

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра екології та природозахисних технологій

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Леонід ПЛЯЦУК

(підпис)

_____ 20__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня бакалавр
зі спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища»
освітньо-професійної програми
«Технології захисту навколишнього середовища»
на тему:

**Дослідження впливу ядерних відходів на довкілля та зменшення
потенційних ризиків**

Здобувача групи ТС-01 Літовченко Вадіма Олеговича

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело.

(підпис)

Вадім ЛІТОВЧЕНКО

Керівник –доцент кафедри екології
та природозахисних технологій, к.т.н., доцент

(підпис)

Ігор РОЙ

Суми – 2024

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 Літовченко Вадіму Олеговичу Група ТС-01

1. Тема кваліфікаційної роботи: Дослідження впливу ядерних відходів на довкілля та зменшення потенційних ризиків.

2. Вихідні дані: Бази даних Scopus для пошуку статей за темою роботи, наукові статті, інформація з сайтів МАГАТЕ (Міжнародне агентство з атомної енергії) та NRC (Nuclear Regulatory Commission).

3. Перелік обов'язкового графічного матеріалу:

- Структура систем зберігання та обробки ядерних відходів.
- Принципова схема процесу зберігання та захоронення ядерних відходів.
- Схематичні зображення впливу ядерних відходів на різні компоненти довкілля.
- Зображення радіаційного фону в районах зберігання ядерних відходів до і після впровадження заходів безпеки.

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 – 04.04.2024

Керівник _____ доцент, к.т.н., доцент Рой Ігор
Олександрович

АНОТАЦІЯ

Структура та обсяг випускної кваліфікаційної роботи бакалавра.

Робота складається із вступу, 5 розділів, висновків, переліку джерел посилання, який містить 17 найменувань. Загальний обсяг бакалаврської роботи становить 51 сторінок, у тому числі 0 таблиць, 18 рисунків, перелік джерел посилання 2 сторінок.

Мета роботи – Метою роботи є вивчення впливу ядерних відходів на довкілля, аналіз можливостей забезпечення їхньої безпеки та розробка стратегій зменшення потенційних ризиків.

Для досягнення зазначеної мети було поставлено та виконано такі завдання:

- Аналіз впливу ядерних відходів на навколишнє середовище.;
- Дослідження можливостей рециклінгу та повторного використання ядерних матеріалів;
- Вивчення технологічних інновацій для зменшення обсягів ядерних відходів

Об'єкт дослідження – ядерні відходи та їх вплив на довкілля.

Предмет дослідження – ядерні відходи та їх вплив на навколишнє середовище, зокрема, досліджуються методи їх управління, обробки, зберігання та використання, а також інноваційні технології для зменшення їхнього виробництва та мінімізації ризиків для здоров'я людини та довкілля.

У кваліфікаційній роботі проаналізовано – сучасний стан проблеми ядерних відходів та їх вплив на довкілля. Виконано – аналіз впливу ядерних відходів на довкілля та безпеку. Запропоновано – рекомендації щодо покращення системи управління ядерними відходами. Розроблено – стратегії забезпечення безпеки при зберіганні та обробці ядерних відходів

Ключові слова: Ядерні відходи, вплив на довкілля, безпека, зменшення ризиків, технологічні інновації, рециклінг, повторне використання.

ЗМІСТ

Вступ.....	5
Розділ 1 Теоретичні аспекти ядерних відходів.....	6
1.1. Поняття ядерних відходів.....	6
1.2. Типи ядерних відходів та їх характеристика	8
1.3. Процеси утворення ядерних відходів.....	11
Розділ 2 Вплив ядерних відходів на довкілля.....	15
2.1 Забруднення ґрунту води та повітря.....	15
2.2. Вплив на біорізноманіття.....	18
2.3. Екологічні наслідки аварійних ситуацій на атомних станціях.....	22
Розділ 3 Забезпечення безпеки ядерних відходів	26
3.1 Методи зберігання та обробки ядерних відходів.....	26
3.2 Системи контролю та моніторингу	30
3.3 Міжнародні стандарти та регулювання у сфері ядерної безпеки.....	33
Розділ 4 Зменшення потенційних ризиків.....	37
4.1 Технологічні інновації для зменшення обсягів ядерних відходів.....	37
4.2 Проект рециклінгу та повторного використання ядерних матеріалів.....	40
Розділ 5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	44
5.1 Основні принципи радіаційної безпеки.....	44
5.2 Умови праці на об'єктах з ядерними відходами.....	44
5.3 Засоби індивідуального захисту.....	45
5.4 Дії в надзвичайних ситуаціях.....	46
5.5 Моніторинг та контроль стану здоров'я працівників.....	46
5.6 Законодавчі та нормативні вимоги.....	47
Висновки.....	48
Список джерел посилання.....	50

Підп. і дата									
Інв.№доубл.									
Взаєм.інв.№									
Підп. і дата									
Інв.№поділ.									
Розроб.	Перев.	Н.Контр Затв.	Літовченко Рой Батальцев Пляцук	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 20510042		
Дослідження впливу ядерних відходів на довкілля та зменшення потенційних ризиків							Літ.	Аркуш	Аркушів
								4	51
							СумДУ, ф-т ТеСЕТ гр. ТС-01		

ВСТУП

В сучасному світі питання ядерної енергетики та управління ядерними відходами є одним із найважливіших і актуальних напрямків розвитку науки та техніки. Ядерна енергія є значущим джерелом електроенергії в багатьох країнах світу і відіграє ключову роль у забезпеченні енергетичної безпеки та сталого розвитку. Однак разом зі зростанням виробництва ядерної енергії посилюється і проблема управління ядерними відходами, яка вимагає серйозного наукового й технологічного підходу.

Метою даної дипломної роботи є вивчення впливу ядерних відходів на довкілля, забезпечення їхньої безпеки та зменшення потенційних ризиків. У рамках роботи проводиться аналіз сучасних методів управління, обробки, зберігання та використання ядерних відходів, а також дослідження технологічних інновацій для їхнього зменшення та повторного використання.

Дослідження є актуальним, оскільки виробництво ядерної енергії породжує значні обсяги радіоактивних відходів, які потребують високої ступені обережності та ефективного управління. Забезпечення безпеки та зменшення ризиків для навколишнього середовища та здоров'я людини вимагає пошуку нових технологічних рішень та вдосконалення існуючих підходів до управління ядерними відходами.

Дана дипломна робота присвячена дослідженню цих питань та розглядає різноманітні аспекти управління ядерними відходами з метою підвищення ефективності та безпеки ядерної енергетики.

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

ТС 20510042

Арк

5

РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ЯДЕРНИХ ВІДХОДІВ

1.1 Поняття ядерних відходів

Ядерними відходами називаються матеріальні об'єкти і субстанції, активність радіонуклідів або радіоактивне забруднення яких перевищує рівні, встановлені чинними нормами, за умови, що використання цих об'єктів і субстанцій не передбачається. [1, с. 5]

У процесі виробництва електроенергії задіяні не лише атомні електростанції, але й багато інших споруд і установок. В результаті їх діяльності утворюється великий обсяг ядерних відходів. Ядерні відходи – радіоактивні і небезпечні. Вони містять атомні ядра, які з часом випадково трансформуються (внаслідок реакції розпаду або розщеплення) в інші атомні ядра. Під час таких трансформацій радіоактивні відходи виділяють іонізуюче випромінювання. Це так зване α -, β -, γ - або нейтронне випромінювання, яке має здатність проникати в будь-яку речовину на своєму шляху, іонізувати і таким чином руйнувати її.

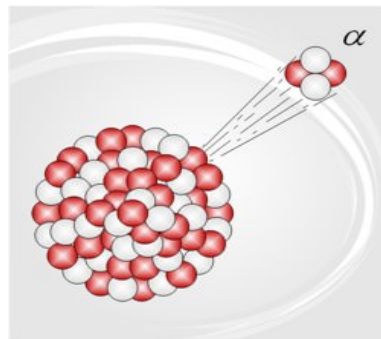


Рисунок 1.1 – Схематичне зображення α -розпаду

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

ТС 20510042

Арк

6

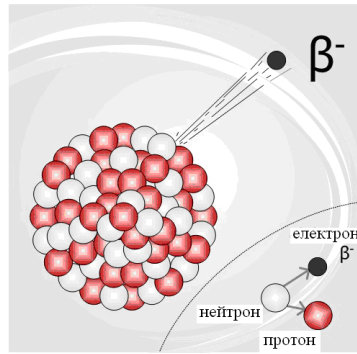


Рисунок 1.2 – Схематичне зображення β -розпаду

У відходах міститься велика кількість радіоактивних ядер. Тільки в одному контейнері з відходами за одну секунду відбувається розпад мільярдів атомних ядер. Одиницею вимірювання активності радіоактивного джерела, у якому за одну секунду відбувається один радіоактивний розпад, є бекерель (Бк). Кількість розпадів у певному контейнері з відходами залежить від виду хімічних елементів, до яких належать радіоактивні атомні ядра (відомі як радіонукліди), а також від того, скільки відповідних радіонуклідів було у відходах на початку реакції (загальна радіоактивність) і скільки часу минуло з початку реакції. У кожного радіонукліда свій період напіврозпаду. Період напіврозпаду означає проміжок часу, протягом якого розпадається половина даної кількості ядер певного типу (які перетворюються в інший елемент або ізотоп). Період напіврозпаду різних радіонуклідів може становити як частки секунди, так і мільярди років. Деякі відходи є не лише радіоактивно небезпечними, але і містять токсичні хімічні речовини.

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 20510042

Арк

7

Життєвий цикл ядерного палива

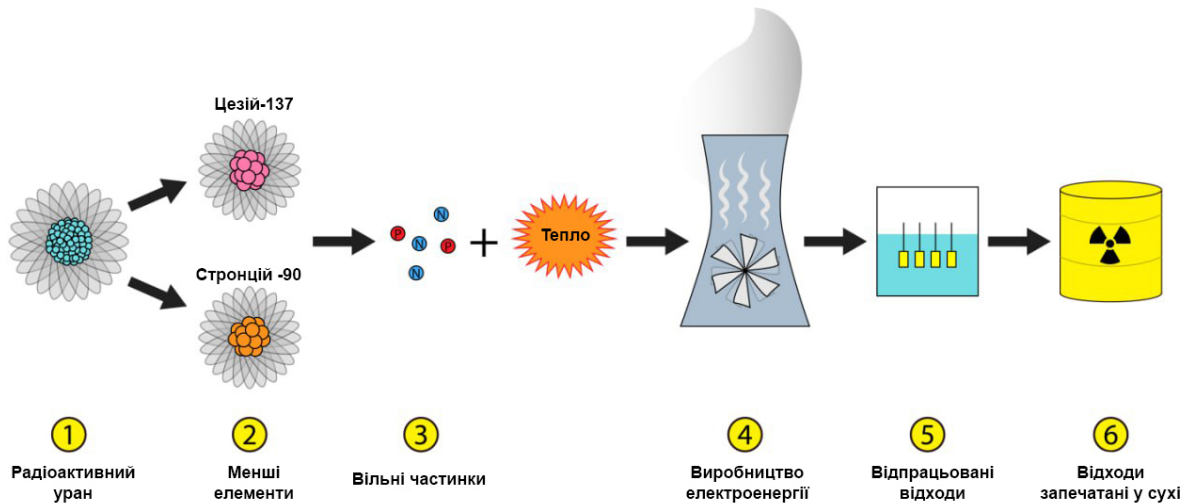


Рисунок 1.3 – Життєвий цикл ядерних відходів

1.2 Типи ядерних відходів та їх характеристика

Ядерні відходи містять радіоактивні елементи, які випромінюють вищі рівні радіації, ніж природне фонове випромінювання.

