відходів

Одним із найважливіших стадій у радіаційній безпеці являється зберігання РАВ, бо саме такі сировини є небезпечними для людей, їх здоров'я та навколишнього середовища упродовж великої кількості часу. Є різноманітні засоби та місця зберігання РАВ, їх відмінність залежить від їх характеристик та рівня радіації.

Розглянемо один з методів зберігання РАВ, а саме – глибоке заковування. Процес полягає в заковуванні у стійкі контейнери, які знаходяться в геологічних формаціях (соляні домени). Таким методом користуються задля зберігання відходів з високим ступенем радіації.

Для зберігання радіоактивних відходів, більш за все небезпечних, використовують саме метод глибокого заковування. РАВ зачинають в стійких контейнерах, які в подальшому заковують на велику глибину в землю, в глибоких геологічних формаціях, що ізолюють від товщі землі. Ці глибинні формації можуть мати в собі шари глини, соляні домени, породи кристалів, що покращують

Інв. №подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата	ТС 19510080				Арк
									20
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата					

бар'єрні властивості ділянки захоронення. Метод глибокого закопування вважається найефективнішим. Бо, саме завдяки йому навколишнє середовище може бути захищене від радіоактивних елементів повноцінно, при умові якісних контейнерів та дотримання методології [5, 6].

Розглянемо ще один метод – поверхневе зберігання. Для такого зберігання створені спеціальні майданчики, які знаходяться під контролем та є обмеженими зонами безпеки. Наразі, так зберігаються відходи низького та середнього рівня радіаційної небезпеки, наприклад: одноразові рукавиці, маски, захисні костюми, тощо. Радіоактивні відходи з вмістом невеликої кількості радіації не потребують ізоляції від людського оточення на довгий проміжок часу.

Але, якщо вчасно не проконтролювати стан відходів та не надати їм необхідний рівень безпеки, то результат поверхневого зберігання може виявитися не ефективним та навіть небезпечним. Якщо ж притримуватися усіх правил та контролю цей метод буде достатньо ефективним з точки зору довготривалого збереження РАВ [7,8].

Ще одним з методів зберігання та утилізації є рециклінг. Таким вважається процес перетворення відходів на матеріали що підлягають повторному використанню чи знищенню безпечним методом. Радіоактивні відходи з середнім та низьким вмістом радіації можуть перероблятися таким методом (використаний захисний одяг). Під час рециклінгу переробка радіоактивних відходів здійснюється за допомогою спеціальних технологічних процесів, завдяки яким виділяються корисні складники а відходи безпечно утилізуються. Ті елементи які були вилучені та марковані, як корисні, розподіляються і в подальшому підлягають до застосування в ядерній енергетиці [9,10].

## 2.2 Технології пакування та маркування радіоактивних відходів

Наша держава має певні вимоги та правила стосовно маркування та пакування РАВ. Ними передбачено, що радіоактивні відходи повинні бути

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

						ТС 19510080	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			21

упаковані в спеціальні контейнери та промаркировані відповідно до встановленим стандартам.

Для безпеки під час зберігання та перевезення відходів контейнери повинні бути дуже міцними, а на маркуванні повинно бути вказано вміст цього контейнера та рівень його радіації.

Державна служба ядерного регулювання та Національний регулятор ядерного регулювання затвердила певні нормативні документи, які регулюють пакування та маркування радіоактивних відходів. До цих документів належать: "Правила пакування та перевезення радіоактивних матеріалів" (ДСТУ 4026:2001), "Правила зберігання відходів радіоактивних речовин" (ДСТУ 4151:2003) та інші [11, 12].

"Правила пакування та перевезення радіоактивних матеріалів" (ДСТУ 4026:2001) - це нормативний документ, який регулює українське законодавство щодо пакування та перевезення радіоактивних матеріалів. Основні вимоги до цього документу включають:

- 1) Відповідність пакувальних засобів стандартам і вимогам з безпеки, які визначені Міжнародною агенцією з атомної енергії (МАГАТЕ), Європейською агенцією з безпеки пов'язаних з ядерною енергією (EURATOM) та іншими міжнародними організаціями.
- 2) Затвердження відповідного маркування на пакуваннях, на яких зазначено наявність радіації, його рівень та характеристики.
- 3) Виконання технічної і документальної перевірки пакувальних засобів перед їх використанням для перевезення радіоактивних матеріалів.
- 4) Приймання вимог що стосується пакування, маркування, перевезення РАВ за рівнем небезпеки та характеристикою радіоактивного матеріалу.
- 5) Надання документації, що має бути на пакуванні з радіацією.
- 6) Гарантія безпечного перевезення матеріалів з вмістом радіації.

Інв. № докл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № доубл.	Підп. і дата	TC 19510080	Арк
						22
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

7) Затвердження вимог з приводу повторного застосування та ремонту засобів пакування, які вже були у використанні з радіоактивними матеріалами [11 - 14].

2. Державний стандарт України ДСТУ 4151:2003 "Правила зберігання відходів радіоактивних речовин" встановлює основні вимоги, щодо зберігання радіоактивних відходів у фізичному вигляді на території підприємств, що пов'язані з ядерною енергетикою.

Розглянемо деякі вимоги до зберігання РАВ:

1) Відходи з вмістом радіації мають зберігатися належно до класифікації відходів, а також за відповідних умов їх зберігання.

2) Зберігання РАВ повинно відбуватися на територіях оснащених спеціальним обладнанням, та відокремлених від інших зон.

3) У зонах зберігання РАВ мають знаходитися засоби гасіння пожежі, засоби вентиляції та засоби забезпечення безпеки.

4) Зони зберігання РАВ повинні постійно контролюватися та вимірюватися за станом радіації.

Радіаційні відходи обов'язково мають зберігатися у спеціальних контейнерах за дотриманням вимог до охорони навколишнього середовища та охорони праці і мати маркування.

Також відходи повинні зберігатися відносно вимог з приводу управління відходами, які регулюються законодавством України.

Виділяють певні знаки маркування радіоактивних відходів в Україні:

1) Радіаційна небезпека (трикутник з хімічною позначкою радіоактивної речовини, або ж слова «радіоактивний»).

2) Знак, на якому зазначено місце де зберігаються відходи, їх склад тощо.

3) Знак з датою збору та рівнем радіації.

4) Клас радіаційної небезпеки (1 – низька, 2 – середня, 3 - висока).

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№поодл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ТС 19510080

Арк

23

Задля безпечної праці робітників, що займаються транспортуванням, а також зберіганням РАВ маркування на контейнерах чи упаковці повинно бути чітким та видимим.

В Україні є виробництва, котрі спеціалізуються на маркуванні і пакуванні РАВ. Розглянемо Державне підприємство "Українська екологічна група". Вони займаються збором, зберіганням, транспортуванням та утилізацією РАВ відповідно до усіх правил національного та міжнародного законодавства.

Данні, що повинні бути вказані у офіційних паперах для транспортування РАВ:

- найменування та адреса відправника;
- найменування та адреса отримувача;
- назва вантажу, код небезпечних властивостей та номер класу небезпеки (1,2,3);
- вміст вантажу та його кількість;
- кількість небезпечного вантажу (об'єм, маса, нетто, брутто);
- найменування вантажу, який транспортують повинно прописуватися так: «відходи містять...», а далі зазначено речовини з номерами, назвами, класифікацією, підкласом, характеристиками виділеними курсивом [11 – 18].

### 2.3 Заходи безпеки під час зберігання радіоактивних відходів

Україна притримується усіх міжнародних стандартів маркування РАВ, а також застосовуються такі маркування, що передбачені Міжнародною агенцією з атомної енергії (МАГАТЕ).

Основними знаками маркування РАВ в Україні вважаються:

- 1) Радіаційна небезпека (трикутник з хімічною позначкою радіоактивної речовини, або ж слова «радіоактивний»).
- 2) Знак, на якому зазначено місце де зберігаються відходи, їх склад тощо.

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№поодл.	

						ТС 19510080	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			24



- 3) Знак з датою збору та рівнем радіації.
- 4) Клас радіаційної небезпеки (1 – низька, 2 – середня, 3 – висока).

Задля безпечної праці робітників, що займаються транспортуванням, а також зберіганням РАВ маркування на контейнерах чи упаковці повинно бути чітким та видимим. Більш докладно щодо класифікації РАВ та маркування можна довідатись у ДСТУ 4026:2001 "Правила пакування та перевезення радіоактивних матеріалів".

Розглянемо заходи захисту навколишнього середовища та здоров'я людини при зберіганні РАВ.