Ядерні відходи можна класифікувати на три основні категорії - низько радіоактивні, середньо радіоактивні та високорадіоактивні. [2]

Відходи дуже низького рівня

Це відходи, рівень радіоактивності яких стає безпечним одразу після переробки або під час тимчасового зберігання. Вони можуть бути звільнені від ядерного регулювального контролю незалежно від загальної радіоактивності. Їх також називають "проміжними" або "легко радіоактивними". Схожі відходи включають будівельний сміття, дезактивовані металеві деталі після вилучення з експлуатації та відходи, що містять уран. Також "проміжні" відходи утворюються внаслідок роботи ядерних установок.

Відходи середнього рівня

Інв. №подл.		Підп. і дата		Підп. і дата		Взаєм. інв. №		Інв. №дубл.		Підп. і дата	
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 20510042						Арк
											8

Це відходи з низьким тепловиділенням, які не потребують активного охолодження, що дозволяє досить швидко приступити до кінцевого захоронення. Допустиме тепловиділення встановлюється для кожної території окремо. Область відходів низької та середньої активності поділена на дві частини, що відповідають періодам напіврозпаду радіонуклідів:

а) короткоживучі відходи

Це відходи, що містять короткоживучі радіонукліди (час напіврозпаду близько 30 років) та лише сліди довгоживучих α -випромінюючих радіонуклідів (приблизно 400 Бк/г).

б) довгоживучі відходи

Це відходи з високою концентрацією довгоживучих радіонуклідів.

Відходи високого рівня

Це відходи з дуже високою загальною радіоактивністю, тепловиділення яких може тривати як під час тимчасового зберігання, так і після кінцевого захоронення. До таких відходів, як правило, відносяться відпрацьоване паливо ядерних електростанцій та контейнери для зберігання ядерних відходів.



Рисунок 1.4 – Ядерний могильник, де містяться відходи високого рівня

Крім того, ядерні відходи розділяють за агрегатним станом на тверді, рідкі та газоподібні відходи. Більш детальніше про них:

Інв. №поділ.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата	ТС 20510042				Арк
					Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

До газоподібних радіоактивних відходів відносяться викиди газів та аерозолів з вентиляційних систем енергоблоків та установок обробки радіоактивних відходів.

Рідкі радіоактивні відходи (РРВ) утворюються внаслідок діяльності ядерних установок, проведення дезактиваційних робіт, функціонування лабораторій, пралень тощо. До РРВ відносяться: розчини неорганічних речовин; пульпи фільтрувальних матеріалів і шлами; сольові плави; органічні рідини (масла, розчинники). [1, с.14]

Тверді радіоактивні відходи утворюються внаслідок різних процесів, пов'язаних з ядерною промисловістю, медициною, дослідженнями та іншими галузями, де використовуються радіоактивні матеріали. Ці відходи включають різноманітні матеріали та предмети, що містять або забруднені радіоактивними речовинами. Основні складові твердих радіоактивних відходів включають: використані паливні елементи, реакторні компоненти та різні конструкційні матеріали та забруднені ґрунти.

Також ядерні відходи поділяють на відходи, які походять від різних джерел. Найчастіше ядерні відходи розділяють за чотирма основними категоріями :

Відходи від ядерних реакторів енергетичних установок:

Ці відходи включають в себе використані паливні елементи з реакторів, контейнери для зберігання та транспортування відпрацьованого палива, а також інші радіоактивно забруднені матеріали, що утворюються в процесі виробництва електроенергії.

Відходи від установок з переробки ядерного палива:

Ці відходи включають в себе різноманітні відходи, що утворюються в процесі переробки та збагачення ядерного палива, такі як відпрацьоване ядерне паливо, рідкі та тверді відходи, що виникають внаслідок хімічних процесів.

Відходи від медичних діагностичних та терапевтичних процедур:

Ці відходи включають в себе використані або забруднені матеріали, що використовуються в лікарнях для діагностики та лікування різних захворювань.

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

						ТС 20510042	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			10

Це можуть бути використані радіо фармацевтичні препарати, контейнери та упаковки, що містять радіоактивні речовини.

Відходи від дослідницьких та інших промислових діяльностей:

Ці відходи включають в себе різноманітні матеріали та об'єкти, що містять або забруднені радіоактивними речовинами, і які виникають внаслідок проведення досліджень, виробництва радіоактивних речовин або використання радіоактивних джерел.

1.3 Процеси утворення ядерних відходів

Ядерні відходи утворюються внаслідок різноманітних ядерних процесів, що відбуваються під час виробництва ядерної енергії, обробки ядерного палива, а також під час застосування радіоактивних матеріалів у медицині, науці та промисловості. Джерела утворення ядерних відходів є важливими для розуміння їхнього впливу на довкілля та здоров'я людини.

Доглядаючи тему утворення ядерних відходів одразу зрозуміло, що можливо виділити п'ять основних джерел утворення ядерних відходів при використанні ядерної енергетики. А саме: ядерні відходи, які утворюються під час видобутку та обробки уранової руди, ядерні відходи, які утворюються під час експлуатації атомних електростанцій, ядерні відходи, які утворюються під час переробки використаного ядерного палива, ядерні відходи, які утворюються під час виведення з експлуатації ядерних об'єктів та ядерні відходи, які утворюються під час обробки радіоактивних відходів.

Основними джерелами утворення ядерних відходів є діючі АЕС. Радіоактивні речовини утворюються під час роботи АЕС на потужності при поділі ядер U235, U233, Pu239 в активній зоні реактора, а також в результаті активації нейтронами різних матеріалів, що знаходяться в активній зоні, тобто як продукти ядерних реакцій тощо. У середньому, залежно від потужності та типу реакторної

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

						ТС 20510042	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			11

установки, за рік утворюється від 0,15 до 0,35 м3 рідких радіоактивних і від 0,1 до 0,3 м3 – твердих радіаційних відходів на 1 МВт. [3]



Рисунок 1.5 – Мапа атомних електростанцій України

Не менш незначним джерелом утворення ядерних відходів є також видобуток та оброблення уранової руди. В основі виробництва ядерної енергії лежить процес розпаду особливого уранового ядра. Уран - це радіоактивна речовина, яка знаходиться у надрах землі. Багаті поклади урану сконцентровані в деяких частинах світу. Відходи гірничого виробництва, що утворюються під час видобутку руди, а також великі обсяги забрудненої води, викачаної із шахти, є найбільш небезпечними серед ядерних відходів.

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 20510042	Арк 12
-----	-----	----------	-------	------	-------------	-----------

Під час гірничодобувних робіт утворюються тверді, рідкі та газоподібні урано вміщувальні відходи, які набагато небезпечніші для людини, ніж природний уран. Хоча концентрація небезпечних радіонуклідів у таких відходах досить низька, переробка великих обсягів гірської породи - кілька сотень тисяч тон - на певній території призводить до високого рівня їх сумарної радіоактивності. Такі відходи накопичуються на поверхні землі у величезних кількостях

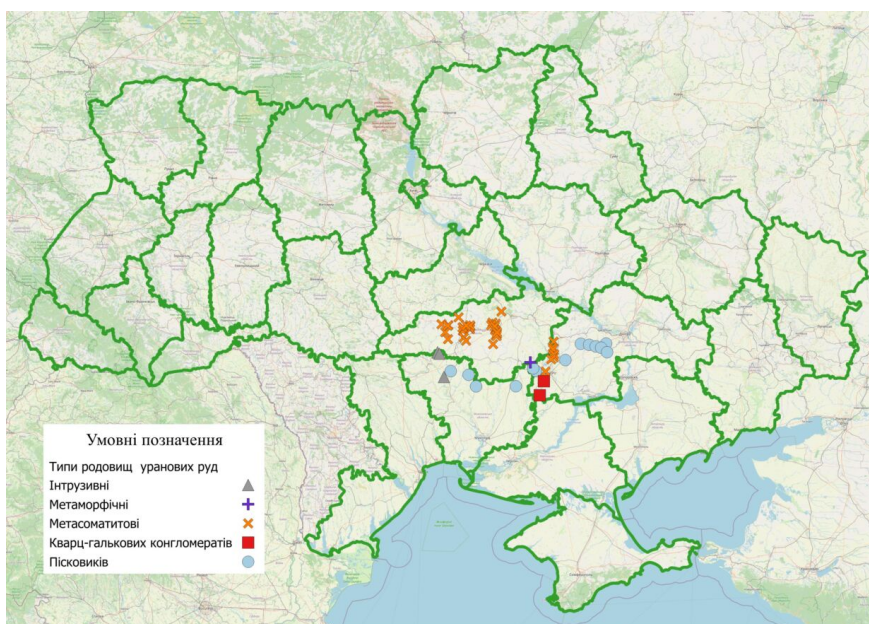


Рисунок 1.6 – Мапа родовищ урану в Україні

Під час переробки використаного ядерного палива утворюються різноманітні види ядерних відходів. Процес переробки включає етапи розподілу, виділення корисних компонентів та відокремлення радіоактивних відходів. Основні види ядерних відходів, які утворюються під час цього процесу, включають відпрацьоване ядерне паливо, тверді радіоактивні відходи, рідкі радіоактивні відходи, газоподібні радіоактивні відходи та інші матеріали, які містять радіоактивні речовини.

Дуже цікавими для мене були саме ядерні відходи, які утворюються під час виведення з експлуатації ядерних об'єктів. Порівняно з іншими процесами утворення ядерних відходів, цей процес напряму залежить від діяльності людей

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

				ТС 20510042		Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	13	

та їх обережності. У сучасному світі, люди ще не навчилися максимально якісно та ефективно вивести з експлуатації ядерні об'єкти, тому таких організацій в світі не дуже багато. Наприклад: Єдиною експлуатуючою організацією в Україні, яка має ліцензію на право провадження діяльності на етапі життєвого циклу ядерної установки «зняття з експлуатації», є Державне спеціалізоване підприємство «Чорнобильська АЕС». [4, с.53]

Сам процес зняття з експлуатації є дуже послідовним та складним. Ось як він приблизно виглядає: Підготовчий етап призначений для підготовки енергоблока до безпечного виведення з експлуатації. У разі планового зняття з експлуатації енергоблока на майданчику АЕС здійснюються спорудження, монтаж і пуск установок з переробки рідких і твердих ядерних відходів або готуються додаткові вмістилища для тимчасового їх зберігання. Такі роботи фінансуються за рахунок експлуатаційних витрат діючого енергоблока. При позаплановому виведенні, як у випадку з Чорнобильською АЕС, потрібне додаткове фінансування.

На етапі припинення експлуатації установки звільнюються від накопичених під час їх експлуатації. Цей етап передбачає проведення комплексного інженерного й радіаційного обстеження, при якому оцінюються об'єми ядерних відходів і від результатів якого прямо залежить вартість робіт щодо поводження з ядерних відходів, напрацьованих до моменту зупину енергоблока. На основному етапі зняття з експлуатації проводиться практично весь комплекс робіт з ядерними відходами. [1, с.141]

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

ТС 20510042

Арк

Вип. Арк. № докум. Підп. Дата

14

РОЗДІЛ 2 ВПЛИВ ЯДЕРНИХ ВІДХОДІВ НА ДОВКІЛЛЯ

2.1 Забруднення ґрунту води та повітря

Забруднення ґрунту, води та повітря: важливий аспект впливу ядерних відходів. Забруднення ґрунту, води та повітря являє собою складну проблему, що виникає внаслідок використання ядерної енергії та накопичення відходів, які містять радіоактивні речовини. Ці аспекти впливу є важливими для забезпечення сталого розвитку та здоров'я населення.