Для запобігання шкідливого впливу радіації на здоров'я людини та на довкілля в цілому, радіоактивні відходи мають зберігатися відповідно до усіх норм та стандартів безпеки. Правила яких потрібно дотримуватися при зберіганні РАВ:

- 1) Контейнера в яких зберігаються радіаційні відходи мають відповідати нормам безпеки щоб уникнути поширення випромінювання радіації.
- 2) Контейнера та упаковки з вмістом радіації повинні зберігатися на спеціально відведених майданчиках з системою захисту від проникнення води, ґрунту і повітря.
- 3) Контейнери мають бути під контролем від ушкоджень та перевірені на відсутність витоків радіаційних речовин.
- 4) Зона для зберігання РАВ повинна бути під контролем та мали постійні датчики виміру рівня радіаційного забруднення.
- 5) Перевезення та переміщення РАВ має відбуватися при дотриманні всіх правил безпеки.
- 6) Працівники, які займаються зберіганням та перевезенням РАВ час від часу повинні підвищувати свій рівень кваліфікації.
- 7) У випадку аварії на підприємстві має бути план рятувальних заходів та евакуації.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№поодл.	

ТС 19510080

Арк

25

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

## 2.4 Захоронення радіоактивних відходів

Захоронення радіоактивних відходів є одним із ефективних способів їх утилізації. Цей метод передбачає підземне зберігання відходів на спеціально обладнаних полігонів або у глибинах землі. Процедура захоронення відходів може відрізнятися в залежності від типу відходів, місця захоронення, національних вимог та нормативів.

Захоронення відходів поділяється за глибиною на (рисунок 2.1):

- поверхневе;
- середньої глибини;
- глибоке захоронення.

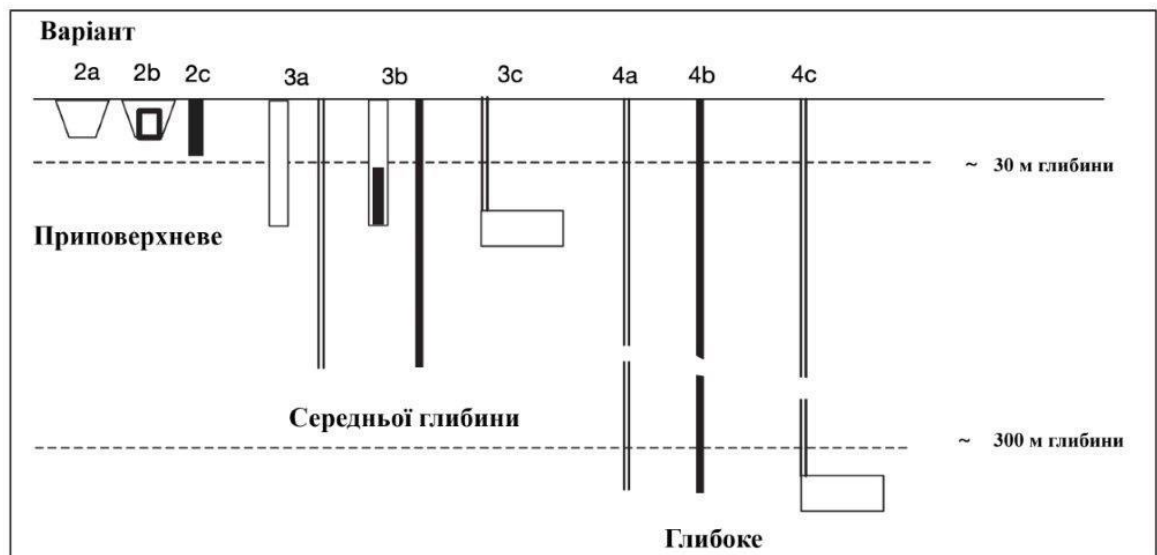


Рисунок 2.1 – Схема захоронення відходів за глибиною

Розглянемо основні підходи до захоронення РАВ :

1. Поверхневе захоронення. Таке захоронення спрямоване на запобігання витоку радіоактивних речовин у середовище при якому відходи покриваються верхнім шаром ґрунту та ущільнюються. Поверхневе захоронення стосується відходів з низьким рівнем радіації, наприклад одноразового захисного

Підп. і дата
Інв. № дубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. № подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 19510080	Арк
						26

одягу, паперу тощо. Вони закопуються у землю на глибині до 5 метрів на спеціально відведених майданчиках.

2. Захоронення в вертикальних отворах. Під час захоронення таким методом відбувається запобігання попаданню радіоактивних речовин у ґрунт і воду. Захоронення відбувається у вертикальних отворах, котрі бетонуються. Такий спосіб захоронення застосовується для відходів з середнім рівнем радіації (використані паливні елементи АЕС). Відходи розміщують у вертикальних отворах та відправляють на глибину 100 – 500 метрів, найчастіше у сталевих бетонних контейнерах.

3. Тунельні захоронення. Такий метод використовується для того щоб зменшити вихід радіоактивних компонентів у довкілля. Захоронення відбувається у тунелі в глибину землі та бетонуються. Спосіб захоронення у тунелі застосовують для відходів з високим рівнем радіації. РАВ зберігаються у спеціально відведених контейнерах, що в подальшому розташовуються в тунелях на глибині 500 – 1000 метрів. Завдяки тунельному захороненню ґрунт та вода має більш надійний захист від радіоактивних речовин, через те що найчастіше вони розташовані в стабільних гірських [23 – 26].

МАГЕТЕ створили концепцію захоронення РАВ "disposal concept", а також концепцію правила створення проекту сховищ "conceptual design" [26]. Основним принципом «концепції захоронення РАВ» є проектування та реалізація інженерної системи геологічного бар'єру для створення належних умов захоронення. Геологічний бар'єр – це ізоляційна система споруджень, які націлені на збереження цілісності контейнера та його вмісту, під час поновлення первинного гідрохімічного, а також гідрогіологічно режиму землі. Ці бар'єри перешкоджають потраплянню радіаційних ізотопів у підземні води, сповільнюють їх та перенаправляють їх, для уникання контакту з РАВ.

Існує перелік основних елементів, які має включати бар'єрна споруда:

1. Матриця для утримання радіаційних відходів від процесу вилуговування.

Інв.№лодл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата	ТС 19510080				Арк
					Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

2. Контейнер для зберігання та ізоляції матриці.
3. Бентонітовий бункер (спеціальний різновид, глинистих мінералів).

Цей матеріал покращує сорбційні якості, закриває мікротріщини та порожнини при збільшенні тиску в контейнері.

4. Засипка (використовують спеціальні матеріали для фіксації положення саркофагу).

5. Компонування сховища, а саме створення належних зовнішніх умов для зменшення температурних та геологічних впливів.

До належних геологічних умов належать спокійна тектонічна обстановка, низька сейсмічна активність, мінімальні гідрологічні градієнти, водообмін застійного типу, ділянка без великих тектонічних зрушень та з мінімальною ймовірністю природних катастроф (такі, як ерозії льодовиків, повені та утворення карстів).

Придатними геологічними формаціями для захоронення РАВ, відповідно до «концепції захоронення РАВ», вважаються глинисті, соляні та кристалічні породи.

Захоронення в кристалічних породах вважається найбезпечнішим методом. Даний метод розповсюджений в Японії, Чехії, Фінляндії, та Швеції. Для захоронення в кристалічних формаціях прийнята концепція безпеки – KBS-3 (рис. 2.1). KBS-3 включає в себе три бар'єри.

Перший бар'єр – мідний з чавунними вставками (довжина – 5 м, товщина стінок – 5 см, діаметр до 1 м). Проект контейнера передбачає захист вмісту від механічного навантаження та протистоїть корозійним процесам, від контакту з підземними водами. Строк служби такого контейнеру сягає до 100 тис років.

Другий бар'єр – бентонітові глини, які є буферною зоною в 350 см. Виступає захистом від землетрусів, за рахунок розбухання глини, які створюють щільнішу гідроізоляцію. Бетоніт унікальний матеріал, який може перешкоджати витоку радіоактивних елементів, в разі порушення герметичності першого контейнеру.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№лодл.	

Третім бар'єром виступають породи, які зв'язують радіоактивні ізопои з великим періодом напів-розпаду та перешкоджають потраплянню РАВ в біосферу та підземні води.