Радіоактивні матеріали, які потрапляють в ґрунт, можуть залишатися там на довгий час, оскільки ґрунт є досить стійким середовищем. Це може призвести до акумуляції радіоактивних речовин у рослинах та ґрунтових організмах, що знаходяться на початковому рівні харчового ланцюга. Внаслідок цього, радіоактивні речовини можуть потрапляти в організм людини через харчові продукти, що вирощуються на забрудненій землі, що може призвести до підвищеного ризику радіаційних захворювань та інших проблем здоров'я.

Концентрація природних радіонуклідів у ґрунті змінюється у широких межах і залежить від інтенсивності ґрунтоутворювальних процесів. У ґрунтовому покриві найбільше міститься радіоактивного калію (до 2,5 % його маси), тоді як урану, торію чи радію у сотні й мільйони разів менше. Вміст радіоактивних речовин змінюється залежно від типу ґрунту. Наприклад, у дерново-підзолистих ґрунтах щільність ^{40}K лише 4 пКі/г, а у чорноземах перевищує 11 пКі/г [5, с.58]

Радіоактивне забруднення водного середовища, виникає в результаті різноманітних діяльності людини, таких як використання ядерної енергії, виробництво ядерної зброї, обробка відпрацьованого ядерного палива та інші процеси. Це забруднення може мати серйозні наслідки для екосистем водоймищ, здоров'я людей та інших живих організмів.

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

						ТС 20510042	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			15

Водне середовище природно має вміст радіонуклідів, але радіоактивні речовини, що містяться у водному середовищі, сприймаються, як і інші мінеральні елементи, рослинами і тваринами. Інтенсивність накопичення радіонуклідів водними організмами перебуває у прямій залежності від температури води та кількості завислих речовин і в зворотній – від концентрації в них кальцію. [5, с.60]

Щодо забруднення радіоактивними відходами то, одним з основних джерел радіоактивного забруднення водних джерел є ядерні електростанції. Вони використовуються для виробництва електроенергії шляхом ядерного реактора. Процеси виробництва електроенергії на ядерних електростанціях супроводжуються утворенням великих обсягів відпрацьованого ядерного палива та ядерних відходів. Відпрацьоване ядерне паливо містить радіоактивні ізотопи, такі як уран, плутоній та інші, які можуть потрапляти в навколишнє середовище через різні шляхи, включаючи викиди в атмосферу, виливання у водойми або поглиблення в ґрунт.

Крім того, радіоактивне забруднення водних ресурсів може стати результатом аварійних ситуацій на ядерних електростанціях, як це сталося, наприклад, у Чорнобильській ядерній електростанції в 1986 році. Під час аварії великі обсяги радіоактивних матеріалів були викинуті в атмосферу та потрапили в водоймища через опади. Це призвело до серйозного забруднення водних ресурсів в Україні та прилеглих країнах, а також до серйозних наслідків для здоров'я населення та екосистеми.

Окрім ядерних електростанцій, іншим джерелом радіоактивного забруднення водних ресурсів є викиди та виливання радіоактивних матеріалів від промислових підприємств, які використовують радіоактивні речовини у своїй діяльності. Наприклад, виробництво та обробка ядерного палива, медичні установки, дослідницькі лабораторії та інші.

Забруднення водних ресурсів радіоактивними матеріалами може мати серйозні наслідки для екосистем, включаючи водних тварин, рибу та рослини,

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

						ТС 20510042	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			16

які можуть акумулювати радіоактивні речовини у своїх тілах та потрапляти в харчовий ланцюг. Крім того, це може призвести до забруднення питної води та зниження якості життя людей, які залежать від цих водних ресурсів для пиття та зрошення.

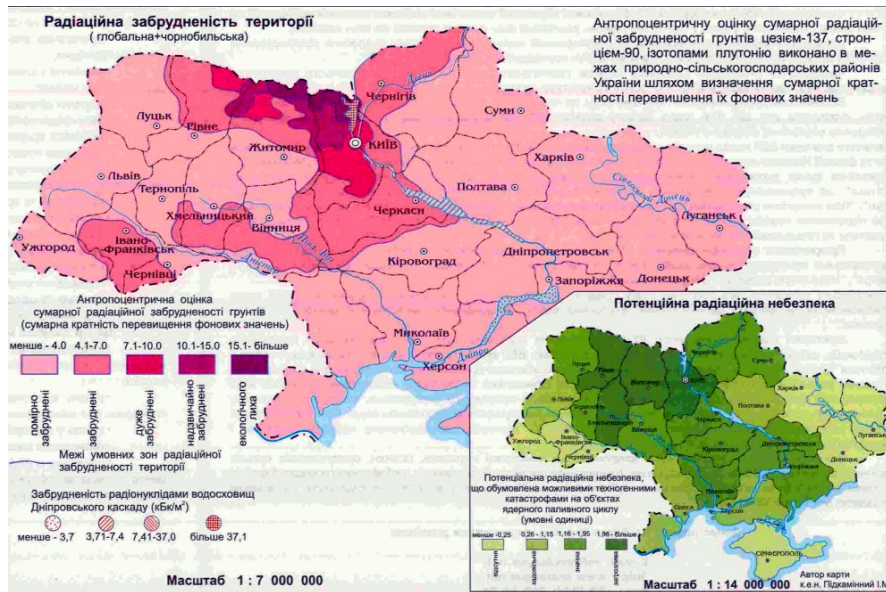


Рисунок 2.1 – Мапа забруднення ґрунту та водою в Україні

Забруднення повітря ядерними відходами може виникати внаслідок різних ядерних подій, таких як аварії на ядерних енергоблоках, випромінювання під час переробки використаного ядерного палива, випромінювання, під час випробувань ядерної зброї та інших ядерних подій. Це може призводити до викиду радіоактивних речовин у повітря, які потім розповсюджуються на значні відстані, забруднюючи атмосферу та призводячи до радіоактивного забруднення середовища. [6, с.26]

Забруднення повітря ядерними відходами може мати серйозні наслідки для здоров'я людини та навколишнього середовища. Радіоактивні речовини, які потрапляють в повітря, можуть впливати на людей та інших живих істот. Природні і техногенні радіонукліди надходять у організм тварини, як і до організму людини, через органи дихання, шлунково-кишковий тракт і

Інв.№поодл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№одубл.	Підп. і дата	ТС 20510042					Арк
					Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	17

поверхню шкіри. Однак потенційний внесок від зазначених шляхів далеко не однаковий і може становити (у відносних одиницях): через шлунково-кишковий тракт – 1000, органи дихання – 1, шкіру – 0,0001. [5, с.60]

Для моніторингу та контролю за забрудненням повітря використовуються різні методи, такі як радіаційний моніторинг, аналіз зразків повітря та води, а також моніторинг здоров'я населення. Це допомагає виявляти та відстежувати радіоактивні забруднення, а також вживати заходів для їх усунення та зменшення впливу на здоров'я та довкілля.

2.2 Вплив на біорізноманіття

Вплив ядерних відходів на біорізноманіття може бути значним і має далекосяжні наслідки для екосистем та видів, які існують в цих середовищах. Радіоактивні речовини, що потрапляють в навколишнє середовище через різноманітні шляхи, такі як викиди з ядерних енергоблоків, аварії на атомних станціях або випробування ядерної зброї, можуть мати серйозні наслідки для різноманітності життя на планеті.

Різноманітні радіоактивні елементи, такі як цезій-137, стронцій-90, плутоній-239, які мають високу радіоактивність і можуть залишатися активними на протязі тривалого часу. Крім того, великі викиди таких речовин, як радій, у повітря під час аварійних ситуацій можуть мати серйозні наслідки для біорізноманіття.

Інв. № покл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ТС 20510042					Арк
										18
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

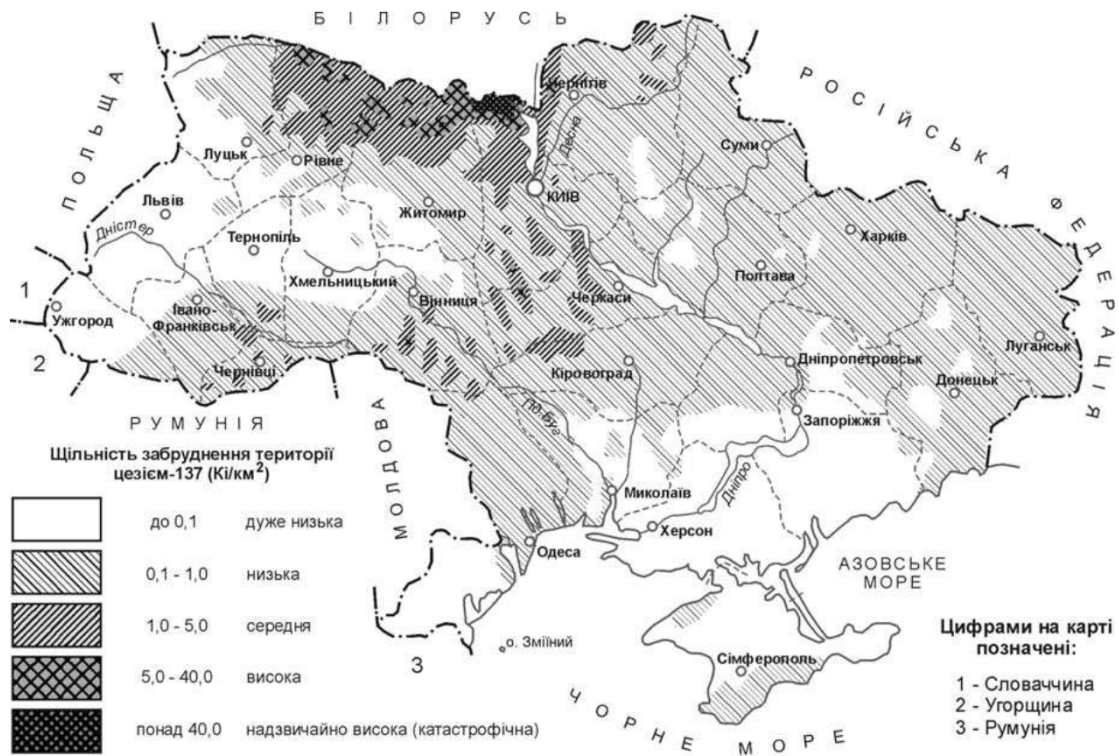


Рисунок 2.2 – Радіоактивне забруднення території України цезієм

Однією з основних причин занепокоєння щодо впливу ядерних відходів на біорізноманіття є їх потенційна здатність до магніфікації через ланцюжок харчування. Наприклад, рослини, які зростають на ґрунті, забрудненому радіоактивними речовинами, можуть накопичувати ці речовини в своїх тканинах. Потім ці речовини можуть передаватися тваринам, які їх споживають, і таким чином потрапляти у верхні рівні харчових ланцюжків. Це може призвести до того, що великі тварини, такі як хижаки, акули або птахи, можуть накопичити великі концентрації радіоактивних речовин у своїх тканинах, що може призвести до серйозних проблем для їхнього здоров'я та виживання.

Крім того, радіоактивні відходи можуть мати дефектний вплив на організми, які живуть у водних екосистемах. Риба, водорості та інші водні організми можуть поглинати радіоактивні речовини з водою, що може

Інв. №подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата	TC 20510042	Арк
						19
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

привести до їхньої радіоактивної забрудненості. Це може мати негативний вплив на водні екосистеми в цілому, оскільки радіоактивність може накопичуватися в системі та поширюватися через харчові ланцюги.

У зв'язку з цим, моніторинг та контроль за рівнями радіоактивного забруднення у водних екосистемах є важливою задачею для збереження біорізноманіття. Використання різних методів аналізу, таких як радіаційний моніторинг води та водних організмів, дозволяє виявляти та вимірювати рівні радіоактивного забруднення у водних екосистемах.

Географія радіоактивного забруднення. Радіаційна ситуація водних екосистем України визначається величиною привнесення радіонуклідів водотоками із забруднених басейнів. Основними постачальниками радіонуклідів після аварії на Чорнобильській АЕС є стоки річок Дніпра та його основних поліських допливів Прип'яті, Десни і Тетеріва. Нижня ділянка р. Прип'ять і верхня частина Київського водосховища були включені в 30-кілометрову зону відчуження. Нижче за течією Дніпро, його допливи та дніпровські водосховища стали основними шляхами перенесення радіонуклідів із забруднених територій у Чорне море. [5, с.86]

Окрім впливу на водні екосистеми, ядерні відходи можуть також мати поганий вплив на рослини та ґрунтові організми. У рослин, так само як і в тварин, після впливу іонізуючого випромінювання розвивається радіаційний синдром, який на початковому етапі має спільні риси з аналогічним у тварин, але в подальшому набуває своєї специфіки. При рівномірному опроміненні рослини, коли будь-яка її частина одержує однакову дозу радіації, її пошкодження зумовлене радіаційним ушкодженням найбільш радіо чутливих тканин. Такі радіочутливість тканини, ушкодження яких призводить до формування радіаційного синдрому у рослин, називаються критичними. Критичними органами у рослин є всі меристеми: апікальні, латеральні, інтеркалярні. Оскільки всі органи рослини формуються з меристем, то при їх опроміненні спостерігається ушкодження майже всіх органів - як вегетативних,

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 20510042	Арк 20
-----	-----	----------	-------	------	-------------	-----------

так і генеративних. У цьому полягає специфіка формування радіаційного синдрому у рослин. [7] Такий вплив може мати серйозні наслідки для сільського господарства та харчової безпеки, оскільки радіоактивне забруднення може поширюватися через харчові ланцюги та впливати на безпеку харчових продуктів.

Крім того, радіоактивні відходи можуть мати дефектний вплив на мікроорганізми та інші біологічно активні складові ґрунту. Бактерії, гриби та інші мікроорганізми можуть бути чутливі до радіоактивного забруднення та можуть зазнавати певних змін у своїй життєдіяльності та розподілі в умовах забрудненого середовища. Це може мати серйозні наслідки для біологічного циклу елементів у ґрунті та впливати на його родючість та продуктивність.

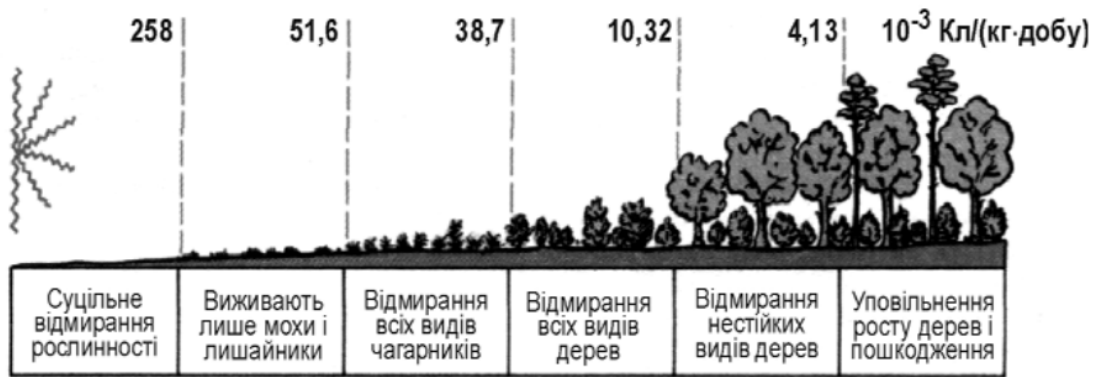


Рисунок 2.3 – Трансформація екосистем зі збільшенням потужності дози опромінення

Отже, вплив ядерних відходів на біорізноманіття може бути великим і має далекосяжні наслідки для різноманітних екосистем та видів. Ефективний моніторинг та управління радіоактивним забрудненням у водних та ґрунтових екосистемах є важливими складовими стратегій збереження біорізноманіття та забезпечення сталого розвитку нашої планети.

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

2.3 Екологічні наслідки аварійних ситуацій на атомних станціях

Аварії на атомних електростанціях (АЕС) можуть мати серйозні екологічні наслідки, які впливають на природне середовище, тваринний та рослинний світ, а також на здоров'я людей. Такі події створюють великі ризики для екології та біорізноманіття, і вони можуть мати довгострокові наслідки на довкілля.

Одні з найбільш відомих аварійних ситуацій на атомних станціях включають Чорнобильську аварію 1986 року в Україні та аварію на АЕС Фукушіма-1 в Японії в 2011 році. Ці події привели до великого викиду радіоактивних речовин у навколишнє середовище та спричинили серйозні наслідки для довкілля.

Численні випадки, як-от аварія на Чорнобильській АЕС, яка завдала збитків на понад 200 мільярдів доларів, постійно демонструють обмеженість наших знань про природу виникнення та перебіг важких аварій, а також недосконалість методів математичного моделювання їх наслідків.

Основний екологічний ризик, пов'язаний з атомними електростанціями, полягає в можливості радіоактивного забруднення навколишнього середовища внаслідок аварійних техногенних викидів під час роботи ядерних реакторів. Масштаб і глибина екологічних, соціальних та економічних наслідків аварії на Чорнобильській АЕС є безпрецедентними. Аварія призвела до забруднення близько 12 мільйонів гектарів, з яких 8,4 мільйона гектарів – сільськогосподарські угіддя. Крім того, нормативна база для прогнозування можливих негативних наслідків експлуатації атомних електростанцій була недосконалою.[8]

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

						ТС 20510042	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			22

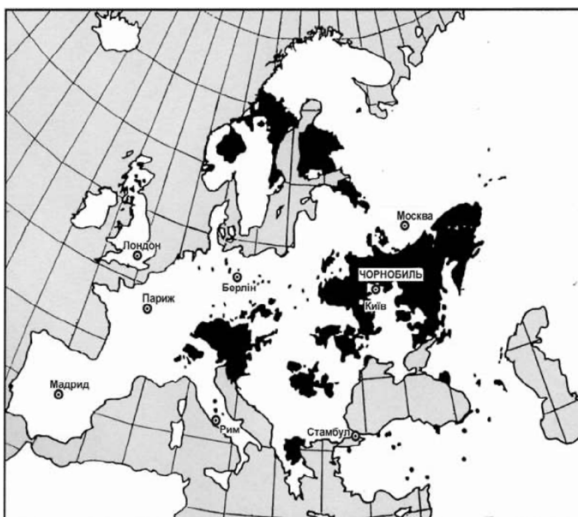


Рисунок 2.4 – Забруднення Європи в результаті Чорнобильської катастрофи

Одним з основних екологічних наслідків аварійних ситуацій на атомних станціях є радіоактивне забруднення. Під час аварій відбувається значний викид радіоактивних матеріалів у навколишнє середовище через руйнування реакторних установок або через викиди газів та рідких речовин з уражених блоків. Ці радіоактивні матеріали можуть розповсюджуватися на великі відстані через повітря, воду та ґрунт, забруднюючи природне середовище та шкодячи екосистемам.

Забруднення повітря радіоактивними відходами може мати серйозні наслідки для здоров'я людей, тварин і рослин. Люди, які перебувають у зоні викиду, можуть вдихати радіоактивні частки, які можуть проникати в їхні легені та спричиняти радіаційні ушкодження. Це може призводити до розвитку онкологічних захворювань, захворювань серцево-судинної системи та інших хронічних захворювань. Тварини і рослини також можуть страждати від радіаційного забруднення, що може призводити до мутацій, викидів та зниження популяцій.

Крім того, аварії на атомних електростанціях можуть мати великий вплив на соціально-економічну ситуацію в уражених регіонах. Зокрема, евакуація

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

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

ТС 20510042

населення та втрата доступу до забруджених територій можуть призвести до економічних втрат та соціальних проблем для людей, які проживають у цих районах. Негативні наслідки аварій можуть впливати на туризм, сільське господарство та інші галузі економіки.

У сучасному світі системи безпеки ядерних установок проектуються з великою надмірністю, наприклад, з дублюванням критично важливих компонентів і функцій системи як «резервних». Це робить систему більш надійною.

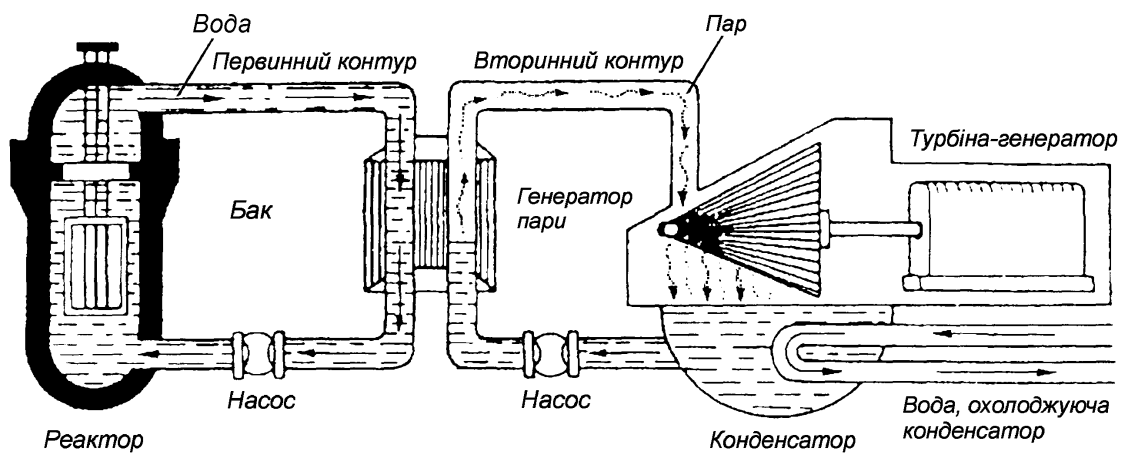


Рисунок 2.4 – Технологічна схема атомної електростанції 2012р.

Ці системи безпеки гарантували, що, хоча інциденти і траплялися, їх ескалацію вдавалося запобігти, і великих аварій ніколи не відбувалося. Ймовірність ядерних аварій надзвичайно мала, але якщо вони все-таки трапляються, вони матимуть серйозні наслідки. Атомні електростанції підлягають суворим перевіркам безпеки, охорони та нагляду. Аварійні ситуації на ядерному рівні не обмежуються лише електростанціями, вони також можуть стосуватися угод про ядерну безпеку, пов'язаних з фізичним захистом і контролем ядерних матеріалів і установок, особливо від навмисних зловмисних

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

дій. ЄС створив систему ядерних гарантій відповідно до Договору про Євроатом, яка включає ядерні гарантії, нерозповсюдження, боротьбу з незаконним обігом, еталонні матеріали для ядерних гарантій, безпеку і захищеність. [9]

Отже, аварії на атомних електростанціях можуть мати серйозні екологічні наслідки, які впливають на природне середовище, біорізноманіття та соціально-економічну ситуацію в уражених регіонах. Ці наслідки можуть бути відчутними протягом довгого часу після аварії та потребують комплексного підходу до їхнього вирішення та пом'якшення. Але сьогодні науковий потенціал економічно розвинених країн у галузі енергетики спрямований на вирішення проблем за рахунок потужнішого джерела – ядерного синтезу.