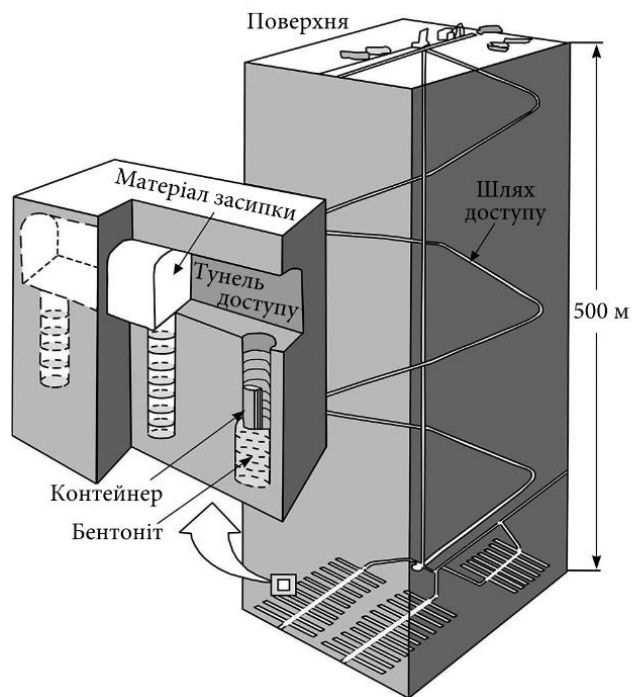


Рисунок 2.1 – Схема концепції KBS-3 в кристалічних породах

Захоронення в глиняних формаціях характерно для Швейцарії, Бельгії та Франції. В глиняних схронах можуть бути розміщені великі обсяги РАВ. Глибина захоронення – від 500 м.

Перший контейнер (матриця РАВ) з нержавіючої сталі – для високорадіоактивних відходів та бетону – для відходів середньої активності (термін служби до 10 тис років, до повної втрати герметичності). Відходи розміщують в горизонтальних свердловинах та максимально щільно утрамбовуються в тунелях. Особливістю даного типу захоронення є можливість вилучення контейнерів терміном до декількох сотень років.

Друга оболонка – матеріали засипки, які розміщуються у відсіках зі спеціальними бетонними заслонами. Засипки перешкоджають потраплянню вологи та перешкоджає витоку РАВ.

Інв. №подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 19510080

Арк

29

Третя оболонка складається з келовей-оксфордського віку гілітів. За рахунок високих бар'єрних якостей гіліти здатні затримувати майже всі види радіонуклідів до повного розпаду.

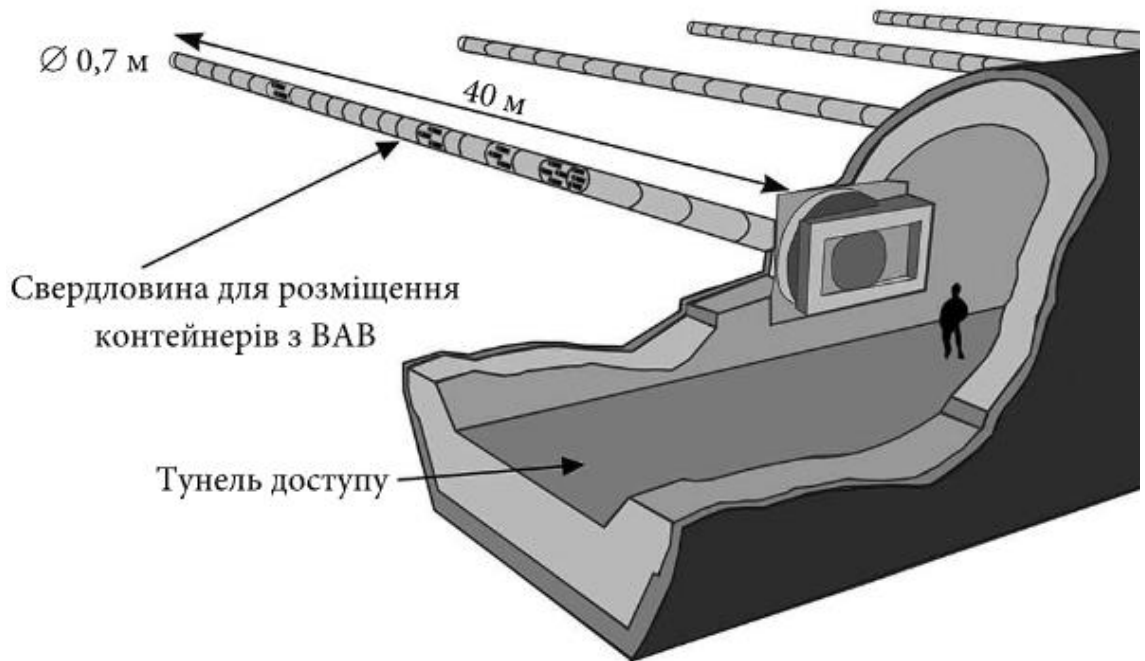


Рисунок 2.3 – Схема концепції CIGEO шахтного захоронення в глиняних формаціях

Захоронення в соляних породах характерне для США та Німеччини. Особливістю даного виду захоронення є бар'єрних властивостей солей, які перешкоджають потраплянню підземних вод та флюїдів речовин до матриці РАВ, а також мають низьку теплопровідність. Існують різні види захоронення в даній формації. Такі, як:

1. Горизонтальне захоронення в тунелях (РАВ поміщають в спеціальних упаковках або контейнерах). Підземна площа захоронення буде сягати 1,4 – 1,6 м на один контейнер.
2. Вертикальне захоронення в тунелях завглибшки 300 м. Ці тунелі бурять в штоці в соляному пласту, починаючи з вже утворених основних

Інв. №подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата	ТС 19510080	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		30

свердловин. Підземна площа захоронення буде компактнішою – до 1 м<sup>2</sup> на 1 контейнер [26].

Етапи захоронення відходів:

1. Підготовка місця для захоронення. Воно має бути оснащено системами збирання і моніторингу випуску радіоактивних речовин.
2. Пакування та перевезення. Пакування відбувається в спеціальні контейнери та транспортуються безпосередньо до місця захоронення.
3. Захоронення. В залежності від типу РАВ та особливостей ґрунту місця захоронення відходи формуються у спеціальних отворах чи камерах на глибині 100 – 1000 метрів, в подальшому бетонується для сильнішого захисту від потрапляння радіоактивних елементів до води і ґрунту.
4. Контроль та моніторинг. Для безпеки населення та навколишнього середовища місце що встановлене для захоронення проходить систематичний контроль та моніторинг за рівнем радіаційного випромінювання.
5. Безпека. При умові виконання всіх належних заходів безпеки захоронення РАВ вважається безпечним методом утилізації. Цей процес відбувається завдяки використанню спеціального обладнання та технологій , а також систематичним перевіркам безпеки для людей та оточуючого середовища.
6. Безпека: захоронення радіоактивних відходів є методом утилізації, що не несе загрозу, при умові виконання всіх необхідних заходів безпеки. Також потрібно брати до уваги геологічні та гідрологічні особливості зон призначених для захоронення, аби зменшити ризики проникнення радіації у довкілля [19 - 26].

Інв. №подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата

ТС 19510080

Арк

Вип Арк № докум. Підп. Дата

31

## РОЗДІЛ 3 СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ АЕС

### 3.1 Методи утилізації радіоактивних відходів

Як вже було зазначено у розділі 2, для того щоб провести процес утилізації РАВ, з максимальною ефективністю та належним рівнем безпеки, необхідно провести розподіл радіоактивних відходів за їх агрегатним станом.

Насьогодні, основні принципи поводження з газоподібними РАВ закладаються в їх розсіювання у навколишньому середовищі після очищення.

Досі, в Україні, за часів незалежності, не було ситуацій по перевищенню потужності викидів радіації в більшій кількості за обмеження, що встановлені нормативними документами. Системи очищення, що вже є дійсними на АЕС України забезпечують нижчі рівні викидів за національні та за міжнародні норми.

Контроль радіоактивних речовин відбувається завдяки автоматизованими системами контролю радіації, що в свою чергу встановлюється на всіх джерелах викидів та після відбору проб дослідженнями лабораторії.

Метод розсіювання газоподібних радіаційних відходів (газове розсіювання). Процес відбувається зведенням відходів до газоподібного стану та випуску їх в атмосферу, після чого відбувається розсіювання радіоактивних речовин і розповсюджується до безпечного рівня по всьому навколишньому середовищу (рисунок 3.1).

Такий метод також застосовують для того, щоб зупинити великі потоки РАВ, які надходять з підприємств ЯПЦ. Наприклад, відходів з ядерних електростанцій на яких утворюються тверді, рідкі та газоподібні речовини.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ТС 19510080

Арк

32



Особливістю методу являється переведення рідких і твердих відходів у газоподібний стан. До цього можна прийти лише через підвищення температури відходів і змішування їх зі спеціальними розчинниками.

Після цього відходи в газоподібному стані можна випустити в атмосферу завдяки спеціальних систем вентиляції, які розсіюють відходи та розчиняють їх у довкіллі. Якщо взяти в урахування хімічні та фізичні властивості речовин можна розрахувати оптимальну концентрацію викиду, аби надати достатній рівень впливу на навколишнє середовище.