Термоядерні реактори, по підрахункам, будуть споживати менше палива на одиницю енергії, і як саме це паливо (дейтерій, літій, гелій), так і продукти їх синтезу не радіоактивні і, отже, екологічно безпечні. На відміну від звичайних атомних реакторів, на яких енергія утворюється в результаті реакції ядерного розпаду, цей реактор буде генерувати енергію по типу термоядерних реакцій, що відбуваються на Сонці. А саме : буде використовуватися енергія тепла, яка виділяється при злитті атомів дейтерієм.[10]

Інв.№лодл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата	ТС 20510042	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		25

РОЗДІЛ 3 ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ЯДЕРНИХ ВІДХОДІВ

3.1 Методи зберігання та обробки ядерних відходів

Ядерні відходи – це побічні продукти діяльності ядерної промисловості, які залишаються після використання ядерного палива у реакторах та інших ядерних установках. Управління ядерними відходами є критично важливим завданням для забезпечення безпеки навколишнього середовища та здоров'я людей. Основними елементами цього процесу є їх зберігання та обробка. На жаль, в сучасному світі це питання досі є актуальним та не вирішеним повністю.

Існують два основні принципи зменшення рівня радіоактивності ядерних відходів: принцип розчинення та принцип концентрації.

Принцип розчинення полягає в прискоренні розпаду радіоактивних речовин і їх скиданні в атмосферу та водні об'єкти з метою мінімізації шкідливого впливу на захищені ресурси. З початком широкого розвитку атомної енергетики багато країн почали здійснювати скидання відходів низького та середнього рівня радіоактивності в відкриті моря. Ця практика була офіційно заборонена у 1983 році Лондонською конвенцією з охорони моря через зростаючі побоювання щодо цього способу захоронення. До 1983 року, захоронення високоактивних ядерних відходів не практикувалися. Частково принцип розчинення використовується і сьогодні при поводженні з газоподібними та аерозольними радіоактивними відходами. Такі відходи піддаються витримці або очищенню на фільтрах з метою зниження їхньої активності до рівнів, регламентованих допустимим викидом, після чого можуть бути виведені в атмосферу. Вважається, що таке забруднення не є причиною захворювань людей.

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

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

ТС 20510042

Арк

26

Принцип концентрації полягає в тому, що радіоактивні відходи концентрують і ізолюють від навколишнього середовища. Сьогодні цей метод використовується у всьому світі для обробки твердих і рідких радіоактивних відходів низького, середнього та високого рівнів, а також частково для газоподібних і аерозольних відходів.

В усьому світі відпрацьоване ядерне паливо зазвичай зберігається у глибоких геологічних сховищах, де радіоактивні матеріали мають бути безпечно ізолювані від навколишнього середовища на дуже тривалі періоди часу, приблизно 10^6 років. Конструкція сховищ варіюється від країни до країни, перш за все через різну природу відходів та геохімічне середовище.[11] Справжніми лідерами у цій сфері є три країни та їх методи, про котрі я коротко опишу. Це три країни: в США, Франція та Бельгія.

У програмі Yucca Mountain США використовують контейнери SS316 діаметром близько 61,0 см і товщиною стінок 1,3 см. П'ять таких контейнерів зберігаються в двохшаровому контейнері: внутрішній циліндр з SS316 (товщина ~5 см) та зовнішній зі сплаву 22 (товщина ~2,5 см). Це забезпечує стійкість і безпеку. Об'єм кожного контейнера становить 9% від об'єму відходів всередині. Також є титановий капле захисний екран, щоб уникнути потрапляння води на упаковки з відходами. Відходи зберігаються в ненасиченій зоні над рівнем ґрунтових вод, що створює проблеми з корозією через вміст води та кисню.

Інв.№поодл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата	ТС 20510042	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		27

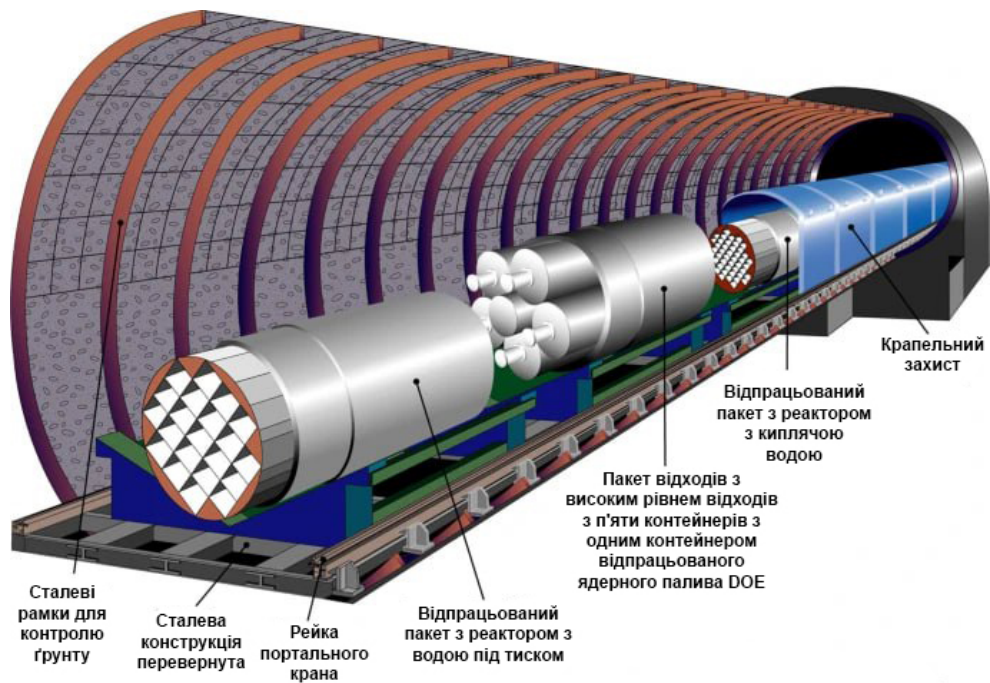


Рисунок 3.1 – Схематичне зображення розміщення відходів у коридорі на потенційному сховищі Yucca Mountain у США.

Французька програма Cigéo описує глибоке геологічне сховище, що буде побудоване на місці О-Марн, на глибині 500 метрів під поверхнею, в насиченій зоні під рівнем ґрунтових вод. У програмі ВРА змішуються зі склом, плавляться при 1050 °С, і наливаються в банки з нержавіючої сталі. [12] Для утримання банок використовують конструкції з вуглецевої сталі. Вони вбудовуються у наповнювані матеріали з цементу і бентоніту. Середовище сховища змінюється від гарячого та вологого до аноксидного, насиченого ґрунтовими водами. Кожен відходи зберігають більшу кількість вкритого металу порівняно з ядерним склом всередині. Подібно до американської програми, кожен відходи зберігають більшу кількість вкритого металу (1500 кг) порівняно з ядерним вітріфікованим склом всередині (400 кг).[13]

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

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

ТС 20510042

Арк

28

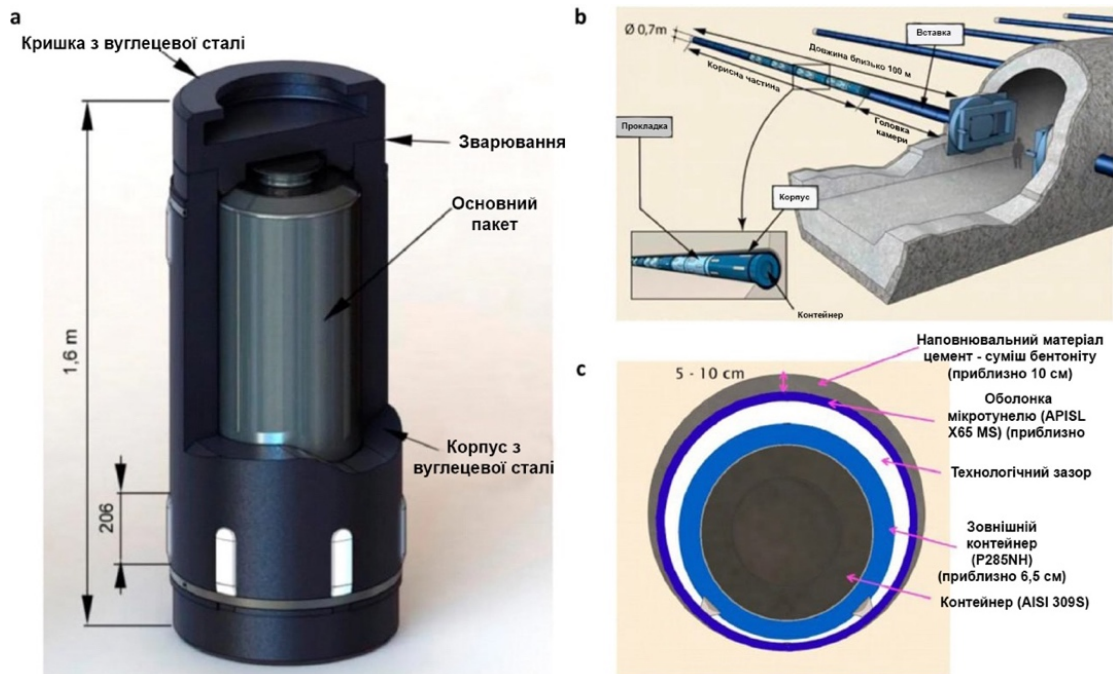


Рисунок 3.2 – Схематичне зображення розміщення відходів у Франції

Бельгійське сховище буде побудовано в середньому шарі глини Boom на глибині 240 м під поверхнею в насиченій зоні.[14] Очікується, що у сховищі буде безкисневе середовище, оскільки кисень, введений під час початкового будівництва, поступово буде витрачений. У цій програмі запропоновано проект супер контейнера. Контейнер з нержавіючої сталі, що містить остекловані ВРА, буде оточений пакетом з вуглецевої сталі з товщиною стінок 3 см, а потім облицьований бетонним буфером товщиною ~70 см. Лужне середовище, забезпечене бетоном, сприяє утворенню стабільної пасивної плівки на поверхні вуглецевої сталі, що знижує швидкість корозії, якщо відсутні агресивні частинки, такі як хлор. Бетонний блок можна встановити у додатковий контейнер з нержавіючої сталі з товщиною стінок кілька мм. Порожній простір між галереєю захоронення та оболонкою з нержавіючої сталі буде заповнено матеріалами на основі цементу після розміщення відходів.

Інв.№лоддл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата	ТС 20510042	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		29

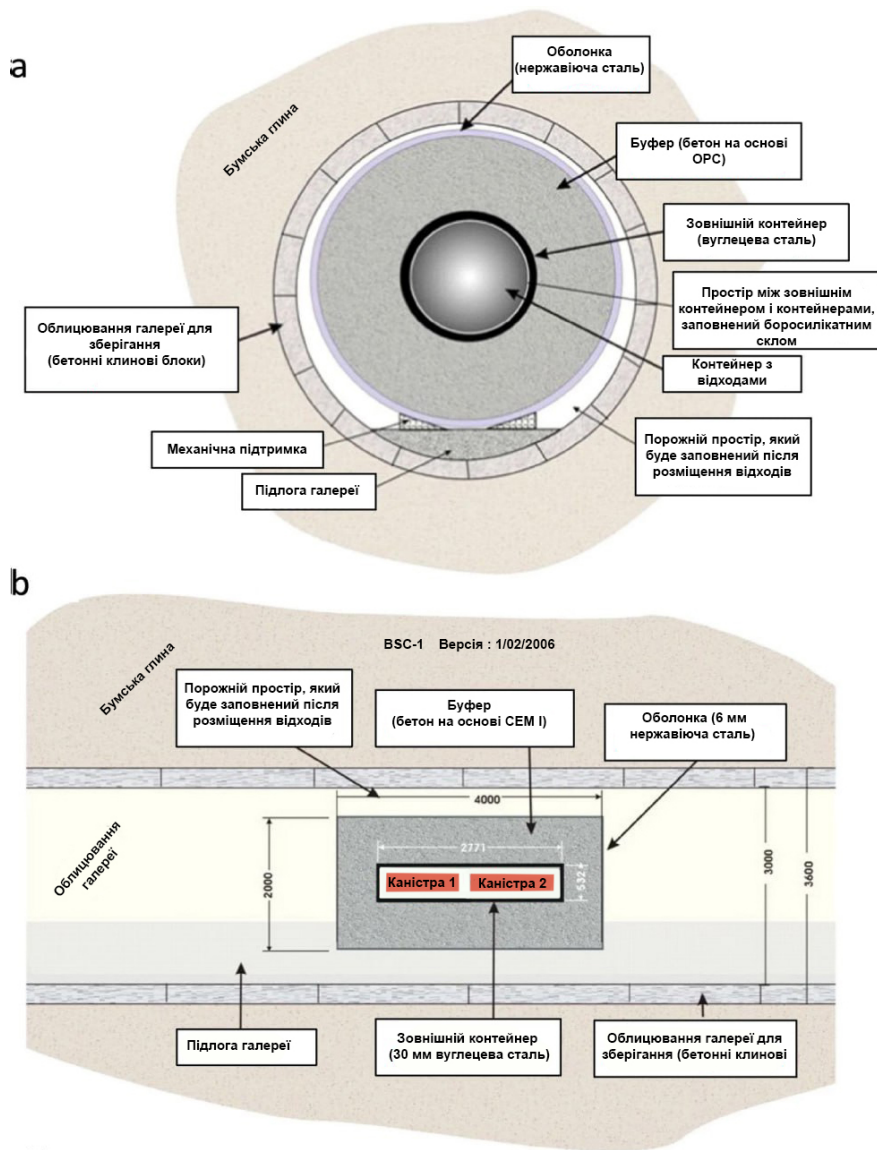


Рисунок 3.3 – Схематичне зображення розміщення відходів у Бельгії

3.2 Системи контролю та моніторингу

Контроль і моніторинг ядерних відходів є надзвичайно важливими компонентами управління радіоактивними матеріалами. Вони забезпечують безпеку навколишнього середовища та здоров'я людей, а також запобігають будь-яким інцидентам, які можуть виникнути в результаті неправильного поводження з ядерними відходами.

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 20510042

Арк

30

Ядерні відходи поділяються на кілька категорій залежно від їхньої радіоактивності, фізичного стану та тривалості життя. Основні категорії включають:

Високоактивні відходи. Містять високу концентрацію радіоактивних ізотопів. Зазвичай це відпрацьоване ядерне паливо або залишки після переробки.

Середньо активні відходи: Містять меншу концентрацію радіоактивних ізотопів порівняно з ВАВ. Зазвичай це фільтри, смоли, метали та інші матеріали, забруднені радіоактивними речовинами.

Низькоактивні відходи: Містять низьку концентрацію радіоактивних ізотопів. Це можуть бути захисний одяг, рукавиці, інструменти тощо.

Основні принципи контролю та моніторингу ядерних відходів

Безпека- Забезпечення того, що радіоактивні матеріали не становлять загрози для навколишнього середовища або здоров'я людей.

Захист-Запобігання несанкціонованому доступу до радіоактивних матеріалів.

Прозорість-Забезпечення доступу до інформації про управління ядерними відходами для громадськості та зацікавлених сторін.

Ефективність- Використання сучасних технологій та методів для оптимального управління ядерними відходами.

Системи контролю ядерних відходів включають різноманітні методи та технології, спрямовані на забезпечення безпеки та захисту радіоактивних матеріалів.

Фізичний контроль- включає використання бар'єрів, охоронних систем, відеоспостереження та інших заходів для запобігання несанкціонованому доступу до ядерних відходів. **Бар'єри-** Використовуються для фізичної ізоляції радіоактивних матеріалів від навколишнього середовища.**Охоронні системи-** Включають охоронні пости, патрулювання, сигнальні системи тощо. **Відеоспостереження-** Забезпечує постійний нагляд за місцями зберігання ядерних відходів.

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

ТС 20510042

Арк

Вип Арк № докум. Підп. Дата

31

Радіологічний контроль включає вимірювання радіаційного фону, моніторинг рівнів радіоактивності та виявлення витоків радіоактивних речовин. Дозиметри- Використовуються для вимірювання рівнів радіації. Спектрометри- Визначають типи радіоактивних ізотопів.

Монітори витоків-Виявляють витoki радіоактивних речовин у повітря або воду.[15]

Хімічний контроль включає аналіз хімічного складу ядерних відходів для виявлення небезпечних речовин і запобігання хімічним реакціям, які можуть вплинути на безпеку зберігання. Аналізатори газів-Вимірюють концентрації різних газів, які можуть утворюватися під час зберігання ядерних відходів.

Лабораторний аналіз-Проводиться для визначення хімічного складу відходів і можливих реакцій.

Моніторинг ядерних відходів включає безперервне спостереження та аналіз стану зберігання радіоактивних матеріалів для забезпечення їхньої безпеки та виявлення будь-яких змін або проблем. Моніторинг радіаційного фону- цей вид моніторингу включає регулярне вимірювання радіаційного фону навколо місць зберігання ядерних відходів. Стационарні монітори- встановлюються на місцях зберігання для постійного вимірювання радіаційного фону. Переносні монітори- Використовуються для періодичних перевірок різних зон зберігання.

Екологічний моніторинг включає оцінку впливу ядерних відходів на навколишнє середовище, включаючи воду, повітря та ґрунт. Моніторинг води- Аналіз якості води в найближчих водних об'єктах для виявлення можливого забруднення радіоактивними речовинами. Моніторинг повітря- Вимірювання рівнів радіоактивних частинок у повітрі навколо місць зберігання. Моніторинг ґрунту- Аналіз зразків ґрунту для виявлення накопичення радіоактивних речовин.

Біологічний моніторинг включає спостереження за станом здоров'я працівників і населення, яке проживає поблизу місць зберігання ядерних відходів.

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

						ТС 20510042	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			32

Медичний огляд- Регулярні медичні обстеження працівників для виявлення будь-яких ознак радіаційного впливу. Епідеміологічні дослідження- Вивчення стану здоров'я населення в зонах впливу ядерних відходів.

3.3 Міжнародні стандарти та регулювання у сфері ядерної безпеки

Міжнародні стандарти та регулювання у сфері ядерної безпеки відіграють ключову роль у забезпеченні безпечного використання ядерної енергії та поводження з радіоактивними матеріалами. Ці стандарти розроблені для мінімізації ризиків для здоров'я людини та навколишнього середовища, а також для запобігання ядерним аваріям і забезпечення належного управління ядерними відходами. У цьому контексті міжнародні організації, такі як Міжнародне агентство з атомної енергії (МАГАТЕ), Міжнародна комісія з радіаційного захисту (МКРЗ) та інші, відіграють важливу роль у встановленні глобальних норм і рекомендацій.

МАГАТЕ є провідною міжнародною організацією у сфері ядерної безпеки. Його мандат включає сприяння мирному використанню ядерної енергії, забезпечення дотримання стандартів безпеки та сприяння міжнародному співробітництву. Стандарти безпеки МАГАТЕ охоплюють широкий спектр питань, включаючи проектування, будівництво та експлуатацію ядерних установок, поводження з радіоактивними відходами та реагування на надзвичайні ситуації. Вони базуються на найкращих практиках і наукових дослідженнях, а також враховують досвід держав-членів МАГАТЕ.[5, с.99]

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

						ТС 20510042	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			33

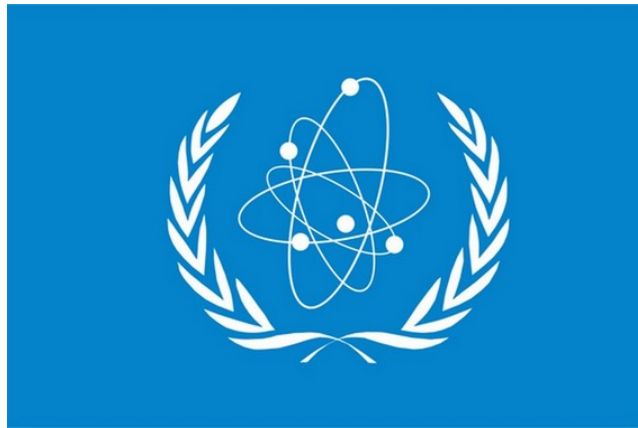


Рисунок 3.4 – Прапор організації МАГАТЕ

Одним із ключових документів, що регламентує діяльність МАГАТЕ у сфері ядерної безпеки, є Основні принципи безпеки, що встановлюють основні вимоги до забезпечення безпеки ядерних установок. Ці принципи підкреслюють важливість захисту людей і навколишнього середовища від шкідливого впливу іонізуючого випромінювання, а також необхідність створення надійних систем управління безпекою. Вони також визначають роль урядів, регулюючих органів та операторів ядерних установок у забезпеченні відповідності цим вимогам.

Іншим важливим аспектом міжнародних стандартів є контроль за розповсюдженням ядерних матеріалів. Договір про нерозповсюдження ядерної зброї (ДНЯЗ) є основним міжнародним документом, що регулює цю сферу. ДНЯЗ передбачає зобов'язання держав-учасниць не розповсюджувати ядерну зброю, працювати над ядерним роззброєнням і сприяти мирному використанню ядерної енергії. У рамках ДНЯЗ МАГАТЕ здійснює контроль за ядерними матеріалами, щоб гарантувати їх використання виключно в мирних цілях.

Міжнародна комісія з радіаційного захисту (МКРЗ) також робить значний внесок у розробку стандартів радіаційної безпеки. МКРЗ розробляє рекомендації щодо захисту людей від впливу іонізуючого випромінювання, базуючись на наукових дослідженнях і оцінці ризиків. Її рекомендації охоплюють широкий спектр питань, від норм опромінення населення та працівників ядерної галузі до принципів поведінки з радіоактивними

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 20510042	Арк 34
-----	-----	----------	-------	------	-------------	-----------

матеріалами. Рекомендації МКРЗ слугують основою для національних і міжнародних стандартів радіаційної безпеки.

Одним із ключових принципів радіаційної безпеки, розроблених МКРЗ, є принцип оптимізації, відомий також як принцип ALARA (As Low As Reasonably Achievable). Цей принцип передбачає, що всі дії, пов'язані з радіаційним впливом, повинні бути здійснені таким чином, щоб рівень опромінення був настільки низьким, наскільки це є розумно досяжним, враховуючи економічні та соціальні чинники. Принцип ALARA застосовується в усіх сферах використання іонізуючого випромінювання, включаючи медицину, промисловість та енергетику.[16]

Крім того, важливу роль у забезпеченні міжнародної ядерної безпеки відіграють регіональні організації. Європейське співтовариство з атомної енергії (Євратом) є прикладом такої організації, яка регулює використання ядерної енергії в межах Європейського Союзу. Євратом встановлює спільні стандарти безпеки, сприяє співробітництву між державами-членами та здійснює контроль за виконанням зобов'язань у сфері ядерної безпеки. Однією з основних задач Євратома є забезпечення високого рівня безпеки ядерних установок і захисту населення та навколишнього середовища від шкідливого впливу іонізуючого випромінювання.

Одним з важливих аспектів міжнародного регулювання є забезпечення безпеки ядерних матеріалів і запобігання їх несанкціонованому використанню. Конвенція про фізичний захист ядерного матеріалу (КФЗЯМ) є основним міжнародним документом, що регулює цю сферу. КФЗЯМ встановлює вимоги до фізичного захисту ядерних матеріалів під час їх транспортування, використання та зберігання.

Незалежність регулюючих органів є ключовим елементом ефективної системи ядерної безпеки. Вони повинні мати повноваження і ресурси для виконання своїх обов'язків без впливу з боку промисловості або інших

Інв. №подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата	ТС 20510042				Арк
					Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

зацікавлених сторін. Це включає можливість накладати санкції за порушення стандартів безпеки та вимагати вжиття коригуючих заходів.