Метод газового розсіювання є розповсюдженою практикою в різних країнах, що мають великі ядерні програми. Але, цей метод має і багато недоліків.



Рисунок 3.1 – Схема процесу розсіювання РАВ

Поводження з рідкими РАВ. Рідкі радіоактивні відходи (РРВ) на атомних електростанціях пов'язані з особливостями протікання рідких радіоактивних середовищ. Поводження з такими відходами відбувається через їх переробки, зберігання та утворення.

Інв. №поділ.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата

Процес переробки відбувається таким чином, що спочатку здійснюється збір РРВ та їх зберігання на тимчасовий термін.

Шлами, кубовий залишок, мастильні та фільтрувальні матеріали зберігають порізно. Матеріали що вже відпрацьовані, а також сорбенти надходять в резервуари за допомогою гідротранспорту та зберігаються під водою.

Переробка первинних радіоактивних рідких відходів на атомних електростанціях з реакторами ВВЕР включають в себе вузли реагентів, а також випарні апарати спец водоочищення. Коли первинні РРВ вже були випарені на цих установках виходить кубовий залишок, що містить розчинні та нерозчинні солі натрію, магній, кальцій та інші.

Методи переробки РРВ на атомних електростанціях: термічний, сорбційний, мембранний.

1. Термічний метод переробки радіоактивних відходів (РРВ). РРВ дистилуються та випаровуються при різних тисках та температурах, при яких відбувається поділ відходів на різні групи, що в майбутньому підлягають переробці та збереженню порізно.

Технічні кроки, які передбачені термічним методом:

- Підготовка РРВ: РРВ збираються і заносяться в термостійкий контейнер.
- Налаштування обладнання: Для упарювання частинок РРВ використовується спеціальний вакуумний апарат, що складається з реактора, дистиляційної колонки, насосів, термометрів і манометрів.
- Початок процесу: РРВ нагрівають до високої температури, що дозволяє їх упарити або дистилувати. Випарювані компоненти РРВ потрапляють до дистиляційної колонки, де вони розділяються на різні фракції залежно від температури кипіння кожного компонента.
- Збір фракцій: Відокремлені фракції РРВ збираються в окремі контейнери і можуть бути подальше перероблені або збережені.

Інв. № докл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата
--------------	--------------	---------------	--------------	--------------

ТС 19510080

Арк

34

Вип Арк № докум. Підп. Дата

Речовини, які можуть використовуватися як реагенти в термічному методі, залежать від типу РРВ і можуть включати в себе кислоти, луги, органічні розчинники, каталізатори та інші.

Оснащення для використання такого методу може відрізнятися через масштаб даної операції, а також потреб задля запобігання викидів радіоактивних речовин в навколишнє середовище. Формуватися такі обладнання можуть або зі спеціальних печей, або з реакторів зі змішувальним устаткуванням.

Найчастіше термічна переробка РРВ відбувається в сталевих камерах з рівнем високої міцності та стійкості до корозії та теплового впливу.

Оснащення має включати в себе з реактор зі змішувальними пристроями, теплообмінники, сепаратори, конденсатори, насоси, апарати для очищення газів, трубопроводи тощо.



Рисунок 3.2 – Схема термічного методу переробки радіоактивних відходів

Підп. і дата	
Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	
Інв.№дубл.	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 19510080

Арк  
35

2. Сорбційний метод видалення радіонуклідів з рідких відходів у вигляді твердої фази, базується на здатності спеціальних матеріалів – сорбентів – зв'язувати радіоактивні речовини з розчинів. Такий метод застосовують перед зберіганням чи знешкодженням рідких відходів від радіонуклідів.

Технічні кроки методу включають наступні етапи:

1. Підготовка сорбенту: сорбентом можуть бути різноманітні матеріали, такі як індивідуальні хімічні елементи, сполуки або полімерні матеріали. Сорбенти повинні мати високу специфічність і велику площу поверхні, щоб максимально забезпечити зв'язування радіоактивних речовин.

2. Підготовка рідинних відходів: рідкі відходи перед обробкою повинні бути очищені від твердих частинок і бути готові до проходження через сорбент.

3. Обробка рідинних відходів сорбентом: рідкі відходи пропускають через сорбент, що зв'язує радіонукліди з розчину. Цей процес може здійснюватися в колонках або резервуарах зі сорбентом.

4. Регенерація сорбенту: після того, як сорбент насичується радіонуклідами, його потрібно регенерувати. Це здійснюється шляхом обробки сорбенту спеціальними розчинами, які знімають радіонукліди з поверхні сорбенту і переводять їх у розчин.

Оснащення для цього методу складається з резервуару для зберігання відходів, резервуару з сорбентом, устаткування призначеного для регенерації сорбенту, різних насосів для переміщення рідинних відходів та газоподібних елементів регенерації сорбенту, а також повинен міститись засіб для контролю та моніторингу процесу.

Під час сорбційного методу вживають сорбенти, наприклад як активоване вугілля, залізний гідроксид, іонообмінні смоли та інші.

Технічні кроки сорбційного методу:

1. Переміщення рідких відходів до колонки або резервуару з сорбентом.  
2. Проходження рідких відходів через сорбент, де радіонукліди зв'язуються з ним.

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№поодл.

									ТС 19510080	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						36

3. Збір очищених рідинних відходів.
4. Регенерація сорбенту, що полягає у відновленні його властивостей шляхом видалення зв'язаних радіонуклідів.
5. Видалення газоподібних продуктів регенерації сорбенту.
6. Повторення процесу очищення знову з використанням регенованого сорбенту.

У підсумку відбувається вихід радіонуклідів з рідких відходів у твердій подобі, при цьому переробка та зберігання відбувається безпечно.



Рисунок 3.3 – Схема сорбційного методу переробки радіоактивних відходів

Інв. №поділ.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата

Мембранний метод утилізації рідких радіоактивних відходів. Цей метод являється процесом проходження рідини через мембрану , яка в свою чергу із забрудненої речовини виділяє іони з вмістом радіації.

Етапи мембранного методу утилізації:

1. Фільтрація чи відстоювання рідких відходів, надалі – очищення.
2. Нагрівання до встановленої температури у спеціальному контейнері.
3. Відсічення радіоактивних іонів, а також іонів з вмістом забруднюючих речовин у мембрані вже розплавленого матеріалу.
4. Збір попередньо очищеної речовини у резервуарі чи контейнері.
5. Визначення результату аналізу випробування з метою формулювання чистоти вихідної речовини та видалення радіоактивних речовин.

Устаткування що використовується для мембранного методу утилізації містить у собі мембрани з різними характеристиками, контейнери для зберігання рідини та обладнання для розплавлення та пропускання рідини через мембрану.

Хімічні речовини можуть виступати реагентами, в даному випадку, що в свою чергу допомагають у відсіченні радіоактивних іонів від інших компонентів.

Кроки мембранного методу утилізації рідких радіоактивних відходів можна поділити на наступні етапи:

1. Підготовка відходів: Радіоактивний розчин очищається від суспензії за допомогою фільтрації або центрифугування.
2. Обробка реагентом: До розчину додають реагент для відсічення радіоактивних іонів від інших компонентів.
3. Проходження через мембрану: Оброблений розчин пропускають через мембрану зі спеціальними порами для фільтрації радіоактивних іонів.
4. Очищення та зберігання: Відсічений розчин очищають від надлишкового реагенту та інших домішок та зберігають у спеціальних контейнерах.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 19510080



Рисунок 3.4 – Схема мембранного методу переробки рідких радіоактивних відходів

Система поводження з твердими РАВ. Зазвичай тверді радіаційні відходи створюються під час проведення технічного обслуговування обладнання, або заміні частин. В процесі таких технічних робіт, всі об'єкти стають радіоактивними відходами, починаючи від рукавичок та спец одягу, закінчуючи великими деталями заміненого устаткування, різними трубопроводами та навіть найдрібнішими гайками та шурупами.

Загальні кроки поводження з твердими РАВ на об'єктах ЯПЦ включають в себе:

- збирання та відсортування радіаційних відходів у спеціальні первинні тари, одразу ж на місцях утворення;
- транспортування в спеціальних контейнерах РАВ до централізованих точок збирання чи перероблення відходів;
- сам процес переробки РАВ;

Інв.№лодл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата

- перепакування тари з твердими відходами в контейнери, для транспортування, при цьому не порушуючи первинної тари;
- подальше перевезення контейнерів із твердими відходами до схронів ТРВ за допомогою спецавтомобілів, оснащених бар'єрним захистом від радіації;
- прийом відходів та їх відвантаження до секцій схрону;
- постійне проведення обліку та звітності, щодо стану РАВ на територіях зберігання.