Міжнародні стандарти та регулювання також включають заходи з реагування на надзвичайні ситуації. Конвенція про оперативне оповіщення у випадку ядерної аварії та Конвенція про допомогу у випадку ядерної аварії або радіаційної аварійної ситуації є важливими документами в цій сфері. Вони передбачають механізми для швидкого обміну інформацією та надання міжнародної допомоги у випадку ядерної аварії. Ці конвенції сприяють підвищенню готовності до надзвичайних ситуацій та забезпеченню оперативного реагування для мінімізації наслідків аварій.

Інв. №поділ.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата	ТС 20510042	Арк
						36
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

РОЗДІЛ 4 ЗМЕНШЕННЯ ПОТЕНЦІЙНИХ РИКИЗІВ

4.1 Технологічні інновації для зменшення обсягів ядерних відходів

Технологічні інновації відіграють важливу роль у зменшенні обсягів ядерних відходів, що є одним із ключових викликів сучасної ядерної енергетики. Вирішення цієї проблеми сприяє підвищенню безпеки та ефективності ядерної енергетики, а також мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище.

Переробка відпрацьованого ядерного палива є одним із найефективніших способів зменшення обсягів ядерних відходів. Цей процес передбачає видалення корисних ізотопів, таких як уран і плутоній, з відпрацьованого палива для їх повторного використання у нових паливних елементах. Переробка дозволяє зменшити кількість високоактивних відходів, що потребують довготривалого зберігання, та знизити загальний радіоактивний фон відходів.[17] У Франції, наприклад, заводи з переробки ядерного палива успішно працюють протягом десятиліть, забезпечуючи повторне використання цінних матеріалів і зменшуючи обсяги відходів.

Іншим важливим напрямком є розробка нових типів ядерних реакторів, які здатні ефективніше використовувати ядерне паливо та зменшувати кількість відходів. Одним із таких прикладів є реактори на швидких нейтронах, які можуть спалювати довго живучі актиноїди, що містяться у відпрацьованому ядерному паливі, і перетворювати їх на менш небезпечні ізотопи. Це значно зменшує обсяги високоактивних відходів і скорочує час, протягом якого вони залишаються радіоактивними. Крім того, реактори на швидких нейтронах можуть використовувати плутоній, що накопичується в процесі переробки палива, тим самим зменшуючи ризики, пов'язані з його довготривалим зберіганням.

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

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

ТС 20510042

Арк

37

Розробка та впровадження нових технологій для стабілізації та зменшення обсягів рідких ядерних відходів також є важливим напрямком інновацій. Одним із таких підходів є використання цементації, що дозволяє перетворити рідкі відходи на тверді форми, які легше зберігати та безпечніше утилізувати. Цементация зменшує ризик витоку радіоактивних речовин у навколишнє середовище та забезпечує довготривале зберігання відходів. Іншим підходом є використання вітрифікації, коли рідкі відходи змішуються зі склом та плавляться для утворення твердої матриці, яка є хімічно стабільною та дуже стійкою до розчинення.

Значний прогрес також спостерігається у галузі розробки нових матеріалів для зберігання ядерних відходів. Одним із прикладів є дослідження в галузі наноматеріалів, які можуть використовуватися для захоплення та утримання радіоактивних ізотопів. Наноматеріали мають велику поверхневу площу та високу здатність до сорбції, що робить їх ефективними для видалення радіоактивних речовин з відходів і води. Такі матеріали можуть бути використані для створення нових бар'єрів та контейнерів для зберігання відходів, що підвищує безпеку довготривалого зберігання.

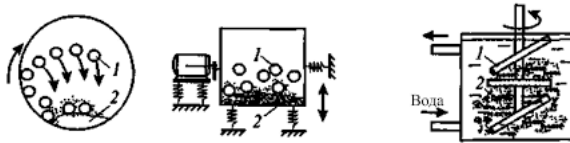


Рисунок 4.1 – Приклад використання наноматеріалу в ядерних технологіях

Іншим перспективним напрямком є розробка технологій трансмутації, що передбачає перетворення довго живучих радіоактивних ізотопів на короткоживучі або стабільні ізотопи шляхом опромінення нейтронами. Цей підхід може значно зменшити обсяги та радіоактивність ядерних відходів, зменшуючи потребу у довготривалому зберіганні. Трансмутація може бути здійснена в спеціально розроблених реакторах або у прискорювачах частинок. Хоча ця технологія ще перебуває на стадії досліджень і розробок, вона має великий потенціал для майбутнього зменшення обсягів ядерних відходів.

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 20510042	Арк
						38

Важливою складовою зменшення обсягів ядерних відходів є також удосконалення методів управління відходами на всіх етапах їх життєвого циклу. Це включає розробку нових технологій для сортування, обробки та зберігання відходів, а також підвищення ефективності існуючих процесів. Наприклад, удосконалення методів сортування дозволяє більш точно визначати типи та характеристики відходів, що сприяє їх більш ефективному управлінню. Розробка нових методів обробки, таких як плазмова технологія, дозволяє перетворювати різні види відходів на інертні та безпечні матеріали.

Впровадження цифрових технологій та автоматизації процесів управління ядерними відходами також може сприяти зменшенню їх обсягів. Використання датчиків, роботів та систем штучного інтелекту дозволяє підвищити точність і ефективність моніторингу та обробки відходів, знижуючи ризик помилок та підвищуючи безпеку. Цифрові технології також можуть сприяти оптимізації процесів зберігання та транспортування відходів, забезпечуючи більш ефективне використання ресурсів та мінімізацію витрат.

Розвиток міжнародного співробітництва та обмін досвідом у галузі управління ядерними відходами є ще одним важливим аспектом зменшення їх обсягів. Спільні дослідження, конференції та семінари дозволяють обмінюватися знаннями та найкращими практиками, що сприяє впровадженню інноваційних технологій у різних країнах. Міжнародні організації, такі як Міжнародне агентство з атомної енергії (МАГАТЕ), відіграють ключову роль у сприянні співробітництву та координації зусиль у галузі ядерної безпеки та управління відходами.

Освіта та підвищення кваліфікації фахівців, що працюють у галузі ядерної енергетики, є важливими складовими впровадження нових технологій для зменшення обсягів ядерних відходів. Навчання новітнім методам та технологіям, а також підвищення обізнаності про важливість безпечного управління відходами, сприяють більш ефективному та відповідальному підходу до цієї проблеми. Університети, дослідницькі центри та спеціалізовані

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

навчальні програми відіграють ключову роль у підготовці фахівців, здатних впроваджувати та розвивати інноваційні технології у сфері ядерної енергетики.

Значний потенціал у зменшенні обсягів ядерних відходів має також розвиток відновлюваних джерел енергії та технологій енергоефективності. Зменшення залежності від ядерної енергетики шляхом впровадження сонячної, вітрової та гідроенергетики, а також підвищення ефективності використання енергії, можуть значно зменшити кількість вироблених ядерних відходів. Це дозволить знизити потребу у будівництві нових ядерних реакторів та зменшити навантаження на системи управління відходами. Розробка та впровадження нових стратегій управління ядерними відходами на національному та міжнародному рівнях є важливим кроком у зменшенні їх обсягів. Це включає розробку довгострокових планів, які спрямовані на покращення новітніх технологій у сфері ядерних відходів.

4.2 Проект рециклінгу та повторного використання ядерних матеріалів

Проект рециклінгу та повторного використання ядерних матеріалів є важливою складовою стратегії сталого розвитку ядерної енергетики. Він спрямований на зменшення обсягів ядерних відходів, підвищення ефективності використання ресурсів та зниження ризиків, пов'язаних з довготривалим зберіганням радіоактивних матеріалів. Такий проект передбачає впровадження комплексного підходу до управління ядерними матеріалами, включаючи технології переробки відпрацьованого ядерного палива, повторне використання цінних ізотопів та утилізацію залишкових відходів.

Переробка відпрацьованого ядерного палива є ключовим елементом проекту рециклінгу ядерних матеріалів. Цей процес дозволяє виділяти з відпрацьованого палива уран і плутоній, які можуть бути повторно використані у нових паливних елементах. Переробка відпрацьованого палива здійснюється на спеціалізованих заводах, де відбувається розділення та очищення

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

радіоактивних матеріалів. Такий підхід дозволяє зменшити кількість високоактивних відходів, що потребують довготривалого зберігання, та підвищити ефективність використання ядерного палива.

Одним із прикладів успішної реалізації проекту рециклінгу ядерних матеріалів є Франція, яка має один з найрозвиненіших у світі комплексів з переробки відпрацьованого ядерного палива. Французька компанія Areva, нині відома як Orano, керує кількома заводами з переробки ядерного палива, де виділяються уран і плутоній для повторного використання. Завдяки цьому Франція значно зменшила обсяги своїх ядерних відходів та підвищила ефективність використання ядерного палива, що сприяє забезпеченню сталого розвитку ядерної енергетики.



Рисунок 4.1 – Прапор Французької компанії ORANO

Іншою важливою складовою проекту рециклінгу ядерних матеріалів є використання реакторів на швидких нейтронах. Ці реактори здатні ефективніше використовувати ядерне паливо та зменшувати кількість відходів. Реактори на швидких нейтронах можуть спалювати довгоживучі актиноїди, що містяться у відпрацьованому ядерному палива, і перетворювати їх на менш небезпечні ізотопи. Це дозволяє зменшити обсяги високоактивних відходів та скоротити час, протягом якого вони залишаються радіоактивними. У Росії, наприклад, вже

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

введені в експлуатацію кілька реакторів на швидких нейтронах, таких як БН-600 та БН-800, які демонструють високу ефективність у зменшенні обсягів ядерних відходів.

Для забезпечення ефективної переробки та повторного використання ядерних матеріалів важливим є також розробка нових методів утилізації залишкових відходів. Одним із таких методів є вітрифікація, яка дозволяє перетворювати рідкі ядерні відходи на скло. Вітрифікація забезпечує хімічну стабільність і високу стійкість до розчинення, що дозволяє зберігати відходи протягом тривалого часу без ризику витoku радіоактивних речовин. Іншим перспективним методом є плазмова технологія, яка дозволяє перетворювати різні види ядерних відходів на інертні та безпечні матеріали.

Крім технологічних рішень, важливою складовою проекту рециклінгу ядерних матеріалів є удосконалення систем управління та регулювання. Це включає розробку ефективних механізмів контролю за переробкою та використанням ядерних матеріалів, а також забезпечення належного моніторингу та обліку всіх стадій їх життєвого циклу. Національні регулюючі органи повинні мати достатні повноваження та ресурси для здійснення контролю за дотриманням стандартів безпеки та ефективності у сфері ядерної енергетики. Міжнародне співробітництво відіграє важливу роль у реалізації проекту рециклінгу ядерних матеріалів. Спільні дослідження, обмін досвідом та координація зусиль між країнами дозволяють впроваджувати найкращі практики та технології у сфері переробки та повторного використання ядерних матеріалів. Міжнародне агентство з атомної енергії (МАГАТЕ) відіграє ключову роль у сприянні співробітництву та координації зусиль у цій галузі, забезпечуючи підтримку та консультативну допомогу державам-членам.

Важливим аспектом проекту рециклінгу ядерних матеріалів є також впровадження цифрових технологій та автоматизації процесів управління ядерними матеріалами. Використання датчиків, роботів та систем штучного інтелекту дозволяє підвищити точність і ефективність моніторингу та обробки

Інв. № докл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № доубл.	Підп. і дата	ТС 20510042				Арк
					Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ядерних матеріалів, знижуючи ризик помилок та підвищуючи безпеку. Цифрові технології також сприяють оптимізації процесів зберігання та транспортування ядерних матеріалів, забезпечуючи більш ефективне використання ресурсів та мінімізацію витрат.