За для зменшення загальних об'ємів твердих РАВ їх попередньо перероблюють, сортують та подрібнюють. Зазвичай, зберігають такі відходи в спеціальних спорудженнях, що встановлюються на територіях атомних електростанцій.

Схрони твердих РАВ – це заглиблені в землю, бетоновані та гідроізольовані ємності, які перебувають під пильним дозиметричним контролем спеціальних служб. Для цієї цілі, навкруги схронів побудовані моніторингові свердловини, з яких періодично відбирають різні проби, за для аналізу загального вмісту радіоактивних ізотопів. Зберігання передбачає можливість вилучення РАВ для їх переробки та транспортування.

Операції попередньої обробки допомагають полегшити процес утилізації РАВ. Дезактивація, збирання, сортування, підпресування, фрагментування, сушіння – це все можна віднести до основних операцій попередньої обробки.

1. Дезактивація – це очищення поверхні устаткування від забруднення радіації методами промивання, нагрівання, хімічних та електрохімічних процесів, механічного й інших видів очищення.

Дезактивацію використовують, як найперший метод, тому, що це дозволяє знизити загальний об'єм високорадіаційних відходів, а також захищає персонал та навколишнє середовище від радіаційного впливу. Хоча й не повністю, але знижують радіус ураження радіацією.

2. Переробка твердих РАВ – це процес що змінює характеристики самих відходів. Мета такої переробки полягає в підвищенні рівня безпеки на етапах

Підп. і дата
Інв. № доubl.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. № доubl.

					ТС 19510080		Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			40



поводження з ТРВ, зниженню рівня радіаційного рівня на навколишнє середовище, а також заощадження ресурсів на зберігання та захоронення.

Вибір методу переробки залежить від усіх попередніх етапів поведінки з радіоактивними відходами, а саме таких, як: умови кондиціонування, транспортування, чи було тимчасове зберігання та захоронення. Також, не малий вплив мають вимоги правил, норм та стандартів, що напряму впливають на фізико-хімічні та радіаційні характеристики.

3. Механічна переробка твердих РАВ. Метою даної переробки є зменшення загального об'єму ТРВ. Завдяки зменшенню габаритів відходів збільшується якість пакування для перевезення, зберігання, переробки чи захоронення РАВ. Зменшення розміру відбувається методом демонтажу, дроблення, розпилювання та розрізування. Дроблення застосовують разом з перемішуванням чи спалюванням. Під час цього процесу зменшується розмір твердих радіаційних відходів та збільшується густина.

4. Пресування твердих РАВ являється найбільш ефективним методом по зменшенню об'єму відходів. Класифікація видів пресування матеріалі проходить за показником тиском, який використовують під час процесу. Для пресування таких матеріалів, як пластик, текстиль, гума використовують преси низького тиску (до 10 МН).

5. Суперпресування – це пресування силою тиску, вищою за 10 МН. Пресування відбувається у спеціальних бочках, потім спресовані «брикети» перепаковують в інші контейнери.

6. Термічна переробка твердих РАВ. При термічній обробці застосовують великий набір окисних та піролітичних технологій, що мають позитивний ефект для зменшення об'єму спалюваних РАВ.

7. Спалювання твердих РАВ – найбільш відомий процес термообробки. Є безліч типів установок по переробці РАВ. Починаючи від низько активних РАВ закінчуючи високоактивними від переробки ядерного палива. Але, на відміну від низько активних РАВ середньо активні будуть перероблюватися складніше. Це

Підп. і дата	
Інв. № добул.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № поодл.	

пов'язано з необхідністю наявності захисних екранів і дистанційної техніки. Стан можна вважати критичним коли у радіоактивних відходах є  $\alpha$ -випромінювачі.

8. Кондиціонування твердих РАВ. Після проходження процесу первинної переробки РАВ готові до зберігання на довгий термін або до захоронення.

Саме тому потрібно кондиціонувати відходи. До методів кондиціонування РАВ відносять осклування, плавлення, цементування або бітумування. Методи можна використовувати самостійно, або ж для збільшення ефективності комбінувати їх. Наразі найбільш популярним методом кондиціонування радіаційних відходів вважають цементування. Це процес омонолічування в цементних блоках заздалегідь подрібнених твердих РАВ.

Методом осклування. Для процесу осклування потрібні вогнетривкі реактори, в них при температурі 1100 – 1260 0C в розплавленому стані знаходиться скло. До реактору вводять РАВ вище розплавленого скла.

Спалювання відбувається за рахунок випромінювання від розплавленого скла. Вихідний газ виводиться з протилежного боку печі. Твердий продукт і негорючі матеріали, які утворився після спалювання оскловуються й можуть бути видаленими або компонуватись у матрицю що не вилуговується.

Зменшення об'ємів за допомогою спалювання вважається безпечною, а також досить ефективною.

Мета плавлення РАВ – зменшення розмірів органічних та неорганічних радіоактивних відходів, надання щільної форми, аби при завершенні процесу продукт мав високі характеристики щодо опору вилуговуванню [36].

Категорії методів хімічної переробки РАВ:

- сире окиснення;
- хімічне окиснення.

Сире окиснення може здійснюватися лише у середовищі з вологість, бо воно не дає великої кількості газів, на відміну від звичайних спалювальних установках.

Підп. і дата	
Інв. № доubl.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № доubl.	

					ТС 19510080	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		42

Хімічне окиснення може здійснюватися при застосуванні сильно окисних реагентів, включати перманганати, пероксиди, гіпохлориди, діхромати, персульфати та системи з сірчаною кислотою або азотною [36].

### 3.2 Оцінка ефективності методів утилізації

Розглянемо метод розсіювання газоподібних радіаційних відходів, їх переваги та недоліки. Вони розсіюються у навколишньому середовищі, як правило на такій висоті, де неможливе поглинання людиною.

Переваги:

1. Метод являється досить ефективним з газоподібними відходами, бо вони мають змогу легко розсіюватися у повітрі.
2. Простий процес розсіювання
3. Менша потреба коштів на утилізацію на відміну від інших методів.

Недоліки:

1. Негативний вплив на навколишнє середовище, наприклад: забруднення землі, води, повітря тощо.
2. Негативний вплив на життя та здоров'я людей, а також тварин перебуваючих у зоні розсіювання
3. Етнічні проблеми пов'язані з відмовою відповідальності за утилізацію РАВ, що утворилися людьми.

Для того щоб оцінити наскільки метод утилізації РРВ являється ефективним маємо звернути увагу на деякі фактори. Такі як: вартість технології, ефективність, тип та хімічний склад відходів, безпека працівників та безпека оточення в цілому.

Не тільки в даному методі присутні недоліки. Кожен метод має свої прогалини, а також переваги.

Термічний метод полягає в температурах, що були піднесені до високих рівнів, завдяки чому радіоактивні речовини розкладаються та мають форми з

Підп. і дата	Інв. № докл.
Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.
Підп. і дата	
Інв. № докл.	

меншим вмістом радіації. Цей процес зазвичай реалізовується у реакторах або спеціальних печах при температурі 1000-1200 градусів Цельсія.

Плюсом являється висока ефективність видалення речовин з радіоактивністю. Тобто, відбувається пониження значення вмісту радіації до природного рівню. Також термічний метод можна використовувати для відходів з різним складом, та з високим вмістом важких металів.

Щодо мінусів, під час піднесення до високих температур можливий вихід шкідливих речовин в атмосферу, що в свою чергу несе загрозу для навколишнього середовища.

Перспективним та достатньо ефективним можемо визначити сорбційний метод утилізації РРВ. Відходи після обробки разом з спеціальними сорбентами, що взаємодіють з радіонуклідами затримують їх у своїй структурі, після чого відходи можна відокремити та обробити узгоджено з відповідними вимогами до безпечної утилізації.

Перевагами сорбційного методу утилізації є:

1. Висока ефективність: сорбенти можуть затримувати радіонукліди на рівні 99,9% і вище.
2. Широкий спектр застосування: сорбенти можуть використовуватись для утилізації різних типів радіоактивних відходів, включаючи рідини, гази та тверді матеріали.
3. Можливість використання вторинної переробки: сорбенти можуть бути відновлені та використані повторно, що дозволяє економити ресурси та знижувати вартість утилізації.
4. Невеликі розміри обладнання: в порівнянні з термічним методом, сорбційний метод потребує меншого обсягу обладнання.

Однак, сорбційний метод має такі недоліки:

1. Сорбенти мають обмежену місткість: це означає, що після затримання визначеної кількості радіонуклідів, сорбенти потрібно замінити або піддати додатковій обробці.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

						ТС 19510080			Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата					44

2. Потреба у додатковій переробці сорбентів: звільнені радіонукліди потрібно відокремити від сорбентів та організувати подачу тиску в спеціальних установках, що вимагає додаткових затрат часу та ресурсів;

3. Обмежена кількість радіоактивних речовин, які можуть бути зв'язані сорбентами, що обмежує можливості використання методу в різних умовах;

4. Необхідність відповідної утилізації використаних сорбентів та відокремлених радіонуклідів.

Усі ці фактори можуть впливати на ефективність сорбційного методу утилізації рідких радіоактивних відходів та його придатність для певних виробничих умов.

В ході виконання дипломної роботи, для більш легкої навігації при виборі необхідного методу утилізації РАВ була створена таблиця Б.1, Б.2 (Додаток Б).

### 3.3 Приклади успішних проектів з утилізації радіоактивних відходів

У світі та в Україні було реалізовано кілька успішних проектів з утилізації радіоактивних відходів, де були використані різні методи та технології. Ось декілька прикладів:

У США успішно використовується метод термічної обробки радіоактивних відходів на підприємстві Waste Control Specialists. Відходи знаходяться у реакторі під високими температурами та вакуумі, що надає змогу вивітрувати. Наслідками являються такі гранули, що в майбутньому зберігаються в контейнерах та можуть застосовуватися у будівництві [29 – 31].

Відходи відправляються в спеціальний реактор, де вони піддаються високій температурі та вакууму, що дозволяє їх вивітрувати. Результатом є безпечні радіоактивні гранули, які потім зберігаються в контейнерах.

У Японії успішно працює підприємство Japan Nuclear Fuel Ltd., яке використовує метод механічного оброблення відходів. Під час якого відбувається

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№поодл.	

					ТС 19510080	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		45

подрібнення відходів та розташування їх у контейнера з метою зменшення габаритів та підвищення безпеки.

Основні кроки методу механічного оброблення відходів:

1. Сортивання: за рівнем радіоактивності, розміру, вмісту важких металів.
2. Млинування: поділ на дрібні часточки завдяки механічному розмелу.
3. Упакування: зберігання в спеціальних контейнерах з метою зменшення габаритів та підвищення безпеки.

Завдяки методу механічного оброблення ефективність оброблення відходів, а також утилізація РАВ підвищується [32].

Ще один проект в Японії, який був запущений після аварії на Фукусімській АЕС в 2011 році. Цей проект передбачав створення та експлуатацію установки з нейтронно-активованого відновлення корисних речовин (на англійській мові - Neutron-activated Rare Earth Element Recovery (NREE) plant). Використовується хімічна обробка відходів, які містять в собі цінні рідкісні землі (європій, ніобій, церій). Найпоширеніші вони в електроніці, електромобілях та інших технологіях [33].

Також можемо привести приклад програми утилізації високорадіоактивних відходів на Західному плато у США. У цій програмі здійснюється переробка використаного ядерного палива з реакторів на централізованій зв'язці та перетворення його на стабільні форми радіоактивних відходів. Використовується метод глибокого закопування в спеціальних контейнерах та зберігання на спеціально відведених майданчиках [34 – 36].

Наша держава не менш розвинута в цьому плані. Українська компанія "Укрхімволокно" реалізувала проект з утилізації радіоактивних відходів шляхом їх інкапсуляції у скловолокнисті матеріали. Тому було застосовано устаткування, що дає змогу виробляти матеріали потрібного розміру та форми.

В наслідку, формується інкапсульований матеріал, в якому містяться безпечні радіоактивні речовини.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№поодл.	

					ТС 19510080	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		46

Застосування скловолоконних матеріалів для інкапсуляції РАВ значно зменшує негативний вплив радіації на оточуюче середовище та здоров'я людини. Якщо порівняти з іншими методами, то даний можна виділити як більш ефективним

Причини за якими можна визначити вдалість приведених моделей.

Насамперед це безпечність технологій та устаткування, завдяки яким відбувається видалення речовин з вмістом радіації та захист здоров'я працівників і довкілля в цілому.

Далі – це зваження ризику для здоров'я людей та навколишнього середовища під час відходів та вибір методів, що зменшують цей ризик.

Ну і останнє, не менш важливим являється законодавче регулювання утилізації радіоактивних відходів. Бо саме через це ведеться високий контроль та моніторинг зберігання та перевезення відходів. Підтримка громади та відкритість процесів утилізації радіоактивних відходів для забезпечення довіри громадськості та зменшення ризику соціального конфлікту.

Інв. № покл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ТС 19510080					Арк
										47
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

## РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Професійна безпека та охорона життя є невід'ємною частиною діяльності, що ведеться на атомних електростанціях. У зв'язку зі специфічними умовами праці та високим ступенем потенційної небезпеки, для успішної експлуатації атомних електростанцій – забезпечення безпеки персоналу та запобігання аварійним ситуаціям має вирішальне значення.

### 4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів при роботі атомних електростанцій

Персонал, який працює на АЕС, піддається впливу різних шкідливих факторів. Ці фактори включають в себе:

- іонізуюче опромінення: аналіз впливу радіації на персонал і заходи щодо пом'якшення її впливу;
- хімічні речовини: вивчення небезпек, пов'язаних з роботою з хімічними речовинами, опис заходів безпеки та контролю.
- фізичні фактори: шум, вібрація, висока температура, пил тощо. Аналіз впливу цих факторів та методи захисту персоналу.

Під час роботи на АЕС персонал стикається з декількома потенційними небезпечними факторами, які можуть призвести до аварійних ситуацій або нещасних випадків. До основних небезпечних факторів відносяться

До небезпечних факторів належать:

- вибухо- та пожежонебезпека: обговорення систем пожежної безпеки, процедур запобігання та заходів пожежогасіння.
- викид радіоактивних матеріалів: опис заходів для запобігання витоку радіаційних матеріалів та захисту персоналу від радіаційного опромінення.

Підп. і дата	Підп. і дата
Взаєм.інв.№	Взаєм.інв.№
Інв.№дубл.	Інв.№дубл.
Інв.№подл.	Інв.№подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 19510080	Арк
						48



– механічні травми: аналіз потенційних небезпек та методів запобігання.

#### 4.2 Законодавчі акти, що регулюють питання безпеки на підприємствах

Такі нормативні акти, як Закон України «Про атомну енергію» та Закон України «Про ядерну безпеку» регулюють питання вимог до набору, підготовки та кваліфікації персоналу АЕС з урахуванням всіх безпекових аспектів. Питання забезпечення належних умов праці та охорони здоров'я персоналу та встановлення процедур контролю, оцінки та забезпечення безпеки роботи персоналу.

Постанова Кабінету Міністрів України «Про порядок державного регулювання ядерної та радіаційної безпеки» регулює вимоги до організаційного та правового забезпечення безпеки на АЕС. Встановлення процедур державного контролю та регулювання ядерної та радіаційної безпеки, включаючи персонал АЕС.

Постанова Національної комісії з питань регулювання ядерної енергетики України «Про правила безпеки атомних електростанцій»: регулює питання встановлення принципів безпеки роботи персоналу на АЕС, вимоги до організації безпеки, включаючи процедури навчання, тренування та кваліфікації персоналу, правила використання захисного спорядження та засобів індивідуального захисту.

#### 4.3 Техніка безпеки при вході в небезпечні зони та процедури реагування на надзвичайні ситуації

Перед входом в небезпечні зони на підприємствах атомної енергетики, персонал повинен дотримуватися певних процедур безпеки для забезпечення своєї особистої безпеки та запобігання негативним наслідкам.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ТС 19510080					Арк
					Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	49

1. Ознайомлення з правилами та інструкціями безпеки: Персонал повинен перед входом в небезпечну зону ознайомитись з усіма правилами та інструкціями безпеки, що стосуються конкретної зони, включаючи вимоги щодо використання захисного спорядження, процедур безпеки та дій у випадку надзвичайних ситуацій.

2. Перевірка наявності необхідного захисного спорядження: Перед входом в небезпечну зону персонал повинен переконатися, що він має на собі необхідне захисне спорядження. Це може включати захисний одяг, шолом, захисні окуляри, маску для дихання, рукавиці та інші спеціальні засоби індивідуального захисту.

3. Виконання правильного використання захисного спорядження: Після перевірки наявності захисного спорядження, персонал повинен впевнитися, що він правильно використовує це спорядження. Наприклад, він повинен переконатися, що маска для дихання носить належним чином та герметично закриває обличчя, а захисні окуляри покривають очі повністю.

4. Контроль радіаційного фону та інших показників безпеки: Перед входом в небезпечну зону персонал повинен пройти контроль радіаційного фону та інших показників безпеки, які можуть свідчити про наявність небезпечних речовин або шкідливих умов. Це включає вимірювання рівня радіації, перевірку рівня хімічного забруднення повітря та інші відповідні перевірки.