Розвиток відновлюваних джерел енергії та технологій енергоефективності має значний потенціал для зменшення обсягів ядерних відходів. Зменшення залежності від ядерної енергетики шляхом впровадження сонячної, вітрової та гідроенергетики, а також підвищення ефективності використання енергії можуть значно зменшити кількість вироблених ядерних відходів. Це дозволить знизити потребу у будівництві нових ядерних реакторів та зменшити навантаження на системи управління ядерними відходами.

Успішна реалізація проекту рециклінгу ядерних матеріалів вимагає також розробки та впровадження нових стратегій управління ядерними матеріалами на національному та міжнародному рівнях. Це включає розробку довгострокових планів, спрямованих на забезпечення безпечного та ефективного управління ядерними матеріалами протягом усього їх життєвого циклу.

Інв. №поділ.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата	ТС 20510042					Арк
										43
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Основні принципи радіаційної безпеки

Радіаційна безпека на робочих місцях та умови праці на об'єктах, де проводиться діяльність із ядерними відходами, є надзвичайно важливими аспектами у сфері ядерної енергетики та поводження з радіоактивними матеріалами. Ці заходи не лише спрямовані на захист працівників від шкідливого впливу радіації, але й на попередження аварій та зменшення ризиків для навколишнього середовища та населення. У даному розділі розглянемо основні аспекти радіаційної безпеки, умови праці на таких об'єктах, а також процедури дій у надзвичайних ситуаціях.

Принцип ALARA (As Low As Reasonably Achievable) є ключовим у забезпеченні радіаційної безпеки. Він передбачає, що рівень опромінення працівників повинен бути зведений до мінімально можливого, беручи до уваги економічні та соціальні чинники. Це досягається за допомогою технічних, організаційних та адміністративних заходів.

Захист часом передбачає мінімізацію часу, протягом якого працівник знаходиться в зоні підвищеної радіації. Захист відстанню ґрунтується на зменшенні інтенсивності радіаційного впливу шляхом збільшення відстані між працівником та джерелом радіації. Екранування ж передбачає використання спеціальних матеріалів та конструкцій для блокування або зниження рівня радіації.

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

ТС 20510042

Арк

44

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

5.2 Умови праці на об'єктах з ядерними відходами

На об'єктах, де здійснюється діяльність із ядерними відходами, повинні бути впроваджені чіткі організаційні заходи. Вони включають:

- Розподіл обов'язків: Кожен працівник повинен мати чітко визначені обов'язки та зони відповідальності.
- Режим роботи: Встановлення оптимальних графіків роботи та відпочинку для мінімізації впливу стресу та перевтоми.
- Навчання та підвищення кваліфікації: Регулярне навчання персоналу з питань радіаційної безпеки та дій у надзвичайних ситуаціях.

Технічні засоби безпеки включають:

- Моніторинг радіаційного фону: Використання дозиметрів та інших приладів для постійного контролю рівня радіації.
- Вентиляційні системи: Забезпечення ефективної вентиляції для зниження концентрації радіоактивних аерозолів.
- Захисні бар'єри: Використання екранів та захисних конструкцій для зменшення рівня опромінення.

5.3 Засоби індивідуального захисту

На об'єктах з ядерними відходами працівники повинні користуватися спеціальним захисним одягом, який включає: Комбінезони: виготовлені з матеріалів, що захищають від радіаційного впливу. Рукавиці та взуття: спеціальні рукавиці та взуття, що запобігають контакту зі шкідливими речовинами. Засоби захисту органів дихання: респіратори та маски для захисту від вдихання радіоактивних часток.

Кожен працівник повинен мати особистий дозиметр для постійного контролю отриманої дози радіації. Це дозволяє своєчасно виявляти перевищення

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

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

ТС 20510042

Арк

45

допустимих норм та вживати необхідних заходів для зниження рівня опромінення.

5.4 Дії в надзвичайних ситуаціях

На об'єктах, де здійснюється діяльність із ядерними відходами, повинні бути розроблені та впроваджені плани дій у надзвичайних ситуаціях. Головні пункти цих планів включають: оцінку ризиків, план евакуації та комунікаційна стратегія.

Регулярне проведення тренувань та навчань з аварійного реагування дозволяє працівникам відпрацювати навички дій у надзвичайних ситуаціях та підвищує їхню готовність до швидкого та ефективного реагування. Також на об'єктах повинні бути наявні необхідні засоби для реагування на аварії, такі як: аварійні комплекти, системи аварійного зв'язку та засоби для швидкого очищення та де контамінації у разі розливу радіоактивних матеріалів.

5.5 Моніторинг та контроль стану здоров'я працівників

Працівники, які займаються діяльністю з ядерними відходами, повинні проходити регулярні медичні огляди для контролю стану їх здоров'я. Це дозволяє своєчасно виявляти можливі захворювання, пов'язані з радіаційним впливом, та вживати необхідних заходів для їх лікування.

Робота в умовах підвищеного радіаційного ризику може спричиняти психологічний стрес. Тому важливо забезпечити працівникам можливість отримання психологічної підтримки, консультацій та допомоги у випадку виникнення стресових ситуацій.

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 20510042	Арк
						46

5.6 Законодавчі та нормативні вимоги

Національне законодавство щодо радіаційної безпеки має відповідати міжнародним стандартам, таким як норми Міжнародного агентства з атомної енергії (МАГАТЕ) та рекомендації Міжнародної комісії з радіологічного захисту (ICRP). Ці стандарти визначають основні принципи та підходи до забезпечення безпеки при роботі з ядерними матеріалами.

Крім міжнародних стандартів, кожна країна розробляє власні нормативні акти та правила, що регулюють радіаційну безпеку. Вони включають вимоги до проектування, будівництва та експлуатації об'єктів, а також до організації роботи та підготовки персоналу.

Забезпечення радіаційної безпеки на робочих місцях та створення безпечних умов праці на об'єктах, де здійснюється діяльність із ядерними відходами, є ключовими складовими захисту працівників, навколишнього середовища та населення від шкідливого впливу радіації. Впровадження ефективних заходів з організації роботи, технічних засобів безпеки, засобів індивідуального захисту та підготовки до дій у надзвичайних ситуаціях дозволяє мінімізувати ризики та забезпечити безпеку на всіх етапах роботи з ядерними відходами. Суворе дотримання міжнародних та національних нормативних вимог, регулярний моніторинг та контроль стану здоров'я працівників, а також надання психологічної підтримки є невід'ємними елементами комплексної системи радіаційної безпеки.

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

ТС 20510042

Арк

47

Вип Арк № докум. Підп. Дата

ВИСНОВКИ

У ході дослідження впливу ядерних відходів на довкілля, забезпечення їхньої безпеки та зменшення потенційних ризиків були отримані важливі результати, які мають значний вплив на розуміння сучасного стану ядерної безпеки та стратегій поводження з ядерними відходами.

Перш за все, було встановлено, що ядерні відходи є серйозною загрозою для навколишнього середовища через їхню високу радіоактивність та тривалий період розпаду. Неналежне управління ядерними відходами може призвести до серйозних екологічних катастроф, які матимуть довготривалі наслідки для довкілля та здоров'я людей. Тому, забезпечення безпеки при поводженні з ядерними відходами є критично важливим аспектом.

Аналіз існуючих методів поводження з ядерними відходами показав, що рециклінг та повторне використання ядерних матеріалів є ефективними способами зменшення їхнього обсягу та токсичності. Переробка відпрацьованого ядерного палива дозволяє виділяти цінні ізотопи, такі як уран і плутоній, для повторного використання в ядерних реакторах, що зменшує кількість високоактивних відходів, які потребують довготривалого зберігання.

Впровадження реакторів на швидких нейтронах має значний потенціал для зменшення обсягів ядерних відходів. Ці реактори здатні ефективно використовувати ядерне паливо та зменшувати кількість довгоживучих радіоактивних ізотопів шляхом їхнього перетворення на менш небезпечні форми. Використання новітніх методів утилізації ядерних відходів, таких як вітрифікація та плазмова технологія, дозволяє зменшити ризики витоку радіоактивних речовин та забезпечити хімічну стабільність відходів. Вітрифікація, зокрема, є ефективним способом перетворення рідких ядерних відходів на стабільне скло, що значно знижує ризики для довкілля.

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

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 20510042

Арк

48

Удосконалення систем управління та регулювання в галузі ядерної безпеки є необхідною умовою для забезпечення належного контролю за переробкою, зберіганням та утилізацією ядерних відходів. Національні регулюючі органи повинні мати достатні повноваження та ресурси для здійснення ефективного нагляду та забезпечення відповідності стандартам безпеки.

Інв. № докл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ТС 20510042	Арк
						49
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Безпека Атомних станцій. Поводження з радіоактивними відходами : монографія / А. Носовський та ін. ; ред. А. Носовський. Київ : "Техніка", 2007. 368 с.
2. Managing waste. ANSTO. URL: <https://www.ansto.gov.au/education/nuclear-facts/managing-waste>(дата звернення: 16.05.2024).
3. ПОВОДЖЕННЯ З РАВ НА АЕС. Uatom. URL: <https://www.uatom.org/povodzhennya-z-radioaktyvnymy-vidhodamy-na-diyuchyh-aes>(дата звернення: 14.05.2024).
4. Плачков Г. ДОПОВІДЬ ПРО СТАН ЯДЕРНОЇ ТА РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ В УКРАЇНІ У 2020 РОЦІ / ред. Г. Плачков. Київ. 96 с.
5. Іванов Є. А. РАДІАЦІЙНА ЕКОЛОГІЯ : навч. посіб. / ред. Т. Веремчук. Львів : Вид. центр ЛНУ ім. Ів. Франка, 2007. 2016 с.
6. BOUTTES J.-P. Nuclear waste: a comprehensive approach (1). 2022. 70 с.
7. Радіологічне забруднення природи. МАУП. URL: <https://ru.osvita.ua/vnz/reports/ecology/21414/>(дата звернення: 18.05.2024).
8. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року: Закон України від 21 грудня 2010 року № 2818-VI / Верховна Рада України.
9. Nuclear and Radiological Accidents. civil protection knowledge network. URL: <https://civil-protection-knowledge-network.europa.eu/eu-overview-risks/human-induced-risks/nuclear-and-radiological-accidents>(дата звернення: 18.05.2024).
10. Система технологій аес і проблеми радіаційного захисту. studfile. URL: <https://studfile.net/preview/5349180/page:13/>(дата звернення: 23.05.2024).
11. Guo X., Gin S. Review of corrosion interactions between different materials relevant to disposal of high-level nuclear waste. npj Materials Degradation.

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

ТС 20510042

Арк

50

URL: <https://www.nature.com/articles/s41529-020-00140-7>(date of access: 23.05.2024).

12. Crusset, D. et al. Corrosion of carbon steel components in the French high-level waste programme: evolution of disposal concept and selection of materials. *Corros. Eng. Sci. Technol.* 52, 17–24 (2017).

13. Michelin, A. et al. Effect of iron metal and siderite on the durability of simulated archeological glassy material. *Corros. Sci.* 76, 403–414 (2013).

14. National Research Council. Disposition of high-level waste and spent nuclear fuel: The Continuing societal and technical challenges. 50 (National Academies Press, Washington, DC, 2001).

15. Mallants, D., Marivoet, J. & Sillen, X. Performance assessment of the disposal of vitrified high-level waste in a clay layer. *J. Nucl. Mat.* 298, 125–135 (2001).

16. ALARA. Suro. URL: <https://www.suro.cz/en/odkazy/alara>(дата звернення: 30.05.2024).

17. Сучасні методи радіохімічної переробки відпрацьованого ядерного палива. *nuclear-journal*.

URL: <https://nuclearjournal.com/index.php/journal/article/view/148>(дата звернення: 30.05.2024).

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

ТС 20510042

Арк

51