5. Документування проходження контролю: Після проходження контролю безпеки перед входом в небезпечну зону, персонал повинен документувати цю інформацію. Це може включати заповнення журналу контролю безпеки, підписання документів або використання електронних систем реєстрації.

Дотримання цих процедур безпеки перед входом в небезпечні зони допомагає забезпечити безпеку персоналу та запобігти потенційним негативним наслідкам, пов'язаним з роботою на підприємствах атомної енергетики.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

ТС 19510080

Арк

Вип Арк № докум. Підп. Дата

50

У разі виникнення аварійних ситуацій або аварій на АЕС вирішальне значення мають швидкі та ефективні дії. Основні етапи процедур аварійного реагування включають: негайне оповіщення відповідних служб і запуск протоколів аварійного реагування, евакуація персоналу та надання першої медичної допомоги постраждалим, здійснення заходів з локалізації та пом'якшення наслідків аварії та потім проведення розслідувань та аналіз причин аварії для запобігання подібних ситуацій у майбутньому.

Інв. № докл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ТС 19510080	Арк
						51
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

## ВИСНОВКИ

Отже, атомні електростанції являються найпоширенішими джерелами РАВ. Наступними за постачанням радіоактивних відходів є медичні установи, дослідні лабораторії та організації з переробки ядерного палива. Вони можуть бути різні за потужністю та напрямком діяльності, але все одно виробляти РАВ, які потребують утилізації, або захоронення.

Викиди на АЕС поділяються на навмисні та ненавмисні. Навмисні викиди зазвичай здійснюються в процесі планової роботи або експериментів, тоді як ненавмисні викиди можуть статися через аварійні ситуації або несправності у системах безпеки. В обох випадках радіоактивні викиди можуть мати серйозні наслідки для здоров'я людей та довкілля. Тому, важливо приділяти велику увагу попередженню викидів та використовувати всі можливі заходи для зменшення їх ризиків та наслідків.

В ході дипломної роботи були проаналізовані різні методи утилізації та захоронення радіоактивних відходів.

До захоронення допускаються всі види радіоактивних відходів, в не залежності від ступеню радіоактивності. У розділі 2 були розглянуті захоронення в глиняних, сольових та кристалічних формаціях в при поверхневих зонах, вертикальних отворах та шахтних тунелях. Були наведені приклади технологій та географія використання.

В свою чергу, утилізація РАВ – це більш вибагливий та складний процес. В розділі 3 були наведені різні методи утилізації відходів в залежності від їх агрегатного стану та ступеня активності радіонуклідів. До них відносяться: метод розсіювання – для газоподібних РАВ; термічний, сорбційний, мембранний методи – для рідких РАВ; спалювання, механічний, термічний методи, а також кондиціонування, омонілічування, осклування, плавлення, окиснення – для твердих РАВ.

Підп. і дага	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дага	
Інв.№поодл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 19510080

Арк

52

В роботі була прицілена увага до правил пакування та транспортування радіоактивних відходів, а також охороні праці та безпеці життєдіяльності на підприємствах ЯПЦ.

Безпека праці та охорона життя на атомних електростанціях мають першорядне значення. Аналіз шкідливих і небезпечних факторів у роботі АЕС, дотримання загальних положень охорони праці та техніки безпеки, а також забезпечення безпеки під час аварійних ситуацій відіграють вирішальну роль у запобіганні аварій і збереженні життя та здоров'я працівників. Дотримання цих вимог необхідне для успішної та безпечної експлуатації атомних електростанцій.

Інв. № покл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 19510080	Арк
						53

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гресь, І.М., Яцишин, А.В., Стецик, О.В. Поводження з радіоактивними відходами у світі та в Україні // Наукові праці Національного університету водного господарства та природокористування. - 2016. - Вип. 2(64). - С. 97-103. - URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnvugpk\\_2016\\_2\\_17](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnvugpk_2016_2_17).

2. Сорока, І.О., Гончаренко, І.І., Іванченко, І.Г. Аналіз проблем в області поводження з радіоактивними відходами в Україні // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. - 2017. - № 3. - С. 10-15. - URL: <http://visnyk.khnu.km.ua/article/view/119602>.

3. Стецик, О.В., Яцишин, А.В., Кіреєв, В.О. Перспективи розвитку інфраструктури для поводження з радіоактивними відходами в Україні // Проблеми інженерної геології та гідрогеології: зб. наук. пр. - К.: ІГН НАН України, 2019. - Вип. 2. - С. 221-232. - URL: [https://www.researchgate.net/publication/333689201\\_Perspektyvy\\_rozvytku\\_infrastruktury\\_dlya\\_povodzhennya\\_z\\_radioaktyvnymy\\_vidkhodamy\\_v\\_Ukrayini](https://www.researchgate.net/publication/333689201_Perspektyvy_rozvytku_infrastruktury_dlya_povodzhennya_z_radioaktyvnymy_vidkhodamy_v_Ukrayini).

4. Білик, І.М. Радіоактивні відходи у Харківській області: проблеми та перспективи // Технічна електродинаміка. - 2018. - № 4. - С. 49-53. - URL: <http://ted-journal.su.edu.ua/article/view/139971/139177>.

5. Міжнародне агентство з атомної енергії. (2016). Оцінка безпеки об'єктів та діяльності: Загальні вимоги до безпеки, Частина 4. Відень: Міжнародне агентство з атомної енергії : вебсайт. URL: [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/52/048/52048850.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/52/048/52048850.pdf)

6. Зберігання відходів ядерної енергетики - <https://www.energoatom.kiev.ua/ua/sustainability/safety/radwaste/>

7. Богомолець, Г. Ф., Харченко, О. І., & Гуцало, Ю. М. (2018). Проблеми зберігання та утилізації радіоактивних відходів на території України. Науковий

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

					ТС 19510080	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		
					54	

вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України, 186, 127-138.

8. Кучерявенко, Р. О. (2018). Проблеми зберігання та утилізації радіоактивних відходів. Технічні науки та технології, 4(1), 60-68.

9. Ткаченко, М. М., & Катеринчук, В. І. (2018). Переробка відходів ядерної енергетики. Наукові праці Державного університету інфраструктури та технологій, 1(34), 140-148.

10. Буряк, М. І., Шевченко, С. О., & Козлов, Ю. Є. (2017). Рециклінг ядерних відходів у контексті енергетичної стратегії України. Вісник Національного університету "Львівська політехніка».

11. Науково-технічний журнал "Атомна енергія та технології": вебсайт. URL: <https://aet.iaea.org.ua/>

12. ДСТУ 2827-94 Пакування та маркування. Терміни та визначення.

13. Журнал "Ядерна та радіаційна безпека": вебсайт. URL: <http://nuclear-journal.com/>

14. Сайт Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сфері ядерної енергетики: вебсайт. URL: <https://www.snrc.gov.ua/>

15. Сайт Української асоціації ядерної енергетики: <http://uane.org.ua/>

16. Сайт Українського державного агентства з енергоефективності та енергозбереженням: вебсайт. URL: <https://saee.gov.ua/>

17. Сайт Міністерства енергетики та захисту довкілля України: <https://menr.gov.ua/>

18. Інформаційна система "Радіаційний моніторинг України": вебсайт. URL: <http://radmon.org.ua/11>

19. Денисенко В.М. Основи радіаційної безпеки та захисту в Україні. // Науково-технічний журнал "Радіоактивні відходи", № 1(10), 2018. - С. 9-16.

20. Корнійчук І.М. Захоронення високорадіоактивних відходів в глибинні шахти вугільних копалень. // Енергетика та контроль над водними ресурсами, № 2, 2016. - С. 29-34.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

ТС 19510080

Арк

Вип Арк № докум. Підп. Дата

55

21. Власенко, В. В., & Кравець, І. В. (2018). Місця накопичення радіоактивних відходів в Україні: проблеми та перспективи. Гірничий вісник України, (2), 72-77.

22. Кисельов, О. М., & Хоменко, І. В. (2016). Техногенні радіоактивні відходи та їх зберігання. Вісник Національного технічного університету України "КПІ". Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження, (1 (15)), 74-82.

23. Мазуренко, О. В., Коваленко, В. І., & Ковальова, А. В. (2018). Стан та перспективи управління радіоактивними відходами України. Вісник Хмельницького національного університету, (1), 13-18.

24. Онищенко, Г. Г., & Миронова, В. С. (2017). Радіоактивні відходи: проблеми і перспективи управління. Екологічна безпека та природокористування, (20), 34-39.

25. Хроменко, І. В., & Шабанова, О. В. (2015). Проблеми управління радіоактивними відходами в Україні. Вісник Хмельницького національного університету, (2), 55-59.

26. Shybetskyi Iu.O., Shestopalov V.M., Pochtarenko V.I., Borisova T.A., Shurpach N.O. 2022. Concepts of geological disposal of radioactive waste. Geologičnij žurnal, 1 (378): 03-23. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2022>.

27. IAEA. (2020). Disposal of Radioactive Waste: Methods and Challenges. URL: <https://www.iaea.org/resources/publications/factsheets/disposal-of-radioactive-waste-methods-and-challenges>.

28. Scientific American. (2015). The Pros and Cons of Deep Geological Disposal of Nuclear Waste. URL: <https://www.scientificamerican.com/article/the-pros-and-cons-of-deep-geological-disposal-of-nuclear-waste/>

29. U.S. Nuclear Regulatory Commission. (2021). Disposal of High-Level Radioactive Waste in a Geologic Repository. URL: <https://www.nrc.gov/waste/hlw-disposal/geologic-repository.html>

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

ТС 19510080

Арк

56

Вип Арк № докум. Підп. Дата



30. S.P. Schneider, T.J. Nicholson, and A.M. Knight. (2012). Waste Treatment and Immobilization Plant – Low Activity Waste Facility, Hanford Site, Richland, Washington: Clean Closure Evaluation Report. US Department of Energy.

31. N. Kulkarni, B. Larson, J. Wiggin, and J. Mason. (2014). Thermal Treatment of Low-Level Radioactive Waste Using the GeoMelt(R) In-Container Vitrification Process. Nuclear Technology, 187(1), 87-98.

32. Waste Control Specialists: website. URL: <https://www.wcstexas.com/>

33. Nuclear Fuel Ltd: вебсайт. URL: [https://www.jnfl.co.jp/english/business/waste\\_management/index.html](https://www.jnfl.co.jp/english/business/waste_management/index.html)

34. World Nuclear Association. (2020). Radioactive Waste Management. URL: <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-wastes/radioactive-waste-management.aspx>

35. Проект в Японії з утилізації радіоактивних відходів. URL: <https://www.jaif.or.jp/en/near-project/https://www.reuters.com/article/us-japan-disaster-rareearths/rare-earth-recovery-plant-in-japan-begins-test-run-of-radioactive-soil-idUSKBN0MX0B520150408>

36. Програма утилізації високорадіоактивних відходів на Західному плато у США. URL: <https://www.energy.gov/ne/articles/energy-department-marks-major-milestone-cleanup-former-western-uranium-millhttps://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f7/PAD%202014%20-%20EM%20Western%20Mill%20Brochure.pdf>

37. Сайт з питань ядерної безпеки, радіаційного захисту та нерозповсюдження ядерної зброї [Електронний ресурс] URL: <https://www.uatom.org/povodzhennya-z-radioaktyvnymy-vidhodamy-na-diyuchyh-aes>.

38. Поводження з радіоактивними відходами: в Україні та світі. URL: <https://ecolog-ua.com/news/povodzhennya-z-radioaktyvnymy-vidhodamy-v-ukrayini-ta-sviti>.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№покл.	

## ДОДАТКИ

### Додаток А

Таблиця А.1 – Класифікація радіаційних відходів за критерієм допустимості/недопустимості захоронення в схронах різних видів

Тип РАВ	Дози потенційного опромінення через 300 років після поховання	Тип можливого звільнення в період до 300 років після поховання	Тип поховання РАВ
Короткоживучі	Нижче рівня Б	Повне, обмежене	Поверхнєве або приповерхнєве
Довгоживучі	Вище рівня А	Не розглядається	У стабільних геологічних формаціях

Таблиця А.2 – Класифікація твердих РАВ за можливим рівнем вилучення

[1]

Група РАВ	Тверді РАВ	Рівень вилучення кБк·кг-
1	Трансуранові $\alpha$ -випромінюючі радіонукліди	0,1
2	$\beta$ -випромінюючі радіонукліди (за винятком трансуранових)	1
3	$\beta$ -, $\gamma$ -випромінюючі радіонукліди (за винятком трансуранових)	10
4	$^3\text{H}$ , $^{14}\text{C}$ , $^{36}\text{Cl}$ , $^{45}\text{Ca}$ , $^{53}\text{Mn}$ , $^{59}\text{Fe}$ , $^{63}\text{Ni}$ , $^{93}\text{Nb}$ , $^{99}\text{Tc}$ , $^{109}\text{Cd}$ , $^{135}\text{Cs}$ , $^{147}\text{Pm}$ , $^{151}\text{Sm}$ , $^{171}\text{Tm}$ , $^{204}\text{Tl}$	100

Підп. і дата	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Інв. № подл.

ТС 19510080

Арк

Вип. Арк. № докум. Підп. Дата

58

Таблиця А.3 – Класифікація твердих і рідких РАВ за показником питомої активності елементів [1]

Категорії РАВ	Інтервал значень питомої активності твердих РАВ, кБк·кг-1				Інтервал значень питомої активності рідких РАВ в одиницях кратності
	α-радіонукліди		β-, γ-радіонукліди		
	Група 1	Група 2	Група 3	Група 4	
Низькоактивні	> 10-1; < 101	>100; <102	> 101; < 103	> 102; < 104	> 1 < 102
Середньоактивні	≥ 101; < 105	≥ 102; < 106	≥ 103; < 107	≥ 104; < 108	≥ 102; < 106
Високоактивні	≥ 105	≥ 106	≥ 107	≥ 108	≥ 106

Таблиця А.4 – Класифікація радіаційних відходів з невідомим радіонуклідним складом (НРС) та питомою активністю за показниками потужності поглиненої в повітрі дози радіації на відстані 0,1 м від поверхні контейнера [1]

Категорія РАВ НРС	Потужність поглиненої в повітрі дози, мкГр·рік-1
Низької активності	> 1; ≤ 100
Середньої активності	> 100; ≤ 10000
Високої активності	> 10000

Інв.№лодл.	Підп. і дата
Взаєм.інв.№	Підп. і дата
Інв.№дубл.	Підп. і дата

Додаток Б

Таблиця Б.1 – Переваги та недоліки методів утилізації РАВ

Стан РАВ	Назва методу	Переваги	Недоліки	Найкращі приклади використання методу
Газоподібні	Метод розсіювання	Ефективність Вартість Простота	Небезпека для здоров'я Екологічна шкода Можливі проблеми з громадкістю.	Найчастіше використовується для відходів, що містять радон, наприклад, відходи, що утворюються під час досліджень ядерних реакторів та у вугільних шахтах.
	Термічний метод	Висока ефективність видалення радіоактивних речовин з відходів; Зменшення об'єму відходів шляхом зведення їх до золи; Можливість використання відходів як джерела енергії.	Висока вартість технології та її утримання; Низька безпека для працівників та навколишнього середовища через високі температури; Використання цього методу недоцільно для відходів з високим вмістом органічних сполук.	Термічний метод може бути ефективним, якщо відходи мають високу радіоактивність та малу об'ємну частку, але не допускається їх зберігання.
Рідкі	Сорбційний метод	Висока ефективність видалення радіоактивних речовин з рідинних відходів;	Сорбційний метод	Висока ефективність видалення радіоактивних речовин з рідинних відходів;

Інв.№лодл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата

Таблиця Б.2 – Продовження таблиці «Переваги та недоліки методів утилізації РАВ»

Стан РАВ	Назва методу	Переваги	Недоліки	Найкращі приклади використання методу
Рідкий	Мембранний метод	Висока ефективність видалення радіоактивних речовин з відходів; Низька вартість технології та її утримання; Необхідність мінімізації впливу на навколишнє середовище; Висока ефективність утилізації; Відповідність стандартам безпеки та здоров'я працівників.	Висока вартість матеріалів та обладнання для мембранної фільтрації. Потреба у досить високій температурі та тиску для оптимального функціонування мембрани. Низька продуктивність порівняно з іншими методами утилізації.	Мембранний метод може бути ефективним у випадках, коли відходи містять велику кількість рідких компонентів.
	Механічна переробка	можливість отримання вторинних сировинних матеріалів, зменшення об'єму відходів, зниження ризику радіаційного забруднення	Не всі відходи можуть бути перероблені механічним шляхом, можливість виникнення пилу, що може містити радіонукліди.	Метод механічної переробки РАВ є ефективним для відходів, які мають значну кількість металевих матеріалів, наприклад, радіоактивні металеві відходи.
Тверді	Суперпресування	можливість зменшення об'єму відходів до 1-5% від початкового, зниження ризику радіаційного забруднення, зручність транспортування;	складність технології, необхідність високої енергозатратності.	Метод суперпресування РАВ є ефективним для високоактивних відходів з малим об'ємом. Він не є ефективним для великих об'ємів відходів та вимагає.

Інв. № по одл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата