

**Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет**

Кафедра екології та природозахисних технологій

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА**  
зі спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

Тема: Екологічно безпечне комплексне технологічне рішення у сфері  
поводження з радіоактивними відходами

Завідувач кафедри	<u>Пляцук Леонід Дмитрович</u>	_____
Керівник проекту	<u>Черниш Єлізавета Юріївна</u>	_____
Консультанти:		
з охорони праці	<u>Васькін Роман Анатолійович</u>	_____
Виконавець студент групи Тс.м-01	<u>Білашенко Ірина Ігорівна</u>	_____

**Суми 2021**

**Сумський державний університет**  
**Факультет технічних систем та енергоефективних технологій**  
**Кафедра екології та природозахисних технологій**  
**Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри \_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРУ**  
**Білашенко Ірині Ігорівні**

1 Тема проекту (роботи) Екологічно безпечне комплексне технологічне рішення у сфері поводження з радіоактивними відходами

затверджена наказом по університету від « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_

2 Термін здачі студентом закінченого проекту (роботи) \_\_\_\_\_

3 Вихідні дані до проекту (роботи) статистичні дані Державного агентства України з управління зоною відчуження, дані з наукометричної бази даних Scopus, довідкові оглядові матеріали щодо досвіду інших країн у сфері технологічного рішення щодо радіоактивних відходів(РАВ).

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити) проаналізувати екологічну безпеку атомних електростанцій; здійснити огляд попередніх досліджень у сфері поводження з радіоактивними відходами; здійснити аналіз офіційної звітності щодо стану зони відчуження Чорнобильської АЕС; здійснити візуалізаційне моделювання напрямів поводження з РАВ; провести SWOT-аналіз методів поводження з радіоактивними відходами; розробити комплексне технологічне рішення поводження з радіоактивними відходами.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Візуалізаційне моделювання напрямів поводження з радіоактивними відходами, схеми технологічних рішень щодо методів поводження з радіоактивними відходами, схема комплексного рішення щодо поводження з РАВ.

6 Консультанти з проекту (роботи), із значенням розділів проекту, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Васькін Р.А.		
Економічна частина			

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер по порядку	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Написання вступу та обробка результатів дослідження	01.04.21 – 24.05.21	
2.	Написання розділу 1	01.06.21 – 30.06.21	
3.	Формування розділу 2	01.07.21 – 30.09.21	
4.	Написання розділу 3	01.10.21 – 13.10.21	
5.	Написання розділів 4 та 5	14.10.21 – 31.10.21	
6.	Оформлення всієї роботи	01.11.21 – 10.12.21	

7 Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

Студент-магістрант \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник проекту \_\_\_\_\_  
(підпис)

## РЕФЕРАТ

Робота складається із вступу, п'яти розділів, висновку, переліку джерел посилання, який містить 25 посилань. Загальний обсяг магістерської роботи становить 60 сторінок, у тому числі 6 таблиці, 23 рисунків, список використаних джерел 3 сторінки.

*Мета роботи* є розроблення комплексного технологічного рішення у сфері поводження з радіоактивними відходами.

Для досягнення зазначеної мети було постановлено та вирішено такі завдання:

- проаналізовано екологічну безпеку атомних електростанцій;
- здійснено огляд попередніх досліджень у сфері поводження з радіоактивними відходами;
- здійснено аналіз офіційної звітності щодо стану зони відчуження Чорнобильської АЕС;
- здійснено візуалізаційне моделювання напрямів поводження з радіоактивними відходами;
- проведено SWOT-аналіз методів поводження з радіоактивними відходами;
- розроблення комплексного технологічного рішення поводження з радіоактивними відходами.

*Об'єкт дослідження* – екологічно безпечне комплексне технологічне рішення у сфері поводження з радіоактивними відходами.

*Предмет дослідження* – обґрунтування методів поводження з РАВ та вибір кращої технології.

У кваліфікаційній роботі надана концепція розвитку Чорнобильської зони відчуження та зон евакуації на АЕС «Фукусіма-1». Проведено методичку SWOT-аналізу для рідких та твердих РАВ. Здійснено візуалізаційне моделювання напрямів поводження з радіоактивними відходами. Запропоновано комплексне рішення щодо поводження з радіоактивними відходами.

## ЗМІСТ

Вступ .....	6
Розділ 1 Екологічна проблематика функціонування атомних електростанцій та поведження з радіоактивними відходами .....	9
1.1 Екологічна безпека атомних електростанцій та поведження радіоактивними відходами.....	9
1.2 Стала концепція розвитку Чорнобильської зони відчуження та досвід розвитку зон евакуації після аварії на АЕС»Фукусіма-1»(Японія) .....	11
1.3 Огляд попередніх досліджень в сфері поведження з радіоактивними відходами .....	19
Розділ 2 Методика моделювання екологічно безпечних технологічних рішень у сфері поведження з радіоактивними відходами.....	23
2.1 Методика моделювання кластерів інноваційних розробок за допомогою спеціального візуалізаційного програмного забезпечення .....	23
2.2. Методика SWOT-аналізу .....	25
Розділ 3 Розроблення екологічно безпечного технологічного рішення щодо поведження з радіоактивними відходами.....	27
3.1 Візуалізаційне моделювання напрямів поведження з радіоактивними відходами .....	27
3.2 SWOT-аналіз методів поведження з радіоактивними відходами .....	28
3.3 Комплексне технологічне рішення поведження з радіоактивними відходами .	36
Розділ 4 Економічне обґрунтування .....	45

Підп. і дата						ТС 20510170		
	Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			
Інв.№подл.	Розроб.	Білашенко				Екологічно безпечне комплексне технологічне рішення у сфері поведження з радіоактивними відходами		
	Перев.	Черниш						
	Н.Контр.	Батальцев				4	60	
	Затв.	Гляцук				СумДУ, ф-т ТеСЕТ гр. ТС.м-01		

4.1 Екологічне обґрунтування розвитку поновлюваних джерел енергії в зоні відчуження .....	45
4.2 Напрями фінансування проєктів в зоні відчуження .....	46
Розділ 5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях .....	48
5.1 Охорона праці при роботі з радіоактивними речовинами .....	48
5.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях, пов'язаних із витоком радіоактивних речовин .....	50
5.3 Розрахунок радіозахисного екрану .....	52
Висновки.....	56
Список використаних джерел.....	58

					<b>ТС 20510170</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

## ВСТУП

**Актуальність теми дослідження.** Поводження з радіоактивними відходами є однією з найактуальніших проблем сьогодення. Використання енергії ядерного палива призводить до накопичення великих обсягів радіоактивних відходів(вони можуть утворюватися практично на всіх етапах ядерно-паливного циклу), які потребують негайної ізоляції від навколишнього середовища.

Радіоактивні відходи(скорочено РАВ) – це такі об'єкти, які мають в собі значний обсяг радіонуклідів та чинять радіоактивне забруднення на довкілля. Їхня небезпека полягає в тому, що ці відходи при потраплянні до навколишнього середовища здійснюють негативний вплив на довкілля та призводять до погіршення здоров'я людей.

Найбільш поширеними за агрегатним станом є рідкі радіоактивні відходи(РРВ). Вони утворюються на атомних електростанціях, на радіохімічних заводах та навіть у деяких дослідницьких центрах. Тверді радіоактивні відходи(ТРВ) є також досить поширеними і потребують негайного знешкодження.

Для забезпечення надійного знешкодження усіх радіоактивних відходів необхідно проваджувати екологічно безпечне комплексне рішення, яке буде втримувати РАВ в глибоких геологічних формаціях без можливості чинення впливу на людей та довкілля.

**Метою роботи** є розроблення комплексного технологічного рішення у сфері поведження з радіоактивними відходами.

Щоб досягти даної мети роботи було вирішено такі **завдання**:

- здійснено аналіз екологічної безпеки атомних електростанцій;
- здійснено огляд попередніх досліджень у сфері поведження з радіоактивними відходами;
- проаналізовано офіційну звітність щодо стану зони відчуження Чорнобильської АЕС;

					ТС 20510170	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		





1. Chernysh Y., Plyatsuk L., Azarov S., Tsutsumiuchi K., Kotova I. Modeling of innovation research clusters in the field of radioactive waste utilization. Journal of Engineering Sciences. – Суми: СумДУ. – Vol. 7(2). – Р. Н1–Н9.
2. Котова І.І., Черниш Є.Ю., Пляцук Л.Д. Чорнобильський біосферний заповідник: перспективи розвитку. Розвиток наукової думки постіндустріального суспільства: сучасний дискурс: матеріали міжнародної наукової конференції. – Миколаїв: МЦНД. 2020. – Т. 2. – С.35–37.

					<b>ТС 20510170</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

# РОЗДІЛ 1 ЕКОЛОГІЧНА ПРОБЛЕМАТИКА ФУНКЦІОНУВАННЯ АТОМНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ТА ПОВОДЖЕННЯ З РАДІОАКТИВНИМИ ВІДХОДАМИ

## 1.1 Екологічна безпека атомних електростанцій та поводження радіоактивними відходами.

Радіоактивні відходи в Україні утворюються на: атомних електростанціях, підприємствах, де відбувається видобуток уранової руди та її переробка, різноманітних наукових центрах та організаціях, які у своїй діяльності використовують радіоактивні речовини. Відходи, які утворилися під час аварії на Чорнобильській АЕС дорівнює майже 95% від радіоактивних відходів, що утворюються по всій території України.

Україна входить в 10-ку країн, за кількістю діючих енергоблоків атомних електростанцій (АЕС). Такі радіоактивні відходи утворюються на атомних електростанціях [1]:

- відходи, що утворюються після проведення ремонтів або заміни обладнання, проведення різних випробувань;
- продукти нейтронної активації, що утворюються поза тепловиділяючими елементами;
- продукти поділу, що попадають з тепловиділяючих елементів в теплоносії, певна частина яких періодично або безперервно виводиться з реактора;
- протікання теплоносія основного контуру реакторної установки внаслідок виникнення дефектів у трубопроводах;
- газоподібні та радіоактивні аерозольні викиди, пов'язані з випаровуванням теплоносія внаслідок порушення цілісності оболонок, газоподібні продукти поділу через мікро тріщини просочуються в

					<b>ТС 20510170</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

теплоносій, воду першого контуру, кладку реактора (особливо в випадках руйнування тепловиділяючих елементів);

- відходи після очистки води в різних технологічних системах реакторів;
- обладнання, матеріали, використані фільтри, радіоактивно забруднене сміття, спец одяг тощо.

Обсяг щорічного винесення за межі Чорнобильської зони відчуження цих радіонуклідів становить приблизно  $(0,5-3) \times 10^{-3}$  відсотків запасів у природних екосистемах і  $(1-7) \times 10^{-7}$  відсотків запасів природно-техногенного комплексу (включаючи об'єкт «Укриття»). Радіонукліди, які є розчиненими мігрують переважно рідким стоком. Поверхневі води переносять значну кількість зважених часток, що представлені, в основному, тонкодисперсними мулуватими частками, які вміщують значну кількість радіонуклідів в поглинутому стані. Рідкий і твердий стік радіонуклідів досягають кількох відсотків на рік від запасів на басейні водозбору. Міграція радіонуклідів до рівня ґрунтових вод супроводжується послідовним виносом їх з дренажним стоком (при наявності горизонтального дренажу) в річкові системи. Порівняно висока міграційна активність  $^{90}\text{Sr}$  [2]. Цей радіонуклід може перебувати аж у трьох формах, а саме: нейтральна, аніонна та катіонна. Завдяки цьому він може легко досягати як ґрунтових, так і підземних вод.

Отже, відзначається актуальністю розроблення інтегрованих рішень поводження з радіоактивними відходами та реалізації проєктів екологічно безпечного розвитку зони відчуження.

Методи, які найбільш поширено використовуються і задовольняють вимоги безпеки є:

1) тверді радіоактивні відходи пресують. Завдяки цьому методі існує можливість зменшити кількість радіоактивних відходів до 5 разів;

2) метод спалювання. Використовується для відходів, які являють собою органічне походження. Під час спалювання ці відходи переходять в інертний стан, та можуть краще зберігатися, щоб потім направитися на

					<b>ТС 20510170</b>	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

захоронення. Зольний залишок, який при цьому утворюється, йде на пресування. У ролі іммобілізуючої субстанції, зазвичай, використовують розчин цементу;

3) включення рідких радіоактивних відходів в матриці. Відходи змішують з добавками та розчинами цементу і після цього відправляють затверділий компаунд на захоронення.

Іншим досить розповсюдженим методом переведення кубового залишку (КЗ) у твердий стан є бітумування. У цьому разі КЗ випаровується до сухого залишку (порошкоподібна субстанція) при високій температурі на стінках бітуматора та змішується з розплавленою бітумною масою. Окремі характеристики бітумного компаунду, зокрема стійкість до вилуговування радіонуклідів, вищі, ніж характеристики цементного компаунду, але цементування з погляду технологічності та економічних затрат більш прийнятне [3].

## 1.2 Стала концепція розвитку Чорнобильської зони відчуження та досвід розвитку зон евакуації після аварії на АЕС «Фукусіма-1» (Японія)

Впливи Чорнобильської і Фукусімської катастроф є масштабними. Обидві катастрофи призвели до загального погіршення стану здоров'я і благополуччя населення. Через відкладену у часі (латенту) специфіку розвитку онкозахворювань та у зв'язку з тим, що з моменту аварії на АЕС «Фукусіма-1» минуло лише десять років, сьогодні досі не визначена чітка прогностична функція щодо впливу її на динаміку захворюваності на конкретні види раку та інші хвороби, пов'язані з цією аварією. Але було встановлено очевидне збільшення випадків захворювання на рак щитовидної залози, що підтверджено науковими даними [4].

Радіаційний стан навколишнього середовища в Чорнобильській зоні відчуження істотно змінився в порівнянні з першим після аварійний роком. Нині, після розпаду коротко існуючих радіонуклідів, основні дозові

					<b>ТС 20510170</b>	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

навантаження на людей і ландшафт формуються за рахунок стронцію-90, трансуранових елементів та цезію-137.

26 квітня 2016 року – було створення Чорнобильського біосферного заповідника. Заповідник було створено за указом Президента України. Він знаходиться в Поліському та Іванківському районах в Київській області. Межі заповідника: зона безумовного відселення, яка була радіоактивно забруднена та зона відчуження.

Заповідник займає площу 227 тисяч гектарів. Прикладом таких заповідників є Білорусь та Урал. Чорнобильський заповідник для України є найбільшим. Його також можна назвати і унікальним. Для заповідника притаманне багате різноманіття, а саме: водні і наземні біосистеми, 5 видів ландшафтів, різні види хребетних, багато лишайників та 200 видів різних мохів.

Основні завдання Заповідника зображені на рисунку 1.1 відповідно до наших попередніх досліджень [5].

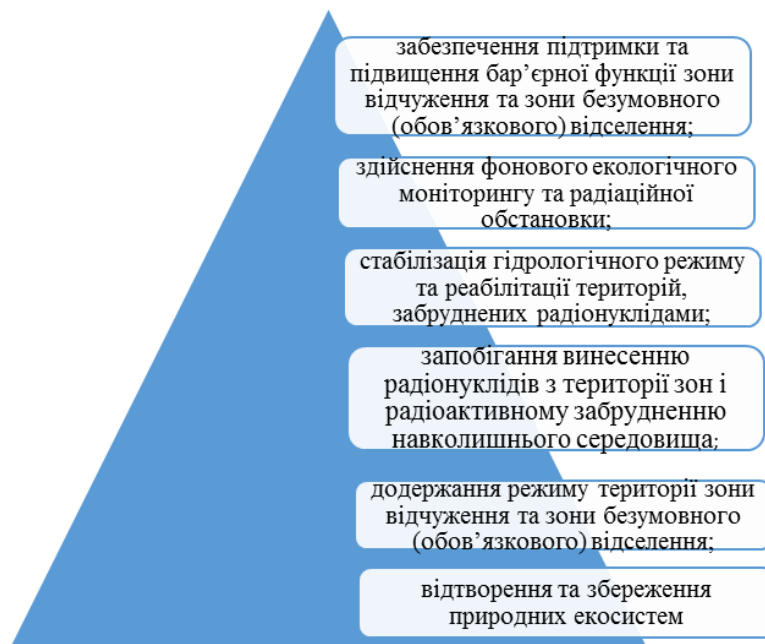


Рисунок 1.1 – Блок-схема основних завдань створення Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника

Специфічною особливістю забезпечення ефективного менеджменту екомережі в межах Чорнобильського біосферного заповідника має стати радіаційна безпека, зменшення ризиків пожеж, перенесення і міграції радіонуклідів на прилеглі території [6]. Механізмом для оптимального та ефективного збереження ландшафтів, які є забрудненими, та мінімізацію загроз перенесення радіонуклідів є транскордонне співробітництво у контексті Поліської екологічної конвенції та Пан'європейської екомережі, яку потрібно обґрунтувати і ратифікувати між Білоруссю, Польщею, Росією та Україною.

Державне агентство України з управління зоною відчуження, в першу чергу, ставить перед собою завдання щодо зміни статусу Чорнобильського біосферного заповідника, а саме: зробити заповідник спеціалізованим державним підприємством. Адже на сьогодні існують певні розбіжності у законодавстві щодо функцій Державного агентства України з управління зоною відчуження та Державної служби України з надзвичайних ситуацій, і відповідно у фінансуванні цих структур під час виникнення пожеж у Чорнобильській зоні. Щодо частих лісових пожеж у зоні відчуження, то можна виділити декілька таких причини: немає належного фінансування лісів від пожеж, закриття багатьох лісопожежних організацій, підприємств та установ, відсутність організації щодо впровадження досліджень у зоні відчуження.

Відповідно до основних пріоритетних напрямів розвитку Чорнобильської зони відчуження (ЧЗВ) була сформована модель, що наведена на рисунку 1.2 [5].

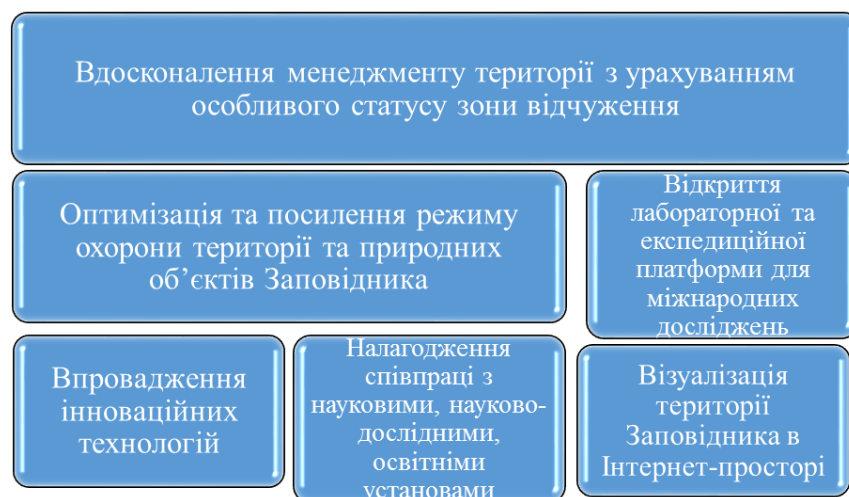


Рисунок 1.2 – Інтегрована модель стратегії стійкого розвитку Чорнобильського біосферного заповідника

Для забезпечення контролю за пересуванням людей у зоні відчуження, може стати ефективним запровадження єдиної системи «Розумне місто», яка буде використовувати системи GPS та створення єдиного диспетчерського центру [4].

Аварія на АЕС «Фукусіма-1» – велика радіаційна аварія максимального, 7-го рівня за Міжнародною шкалою ядерних подій (INES), що почалася 11 березня 2011 року в результаті найсильнішого сильного в історії Японії землетрусу і цунамі [7]. Роботи з відновлення АЕС та усунення наслідків тривали майже місяць. За цей час в море було скинуто приблизно 10 000 тонн радіоактивно зараженої води, яка слугувала для охолодження реакторів. 11 квітня відбувся ще один землетрус, цього разу силою у 7 балів. За півроку усю забруднену воду відкачали та полагодили системи охолодження реакторів. Утім, на цьому ліквідація аварії не завершилася [8]. Видалення забрудненої води з будинків реактора і турбін стало основним завданням на третьому тижні, поряд із забрудненою водою в траншеях, які прокладають кабелі і трубопроводи. Це було пов'язано як із затопленням внаслідок цунамі, так і з витоком з реакторів. Сток з майданчика в море також містив радіонукліди, що значно перевищують допустимі рівні. Поступово було створено близько 1000 резервуарів-сховищ, в тому числі спочатку 350 сталевих резервуарів з

гумовими швами, кожен з яких вміщав 1200 м<sup>3</sup>. Компанія Терсо побудувала нову установку очищення стічних вод для очищення радіаційно забрудненої води. При цьому була використана як запатентована в США адсорбційна технологія, так і французькі традиційні технології на новій очисній станції продуктивністю 1200 м<sup>3</sup> / добу. Ці установки скорочують обсяг цезію з приблизно 55 МБк / л до 5,5 кБк / л. [9]. Для того, щоб стабілізувати ситуацію на Фукусімській АЕС, необхідно провести вилучення ядерного палива з реакторів. Це японські фахівці запланували зробити у 2021 році.

Впродовж перших днів аварії з прилеглих територій, які були уражені радіоактивним забрудненням, довелося евакуювати близько 170 тисяч жителів. В 11 муніципалітетах, за винятком «зони важкозворотньої», в 9 (в усіх, окрім міста Футаба і міста Окума), розпорядження про евакуацію були скасовані станом на 1 квітня 2017 року після дезактивації радіоактивних матеріалів і ремедіації. При цьому була впроваджена інфраструктура, що зображена на рисунку 1.3. В результаті, число біженців з евакуйованих районів близько 24000 (близько 1 % населення префектури Фукусіма), а площа, що підлягає евакуації, склала близько 370 км<sup>2</sup> (близько 3 %) [10].

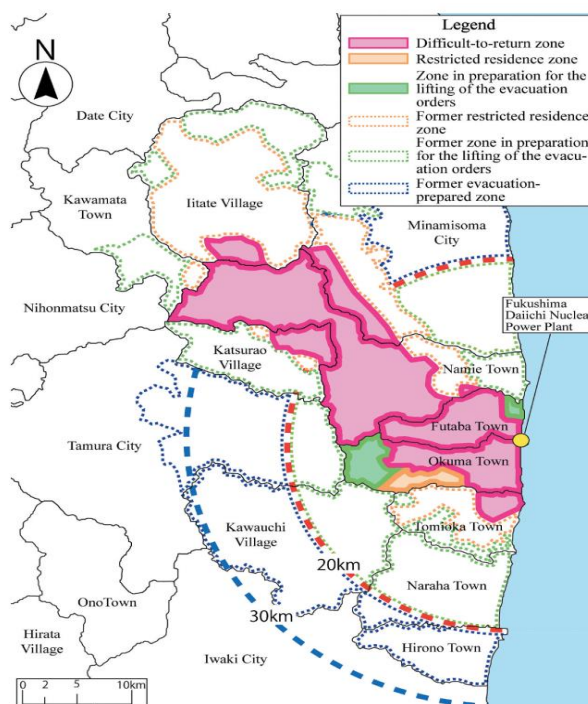


Рисунок 1.3 – Стан зон ядерної евакуації станом (Kawasaki, 2021) [10]



Слід зазначити, що 19 квітня 2011 р. Міністерство освіти, культури, спорту, науки і технологій Японії визначило 13 початкових шкіл, зокрема початкову школу Томінарі в місті Даті, школами з високими дозами радіації, які повинні були обмежити заняття на свіжому повітрі у зв'язку з наслідками аварії на АЕС «Фукусіма-1». Муніципальна влада почала вживати заходи вже через тиждень, було видалено забруднений шар ґрунту на території школі та відповідно дозволили прогулянку на свіжому в школі Томінарі, яка є початковою. Також було продовжено роботи з дезактивації, під час цього було використано спеціальні апарати з високим тиском. Після цього вже було видно перші добрі результати, проте для досягнення більш позитивного ефекту потрібні ще більш ефективні методи. У липні 2011 року муніципальна влада приступили до реалізації проекту щодо відновлення навколишнього середовища, як в будівлях школи, так і за їх межами. У проєкті взяли участь дослідники та фахівці з дезактивації, члени Асоціації батьків і вчителів, місцеві спільноти, а також волонтери, які використовували різні спеціалізовані форми дезактивації. Асфальтові поверхні та невеликі отвори в конструкціях, що поглинали радіаційне випромінювання, були дезактивовані методом піскоструминного оброблення (рис. 1.4а). Цей метод передбачає зачищення ділянки дрібнозернистим абразивним матеріалом з піску, який потім розпорошується за допомогою обладнання із встановленими фільтрами. Якщо на поверхні дезактивованій були тріщини та була рослинність, то її віддаляли, а тріщини заповнювалися асфальтом. Пластмасові вироби, такі як обладнання дитячих майданчиків, очищалися за допомогою хімічних реагентів. Рослини були зрізані зі схилів, а коріння вилучені шляхом вискоблювання. Посаджені ділянки були підрізані за допомогою електричних фрезаків, оснащених мішками для пирососа (рис. 1.4б). У результаті початкова школа змогла відновити уроки плавання в кінці першого семестру [11].

					<b>ТС 20510170</b>	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



а)



б)

Рисунок 1.4 – Дезактивація прилеглих до школи територій (м.Даті, Японія): а) метод піскоструменого оброблення ( $8 \text{ мЗв} \cdot \text{год}^{-1} \rightarrow <0.7 \text{ мЗв} \cdot \text{год}^{-1}$ ); б) електричний фрезерний метод ( $3,5 \text{ мЗв} \cdot \text{год}^{-1} \rightarrow <0,7 \text{ мЗв} \cdot \text{год}^{-1}$ ) (Katsumi, 2016) [11]

У лютому 2014 року було опубліковано результати дослідження, згідно з якими 458 жителів двох обстежених районів, розташованих у 20–30 км від АЕС, і третього – в 50 км на північний захід від забрудненої території отримали дози опромінення, аналогічні природним фоновим рівням в країні. Вимірювання проводилося за допомогою персональних дозиметрів протягом серпня-вересня 2012 року [9]. Територія довкола АЕС «Фукусіми-1» не стала зоною відчуження та не має туристичних локацій, що на сьогодні розвиваються у ЧЗВ.

Впровадження нових технологічних інновацій в першу чергу має стосуватися розробленої системи, яка відповідає за поводження з радіоактивними відходами. Дослідження, які будуть здійснюватися в подальшому мають бути направлені на:

- технологічні рішення щодо утилізації рідких радіоактивних відходів;
- поміщення радіоактивних речовин до матричних систем;
- розробка методів очищення ґрунтів на основі різних компонентів.

План розвитку ЧЗВ полягає в реабілітації радіаційно забруднених

					<b>ТС 20510170</b>	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

територій, повторного визначення територіального статусу ЧЗВ та видачі дозволів на повернення населення в незабруднені райони. Нова концепція передбачає розподіл ЧЗВ на окремі сектори [2]:

1) планується, що промислова зона буде створена на найбільш забруднених територіях, де розміщена Чорнобильська атомна електростанція, установки для переробки та основні пункти зберігання радіоактивних відходів. Передбачається, що основна промислова діяльність буде виконуватися саме тут, в особливості роботи з будівництва нового безпечного конфайнмента (НБК);

2) розглядається можливість перетворення санітарно-захисної зони в буферну зону між промисловою зоною і територією природного заповідника;

3) заповідні зони передбачається розмістити там, де будуть заборонені промислова та інша діяльність людини з метою збереження основних природних ландшафтів і біологічного різноманіття регіону.

Відновлення Чорнобильської зони відчуження має на меті створити сприятливі умови для того, щоб відбувався значний розвиток промислової діяльності та покращувалися умови природного навколишнього середовища. Маємо сподівання, що нова захисна оболонка(або конфайнмент) буде знаходитися в експлуатації не менше, ніж 100 років.

Пункти зберігання радіоактивних відходів являють собою безпечні сховища, які будуть надавати безпечні умови щодо знешкодження цих відходів протягом багатьох років(300, а можливо і більше). Планується, що на цій території Чорнобильської зони відчуження буде розпочате будівництво глибокого геологічного сховища, так як ця зона є найкращим варіантом і відповідає всім вимогам безпеки зберігання радіоактивних відходів. Є можливим створення інженерно-технічного центру, який буде переробляти рідкі та тверді радіоактивні відходи та речовини і після цього вони будуть направлятися до глибоких геологічних формацій і будуть там зберігатися.

### 1.3 Огляд попередніх досліджень в сфері поводження з радіоактивними відходами

Згідно бази даних Scopus було визначено активну діяльність зростання публікацій щодо теми поводження з радіоактивними відходами. Найбільша кількість публікацій була опублікована в роки, коли були радіоактивні аварії(рисунок 1.5). Можна сказати, що у 2011 році спостерігався пік публічної активності. У 1983 році розпочався зріст публікацій, а перше зростання, яке мало великий вплив відбулося у 1986 році.

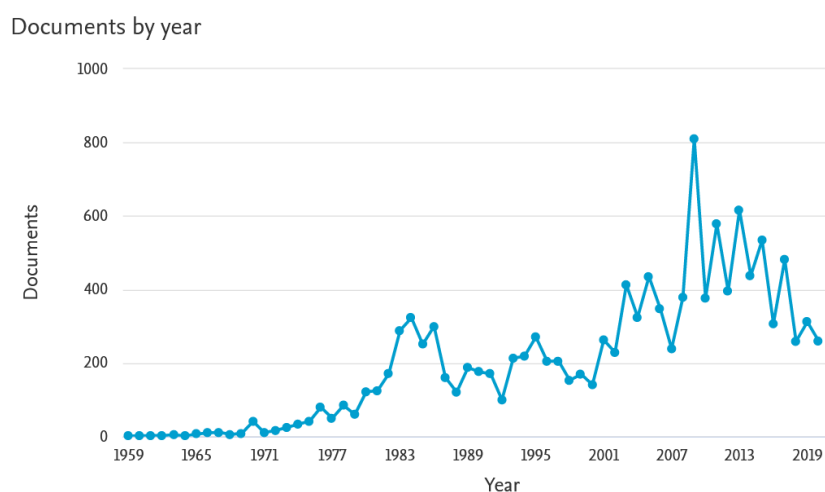


Рисунок 1.5 – Діаграма публікаційної активності за роками відповідно до даних БД Scopus

На рисунку 1.6 зображено активність публікацій, які були у різних країнах. Велику кількість статей, а саме 3250, було опубліковано у Сполучених Штатах Америки та у Великобританії(1000 публікацій). Такі країни як Японія та Китай також проявили зацікавленість у цій сфері. Все це говорить про те, що багато країн бере активну участь щодо методики поводження з радіоактивними відходами.

## Documents by country or territory

Compare the document counts for up to 15 countries/territories.

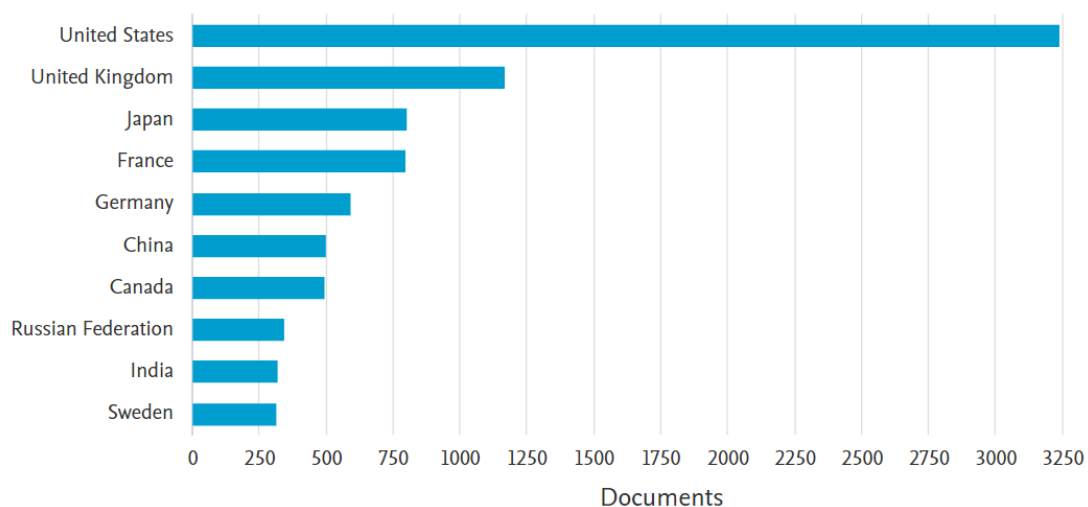


Рисунок 1.6 – Діаграма розподілу публікацій за країнами щодо досліджень у сфері поводження з радіоактивними відходами за БД Scopus

Слід сказати, що сфера реалізації досліджень є досить широкою (рис. 1.7) і має відношення не тільки до удосконалення обладнання інженерним напрямом, а також оцінювання впливу радіаційного забруднення на компоненти екосистеми та розвитку енергетичного потенціалу атомних електростанцій [13,14].

Відповідно до офіційних даних Державного агентства управління зоною відчуження [15] за обсягами радіоактивних відходів (РАВ) Україна знаходиться на II місці у Європі та на IV в світі (3,5 млн м<sup>3</sup>).

Короткоживучі радіонукліди, які містяться у радіоактивних відходах, необхідно хоронити в спеціальних спорудах, які до цього пристосовані. Всі інші радіоактивні відходи необхідно спочатку перевести у безпечні форми, переважно тверді, а потім відправляти до глибокого геологічного сховища. Для створення таких сховищ необхідні спеціальні умови та відповідна територія. Щоб виконати ці вимоги потрібно дуже багато часу.

Documents by subject area

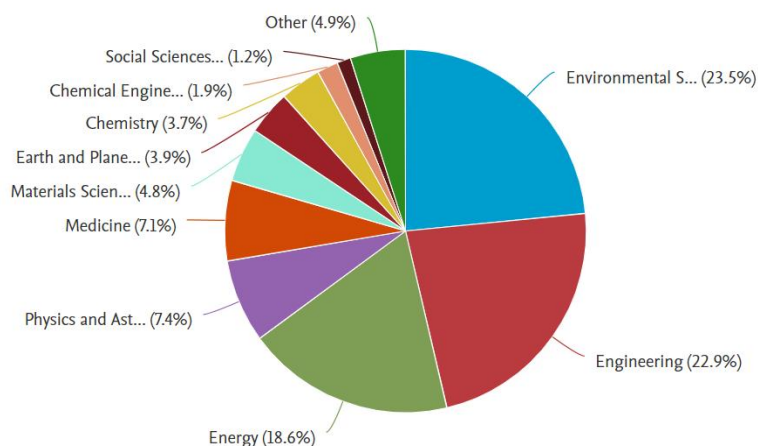


Рисунок 1.7 – Діаграма документів за галузями використання за БД Scopus

Забезпечення безпеки сховищ з радіоактивними відходами здійснюється та забезпечується нормативними документами, які встановлюють: вибір та розташування площадки, ліцензування умов та критеріїв щодо площадок, проєктування, здійснення радіаційного контролю, проведення моніторингу навколишнього середовища.

Надзвичайно важливим є напрям щодо поводження з радіоактивними відходами та постійне вдосконалення існуючої інфраструктури, а саме:

- розробка більш сучаснішої класифікації радіоактивних відходів, яка буде використовуватися під час їх захоронення;
- удосконалення зони спеціального використання;
- розбудова сучасних та нових сховищ для захоронення радіоактивних відходів.

На рисунку 1.8 наведено розташування пунктів тимчасової локалізації РАВ (ПТЛРВ) та захоронення радіоактивних відходів (ПЗРВ).

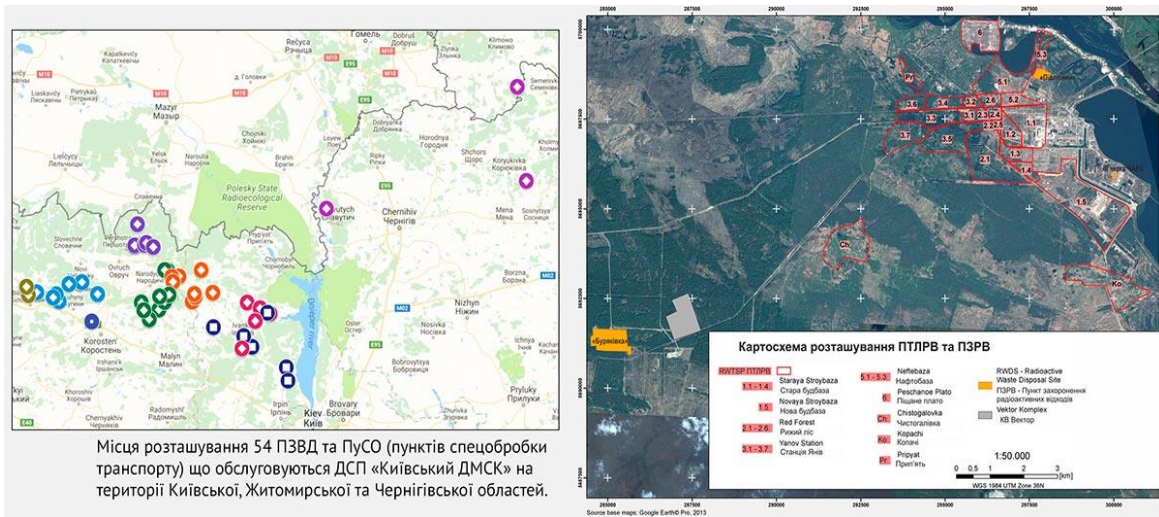


Рисунок 1.8 – Локації ПТЛРВ та ПЗРВ [15]

Відходи дезактивації, які зберігаються у таких пунктах, переважно не належать до радіоактивних відходів, проте вони є небезпечними для люде та довкілля.

У зоні відчуження здійснюється дезактивація та локалізація підприємством «Комплекс». За межами цієї зони локалізація радіоактивних відходів відбувається службою експлуатації, яка утворена міжобласним спецкомбінатом УкрДО «Радон».

## РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ У СФЕРІ ПОВОДЖЕННЯ З РАДІОАКТИВНИМИ ВІДХОДАМИ

### 2.1 Методика моделювання кластерів інноваційних розробок за допомогою спеціального візуалізаційного програмного забезпечення

Для моделювання застосовуються наукометрична база даних Scopus та програмний продукт VOSviewer для візуалізації кластерів.

База даних Scopus була започатковано ще в 2004 році і активно використовується в наш час. Власником цієї бази є всесвітньо відома компанія Elsevier.

База даних дозволяє відстежити статті, які є опублікованими у наукових виданнях. В ній також можна знайти наукові журнали та книжкові видання. База даних дозволяє: знайти потрібну інформацію, та її аналізувати; проаналізувати зв'язки між дослідженнями щодо методів поводження з радіоактивними відходами; здійснити оцінку результатів; можливість здійснення аналізу та оцінка ступеню важливості даної проблеми; можливість отримання лише реальних даних та виділити ті, які є найбільш актуальними і які можна буде використати для розробки рішення щодо поводження з радіоактивними відходами. Для створення певного набору даних з публікаціями, які ми знаходимо в базі даних Scopus, необхідно в запиті ввести такі ключові слова, які стосуються даної теми дослідження. Потім знаходиться інформація щодо теми і вже потім формується цілий набір даних, які потім можна активно використовувати для подальших досліджень.

Для візуалізації кластерів використовується програмний продукт VOSviewer. Під час його використання існує можливість використовувати велику кількість джерел даних.

					ТС 20510170	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Коли ми формуємо візуалізаційні карти, то програма спочатку виокремлює кластери, які містять в собі ключові терміни, які між собою пов'язані. Тому для перевірки найсучасніших тенденцій досліджень найчастіше використовують накладну візуалізацію, яка являє собою найбільш ефективну програму для перевірки. Розмір кіл відповідає переважанню термінів при публікації досліджень за певним напрямом. Розподіл кольорів залежить від року публікації (у середньому для кожного кластера), останні – жовтого кольору. Основні ядра кластерів визначаються часом їх сфер перетину один з одним.

На основі цих двох методів було сформовано інтегровану систему аналітичних інструментів з візуалізаційною презентацією отриманих результатів за допомогою існуючих у вільному доступі програмних продуктів. Така система наведена на рисунку 2.2.

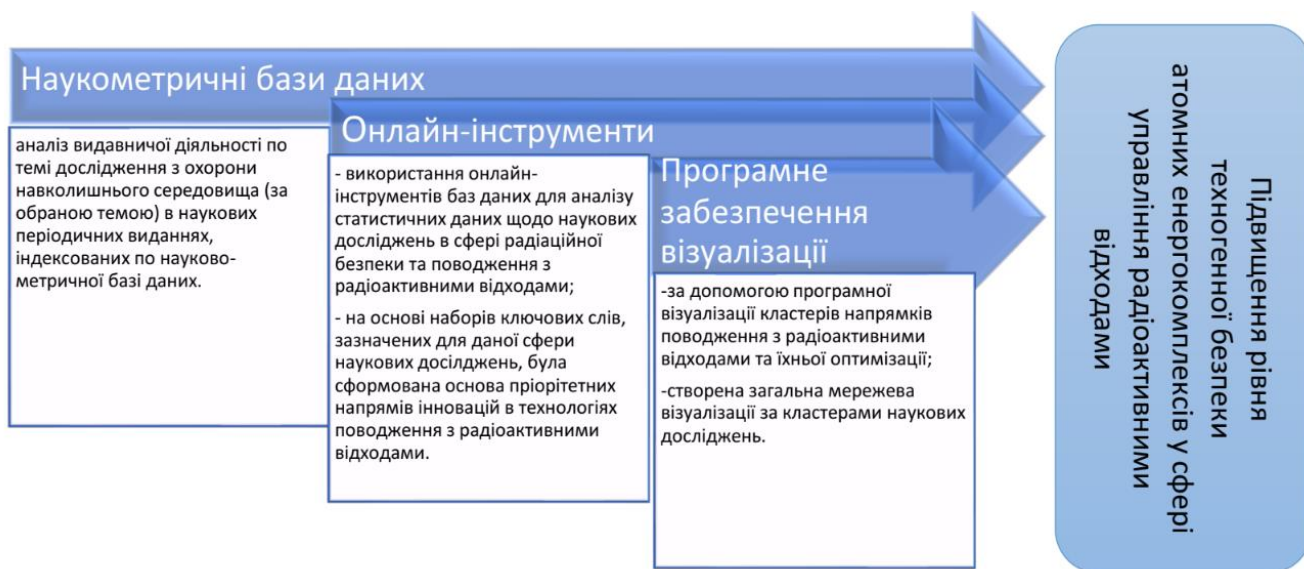


Рисунок 2.2 - Система взаємозв'язків методів досліджень для реалізації інтегрованого підходу та створення інноваційних рішень у сфері поводження з радіоактивними відходами

## 2.2 Методика SWOT-аналізу

SWOT-аналіз – це метод, що досить популярно застосовується при стратегічному плануванні. За допомогою цього аналізу можна встановити зв'язки між сильними та слабкими сторонами, можливостями та загрозами. Ці дані можуть бути в подальшому використані для вибору найбільш актуальної стратегії.

Методика SWOT-аналізу – це засіб, що являє собою оцінку реального стану ситуації для методів поводження з радіоактивними відходами та вибір кращого методу.

SWOT-аналіз включає в себе 4 елементи, які потрібно визначати при його проведенні:

- сильні сторони – це певні навички чи потенціал, що зумовлюють конкурентну перевагу для певних методів,
- слабкі сторони – це певні недоліки, які мають методи,
- можливості – альтернативи, які використовуються для досягнення певних цілей,
- загрози – це негативні явища, які перешкоджають розвитку і використанню методів.

Аналітичною метою SWOT-аналізу є перетворення загроз в можливості, усунення цих загроз, перетворення слабких сторін в сильні сторони.

Етапами проведення аналізу є:

1. Визначення сильних та слабких сторін(аналіз внутрішнього середовища).
2. Визначення можливостей та загроз(аналіз зовнішнього середовища).
3. Порівняння сильних і слабких сторін з огляду на гіпотетичні та реальні можливості.
4. Складання матриці SWOT-аналізу.

5. Визначення стратегій та заходів, які мають на меті покращення умов використання методів.

На рисунку 2.1 зображена матриця, яка використовується для SWOT-аналізу.

		Зовнішнє середовище	
		Можливості (шанси) 1. 2. і т.ін.	Загрози 1. 2. і т.ін.
Внутрішнє середовище	Сильні сторони 1. 2. і т.ін.	Поле СіМ (заходи)	Поле СіЗ (заходи)
	Слабкі сторони 1. 2. і т.ін.	Поле СлМ (заходи)	Поле СлЗ (заходи)

Рисунок 2.1 – Матриця SWOT-аналізу

SWOT-аналіз має свої переваги та недоліки. До переваг можна віднести:

- формування стратегічних пріоритетів та визначення конкурентних переваг,
- швидкий та дієвий метод оцінки,
- періодична діагностика,
- оцінка поточного стану,
- вчасне реагування на проблеми.

До недоліків належить:

- існує ризик недооцінки та переоцінки,
- проблеми з пошуком інформації,
- залежить від того, хто проводить аналіз,
- суб'єктивність вибору.

### РОЗДІЛ 3 РОЗРОБЛЕННЯ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО РІШЕННЯ ЩОДО ПОВОДЖЕННЯ З РАДІОАКТИВНИМИ ВІДХОДАМИ

#### 3.1 Візуалізаційне моделювання напрямів поводження з радіоактивними відходами

За допомогою програми VOSViewer було здійснено візуалізацію за кластерами щодо методів поводження з радіоактивними відходами. На рисунку 3.1 зображено кластер щодо методів знешкодження радіоактивних відходів.

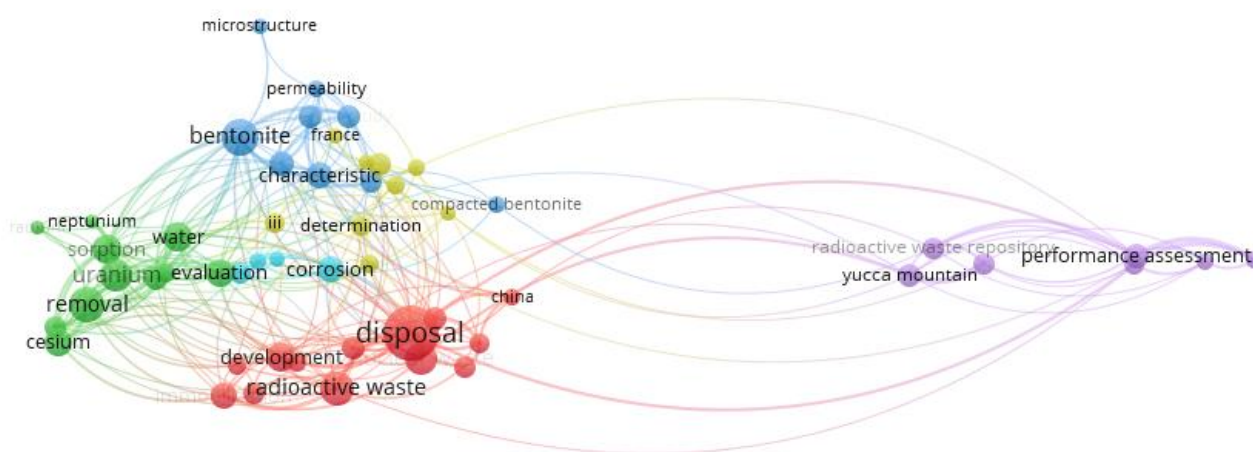


Рисунок 3.1 – Мережа візуалізацій щодо методів знешкодження радіоактивних відходів з використанням програми VOSViever

Було виділено 5 типів кластерів: зелений, червоний, синій, фіолетовий та жовтий. Червоний кластер відповідає за методи утилізації радіоактивних відходів; синій – охоплює методи щодо захоронення РАВ та використання матричних технологій; зелений – методи знешкодження рідких радіоактивних відходів; фіолетовий – передбачає ізоляцію радіоактивних відходів з

використанням сховищ; жовтий – знаходиться на стадії формування і охоплює в собі загальну характеристику щодо поводження з радіоактивними відходами.

На основі взаємозв'язків, які було сформовано між цими 5 кластерами, можна зробити відповідний висновок: методи поводження з радіоактивними відходами розширюються, і кожен з методів відіграє важливу роль у забезпеченні безпеки для людини та навколишнього середовища від негативного впливу.

### 3.2 SWOT-аналіз методів поводження з радіоактивними відходами

Для проведення SWOT-аналізу було обрано рідкі та тверді радіоактивні відходи. Для рідких радіоактивних відходів взято такі два методи, які застосовуються найчастіше – бітумування та розсіювання.

Бітумування є методом включення рідких радіоактивних відходів в бітумні матеріали.

Аналіз внутрішнього середовища. Сильні сторони:

1. Доступність та дешевизна;
2. Гідроізолюючі властивості;
3. Термопластичність, що дозволяє краще включати в себе компоненти;
4. Стійкість до механічних та біологічних впливів.

Слабкі сторони:

1. Потрібно визначати чи сумісні відходи з бітумом;
2. Рідкі відходи потрібно включати в бітум лише при певній температурі;
3. Недостатня термічна стійкість.

Аналіз зовнішнього середовища. Можливості:

- покращення технологічного параметру процесу бітумування;
- установка бітумування оснащеною системою очищення газів.

Загрози:

- зміна властивостей бітуму протягом часу;
- внаслідок радіаційного впливу змінює свої характеристики;

					<b>ТС 20510170</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

- недотримання вимог гомогенності.

Складаємо матрицю SWOT-аналізу, яка наведена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 Матриця SWOT-аналізу методу бітумування радіоактивних відходів.

Сильні сторони	Бал	Ранг	Кор. · коє ф.	Се Р- зна ч.	Слабкі сторони	Бал	Ранг	Кор. коєф	Сер · зна ч.
Доступність та дешевизна	4	2	0,4	1,6	Потрібно визначити чи сумісні відходи з бітумом	3	5	1	3
Гідроізолюючі властивості	4	5	1	4	Рідкі відходи потрібно включати в бітум лише при певній температурі	5	3	0,6	3
Термопластичність	5	4	0,8	4	Недостатня хімічна стійкість	2	2	0,4	0,8
Стійкість до механічних та біологічних впливів	3	3	0,6	1,8					
Можливості	Бал	Ранг	Кор. · коє ф.	Се Р- зна ч.	Загрози	Бал	Ранг	Кор. коєф ·	Сер · зна ч.
покращення технологічного параметру процесу бітумування	3	4	0,8	2,4	Недотримання вимог гомогенності	3	2	0,4	1,2
установка бітумування оснащеною системою очищення газів	5	5	1	5	Зміна властивостей бітуму протягом часу	4	5	1	4
					Зміна характеристик внаслідок радіаційного впливу	5	3	0,6	3
Сума середніх значень				18, 8	Сума середніх значень				14

Після визначення складових зовнішнього і внутрішнього середовища проводимо кількісну оцінку. Отримуємо бал 4,8.

Розсіювання – це метод, який має на меті зменшити вміст небезпечних відходів, щоб вони були безпечними для довкілля.

Аналіз внутрішнього середовища. Сильні сторони:

- знешкодження близько 99% плутонію та цезію
- водні відходи відповідають всім нормативним вимогам

					<b>ТС 20510170</b>	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- дослідження адсорбції та її проведення
- повна утилізація радіоактивних відходів

Слабкі сторони:

- Постійний контроль рН середовища
- Залежність від радіоактивних ізотопів
- Детальний підбір реагентів
- Дороге устаткування

Аналіз зовнішнього середовища.

Можливості:

- Розробка методу видалення радіоактивного йоду
- Розширення списку щодо коагулянтів

Загрози:

- Дорогі реагенти призводять до неможливості повного їх застосування
- Контроль іонів металів, які можуть призвести до порушення процесу.

Після визначення складових зовнішнього і внутрішнього середовища проводимо кількісну оцінку. Дана матриця наведена у таблиці 3.2. Отримуємо бал 2,4.

					<b>ТС 20510170</b>	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.2 Матриця SWOT-аналізу методу розсіювання радіоактивних відходів.

Сильні сторони	Бал	Ранг	Ко р- коє ф.	Се р- зн ач.	Слабкі сторони	Ба л	Ранг	Кор · коє ф.	Сер · зна ч.
знешкодження близько 99% плутонію та цезію	5	5	1	5	Постійний контроль рН середовища	5	5	1	5
Відповідність нормативним вимогам	3	2	0,4	1,2	Залежність від радіоактивних ізотопів	4	4	0,8	3,2
Дослідження адсорбції	4	3	0,6	2,4	Детальний підбір реагентів	3	2	0,4	1,2
Повна утилізація радіоактивних відходів	5	5	1	5	Дороге устаткування	2	3	0,6	1,2
Можливості	Бал	Ранг	Ко р- коє ф.	Се р- зн ач.	Загрози	Ба л	Ранг	Кор · коє ф.	Сер · зна ч.
Розробка методу видалення радіоактивного йоду	4	5	1	5	Дорогі реагенти призводять до неможливості повного їх застосування	3	5	1	5
Розширення списку щодо коагулянтів	3	3	0,6	1,8	Контроль іонів металів, які можуть призвести до порушення процесу	4	3	0,6	2,4
Сума середніх значень				20,4	Сума середніх значень				18

Отже, після проведення SWOT-аналізу оцінки такі: бітумування 4,8, а метод розсіювання – 2,4. За даними оцінками можна зробити висновок, що метод бітумування є кращим та надійнішим способом знешкодження рідких радіоактивних відходів. Схему цього процесу наведено на рисунку 3.1.



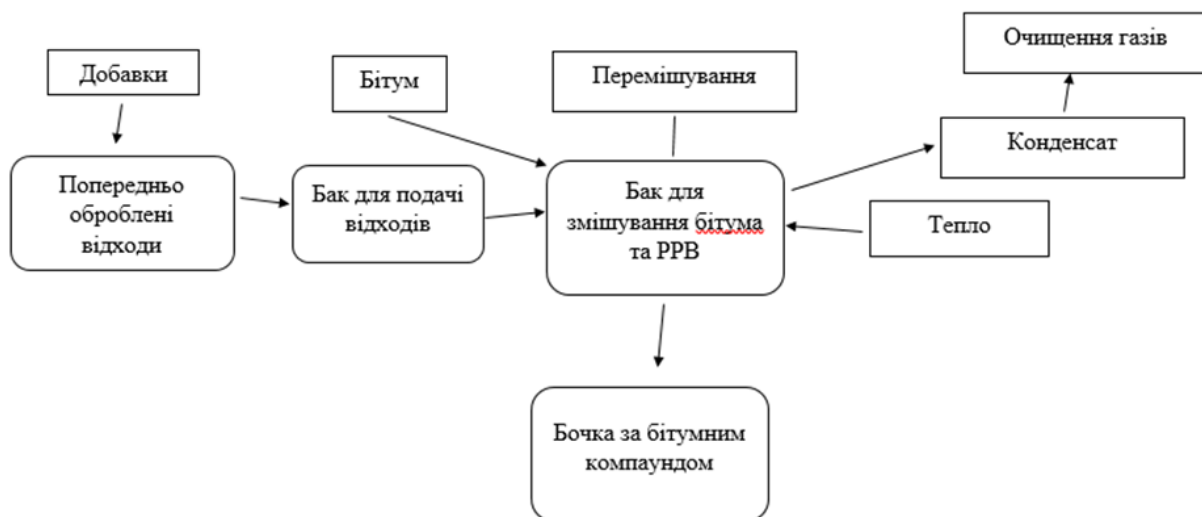


Рисунок 3.2 – схема процесу бітумування рідких радіоактивних відходів

Для знешкодження радіоактивних твердих відходів та захист від потрапляння їх до довкілля застосовуються два методи:

- ізоляція,
- матричні технології.

Ізоляція застосовується для тимчасового зберігання радіоактивних відходів.

Аналіз внутрішнього середовища.

Сильні сторони:

- відходи поміщені в підземні сховища,
- відсутність негативного впливу на ґрунт та навколишнє середовище,
- довготривале зберігання відходів,
- в залежності від активності відходів використовують різні типи сховищ.

Слабкі сторони:

- постійний контроль протягом існування сховища,
- необізнаність щодо застосування бар'єрів,
- проблеми з відведенням нових ділянок для ізоляції.

## Аналіз внутрішнього середовища.

### Можливості:

- використання методу багатошарового захисту,
- застосування консервативного підходу,
- вдосконалення системи ізоляції до європейського рівня.

### Загрози:

- деградація систем сховищ,
- порушення системи інженерних бар'єрів може призвести до порушення ізоляції радіоактивних відходів.

Складаємо матрицю SWOT-аналізу та проводимо кількісну оцінку. Дана матриця наведена у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 Матриця SWOT-аналізу методу ізоляції радіоактивних відходів.

Сильні сторони	Бал	Ранг	Кор. коє ф.	Се р. зна ч.	Слабкі сторони	Бал	Ранг	Ко р. коє ф.	Сер. знач.
Відходи поміщені в підземні сховища	4	2	0,4	1,6	Постійний контроль протягом існування сховища	4	5	1	4
Відсутність негативного впливу на навколишнє середовище	5	5	1	5	Необізнаність щодо застосування бар'єрів	3	4	0,8	2,4
Довготривале зберігання відходів	5	5	1	5	Проблеми з відведенням нових ділянок для ізоляції	5	3	0,6	3
В залежності від активності відходів використовують різні типи сховищ	4	4	0,8	3,2					
Можливості	Бал	Ранг	Кор. коє ф.	Се р. зна ч.	Загрози	Бал	Ранг	Ко р. коє ф.	Сер. знач.
Використання методу багатошарового захисту	4	4	0,8	3,2	Деградація систем сховищ	5	5	1	5
Застосування консервативного підходу	4	4	0,8	3,2	Порушення системи інженерних бар'єрів може призвести до порушення ізоляції	4	5	1	4
Вдосконалення системи ізоляції	5	5	1	5					
Сума середніх значень				26, 2	Сума середніх значень				18,4

					<b>ТС 20510170</b>					Арк.
										33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Отримуємо бал за метод ізоляції 7,8.

Матричні технології – іммобілізація радіоактивних відходів в матричні матеріали.

Аналіз внутрішнього середовища.

Сильні сторони:

- хороша сумісність з радіоактивними відходами, що забезпечує високий ступінь наповнення,
- довговічність,
- зручність застосування,
- високі ізоляційні властивості,
- механічна та корозійна стійкість.

Слабкі сторони:

- відносна складність технологічної схеми,
- деякі матриці є нестійкими і потребують додаткових технологій вдосконалення,
- часткова втрата ізоляційних властивостей протягом довгого часу.

Аналіз зовнішнього середовища.

Можливості:

- вдосконалення матричних технологій,
- поява нових матриць з більш високими властивостями,
- проведення широкого петролого-геохімічного аналізу для матриць,
- можливості широкого застосування зв'язувальних речовин для фіксації радіонуклідів.

Загрози:

- нейтралізація лужних мінералів може призвести до зниження міцності матриці,
- руйнація матриці продуктами метаболізму.

					ТС 20510170	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після визначення складових зовнішнього і внутрішнього середовища складаємо матрицю SWOT-аналізу та проводимо кількісну оцінку. Дана матриця наведена у таблиці 3.4. Бал за матричні технології – 9,4.

Таблиця 3.4 Матриця SWOT-аналізу методу матричних технологій радіоактивних відходів.

Сильні сторони	Бал	Ранг	Кор. кое ф.	Се р. зна ч.	Слабкі сторони	Бал	Ранг	Ко р. кое ф.	Сер. знач.
Довговічність	4	3	0,6	2,4	Відносна складність технологічної схеми	5	3	0,6	3
Зручність застосування	3	2	0,4	1,2	Деякі матриці є нестійкими і потребують вдосконалення	4	4	0,8	3,2
Високі ізоляційні властивості	5	5	1	5	Часткова втрата ізоляційних властивостей протягом довгого часу	5	5	1	5
Механічна та корозійна стійкість	4	3	0,6	2,4					
Хороша сумісність з відходами	5	4	0,8	4					
Можливості	Бал	Ранг	Кор. кое ф.	Се р. зна ч.	Загрози	Бал	Ранг	Ко р. кое ф.	Сер. знач.
Вдосконалення матричних технологій	5	4	0,8	4	Руйнація матриці продуктами метаболізму	5	4	0,8	4
Поява нових матриць	4	3	0,6	2,4	Нейтралізація лужних мінералів може призвести до зниження міцності матриці	5	5	1	5
Проведення широкого геохімічного аналізу для матриць	4	4	0,8	3,2					
Можливості застосування зв'язувальних речовин для фіксації радіонуклідів	5	5	1	5					
Сума середніх значень				29,6	Сума середніх значень				20,2

Порівнявши оцінки(7,8 та 9,4) можна зробити висновок, що кращим методом для поводження з твердими радіоактивними відходами є матричні технології, які будуть забезпечувати кращу ізоляцію від впливу на навколишнє середовище. Схему цього методу наведено на рисунку 3.4.





виправданий і його можна застосовувати і для майбутніх поколінь з метою забезпечення необхідного захисту для населення та довкілля.

Під час проведення певних досліджень було визначено, що глибоке геологічне сховище для радіоактивних відходів можна розташувати у зоні відчуження, а саме у кристалічних породах південно-західної частини. Зона відчуження має певні переваги щодо розташування цього сховища, а саме:

- в ній знаходяться великі кількості радіоактивних відходів;
- транспортування РАВ на невеликі відстані;
- менші ризики щодо потрапляння відходів до навколишнього середовища;
- наявність товстого шару глини, що дозволяє сховищу мати більш високу захисну здатність.

На рисунку 3.5 зображено приклади глибоких геологічних сховищ.



а)



б)

Рисунок 3.5 – приклади глибокого геологічного сховища: а) сховище у зоні відчуження, б) геологічне сховище для довгоіснуючих радіоактивних відходів

Розглянемо глибинне захоронення радіоактивних відходів в Японії. У 1970-х роках в Японії було вперше обговорено питання щодо захоронення радіоактивних відходів. Після цього було здійснено багато досліджень щодо реалізації концепції захоронення. У 1990-х роках було створено робочу групу, яка мала реалізувати політику щодо остаточного захоронення відходів. 2000

					<b>ТС 20510170</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

року Парламент Японії видав закон «Про остаточне захоронення РАВ», що мав на увазі здійснювати глибинне геологічне захоронення. Після цього у 2002 році було засновано Організацію щодо поводження з РАВ (NUMO). Зараз NUMO займається тим, що здійснює пошук майданчика, на якому здійснюватиметься захоронення радіоактивних відходів. Остаточне рішення з цього питання буде ухвалено у 2023–2027 роках.

Основні положення японської концепції поховання РАВ наведені в Плані остаточної ізоляції РАВ, згідно з якими установка, що проектується, зможе вмістити близько 40 000 контейнерів з ВАО, що відповідає всьому обсягу відходів цієї категорії, які, відповідно прогнозів, утворюються внаслідок експлуатації АЕС до 2020 року. При похованні контейнери будуть розміщені на такій відстані один від одного, щоб виділяється відходами тепло не мало істотного впливу на систему поховання. Враховуючи цю вимогу, площа, займана зоною поховання РАВ, може становити близько 5–6 км<sup>2</sup>. Проектований об'єкт також включатиме секцію для поховання РАВ, розрахований на прийом відходів сумарним обсягом близько 19 000 м<sup>3</sup>. Принципова схема влаштування інженерних бар'єрів безпеки для остаточної ізоляції ВАО та ТРУ РАВ представлена на рис. 3.6 та рис. 3.7 відповідно[18].

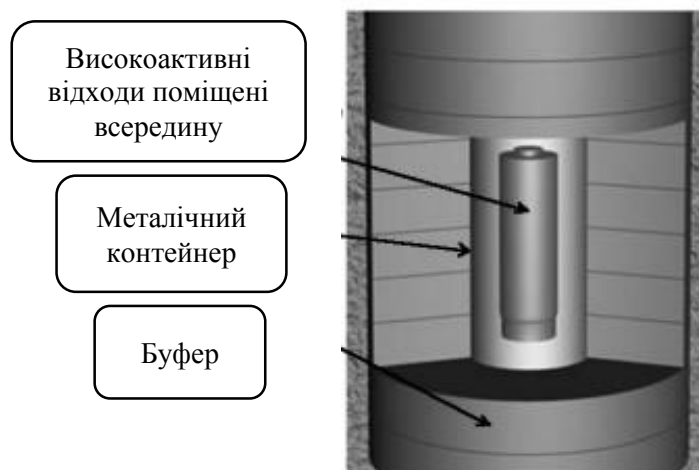


Рисунок 3.6 - Система інженерних бар'єрів безпеки під час поховання РАВ



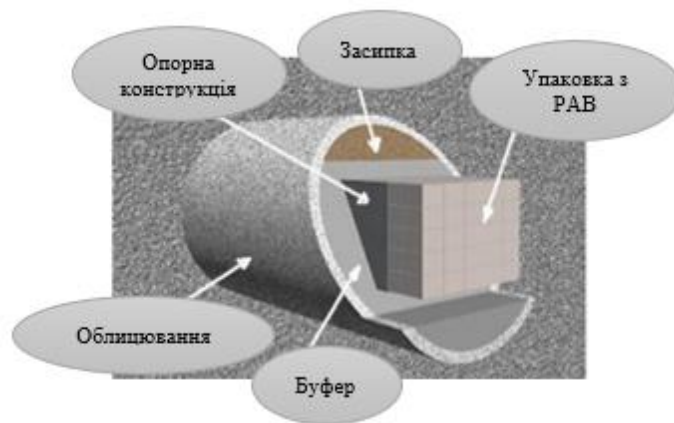


Рисунок 3.7 – Конфігурація інженерних бар'єрів безпеки під час поховання РАВ

Для порівняння розглянемо також геологічне захоронення радіоактивних відходів у Швеції здійснюється прямим похованням без попередньої переробки. ВЯП з усіх шведських АЕС зберігається у пункті централізованого зберігання Slab, розташованому на приреакторному майданчику АЕС. Зберігання здійснюється в басейнах витримки, розміщених у підземних кавернах під 25-метровою товщею ґрунту. Зберігання відпрацьованого палива Slab планується здійснювати протягом 30–40 років, тобто, до моменту введення в експлуатацію національного пункту геологічного поховання[18].

Концепція захоронення. Захоронення довгоіснуючих радіоактивних відходів здійснюється в конструкціях з бетону, які розміщені на глибинах в 300 м в кристалічних породах. Короткоіснуючі відходи будуть ізольовані в транспортних тунелях, які будуть знаходитися в пункті захоронення.

В даний час існує 4 концепції щодо захоронення радіоактивних відходів, одна з них наведена на рисунку 3.8. Радіоактивні відходи розміщують всередині конструкції, яка має форму прямокутника, зроблена з бетону товщиною стін 0,5 м. В якості матеріалу використовується засипка блоків з бентоніту[18].

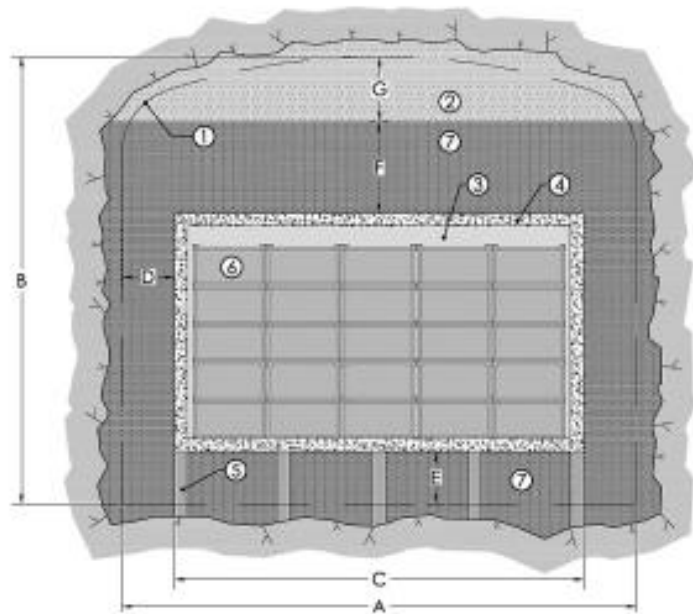


Рисунок 3.8 – Одна з концепцій захоронення радіоактивних відходів в Швеції

1 – внутрішній контур тунелю поховання; 2 – брикети з бентоніту; 3 – цементний заповнювач; 4 – бетонна конструкція (0,5 м); 5 – стійки із граніту; 6 – контейнери із відходами; 7 – блоки із бентоніту

Приблизні розміри: А – 20 м; В – 17 м; С – 16 м; D – 2 м; E – 2 м; F – 3-4 м; G – 2-7 м.

Вибір площадки. Вперше дослідження геологічних формацій з метою пошуку відповідного майданчика для споруди пункту поховання були ініційовані у Швеції ще 1975 року та охопили 17 майданчиків у всій країні. Потім майданчики порівняли за такими критеріями, як площа рельєфу корінних порід, відсутність значних диз'юнктивних порушень на поверхні оголених порід, наявність далеко віддалених один від одного основних зон тріщиноутворення, однорідна будова та склад масиву гірських порід, низький рівень сейсмічної активності в регіоні, наявність архівних даних, що свідчать про малу інтенсивність переміщення ґрунтових вод усередині масиву гірських порід. У ході першого етапу було відібрано 8 майданчиків для подальшого (з 1976 по 1983 рр.) проведення більш детальних досліджень порід, що вміщують [18]. Так було вибрано майданчик, який відповідав всім вимогам. На



Існують проекти з розроблення щільного палива, що поєднуються з промисловим освоєнням і впровадженням змішаного оксидного палива. Для виробництва змішаного урано-плутонієвого палива розроблено ряд таких методів: механічне змішування і спільний розмел порошоків  $PuO_2$  і  $UO_2$ ; золь-гель технологія; гранулювання осадів гідроксидів; амоній-карбонатне ко-осадження; плазмохімічна конверсія; піроелектрохімічний процес отримання гранульованого змішаного діоксиду (твердого розчину) з подальшим вібропакуванням в оболонці ТВЕЛів та ін.

За даними Державного агентства України з управління зоною відчуження, на майданчику виведеної з експлуатації Чорнобильської АЕС в Київській області запущена установка з переробки рідких радіоактивних відходів. Рідкі відходи переробляються в кілька етапів, в результаті чого вони тверднуть у вигляді цементного розчину, який є більш безпечною формою зберігання та захоронення радіоактивних відходів. Але ситуація з переробкою і похованням радіоактивних відходів, в тому числі рідкої фази, не є повністю вирішеною, залишається багато питань, що стосуються екологічної безпеки процесів і технологічної реалізації найбільш енергоефективних рішень. Як показали дослідження в [21], пірогазифікаційне перероблення радіоактивно забруднених матеріалів і РАВ у шахтній печі дає змогу реалізувати низькотемпературну обробку (1000–1100 °С) зі зниженням температури вихідних газів (200 °С). Досягнуто високого коефіцієнта зменшення об'єму шихти (до 140 разів) і реалізовано можливість переробляти суміші з високою вологістю (до 60 %). Встановлено, що введення неорганіки стабілізує процес термпереробки. Термодеструктурована неорганіка (бетон) після відсіву від золи може використовуватися як наповнювач під час бетонування сховищ РАВ.

Дослідження в сфері застосування радіолізу води в зв'язку з проблематикою утилізації радіоактивних відходів та використання мінеральних систем з різною сорбційною здатністю для збільшення виходу

					<b>ТС 20510170</b>	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

водню є перспективним технологічним рішенням, що потребує подальшого розроблення та впровадження [22].

Важливістю реалізації цього процесу є:

- впровадження методів, які будуть краще поглинати радіоактивні випромінювання;
- зробити більшою глибину проникнення низькоенергетичних електронів в систему, яка буде опромінюватися;
- регенерування летючих компонентів забруднень;
- створити систему закритої циркуляції на спорудах з очистки води;
- введення в дію нових дослідних установок для реалізації комбінованих методів поводження із радіоактивно забрудненими стічними водами з генерацією водню.

					<b>ТС 20510170</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

## РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

### 4.1 Економічне обґрунтування розвитку поновлюваних джерел енергії в зоні відчуження

У 2018 році на прохання українського уряду Франція профінансувала розробку концепції сонячної електроенергії. Ця електростанція розміщена на території, на якій відсутні ліси, з зоні, яка є забрудненою. Хоча, певні труднощі будуть виникати з тим, що є радіоактивне забруднення території, але така сонячна електростанція стане вигідним економічним та доцільним варіантом для зони відчуження.

На даний час зона відчуження стає інвестиційно привабливою. Надходить дуже багато економічно вигідних пропозицій щодо встановлення сонячних панелей у зоні відчуження. У 2018 році також було завершено будівництво сонячної електростанції, яка розташована у ста метрах від четвертого енергоблоку Чорнобильської атомної електростанції. Кошти в цю електростанцію були вкладені українсько-німецькою компанією проєкту Solar Chernobyl. Solar Chernobyl – це проєкт, що має на меті реалізацію проєктів відновлюваної енергетики на всіх територіях, які постраждали від Чорнобильської катастрофи.

Було зведено ще одну наземну сонячну електростанцію за кіотські кошти. Таким чином уряд Іспанії сплатив за квоти на викиди парникових газів Україні. Далі планується будівництво ще двох таких сонячних електростанцій.

Уряд Франції виділив €250 тис. для того, щоб було проведено техніко-економічне обґрунтування щодо існуючих можливостей розвитку поновлюваних джерел енергії в зоні відчуження. На рисунку 4.1. наведено обсяг виробництва електроенергії електростанціями на альтернативних джерелах енергії (ВЕС, СЕС, біомаса) у млн кВт/год[23]. Вітрові електростанції поступово реалізуються у зоні відчуження.

					<b>ТС 20510170</b>	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Будівництво та розвиток поновлюваних джерел енергії можливе лише на 15% території, а решта 85% - це територія Чорнобильського біосферного заповідника і там будь-яке будівництво заборонено.

Україна бере активну участь у конкурсі зелених інноваційних рішень, де переможці можуть одержати приз до 300 000 євро та менторську підтримку. Ці кошти можуть бути вкладені в проєкти по встановленню електростанцій з поновлюваними джерелами енергії.

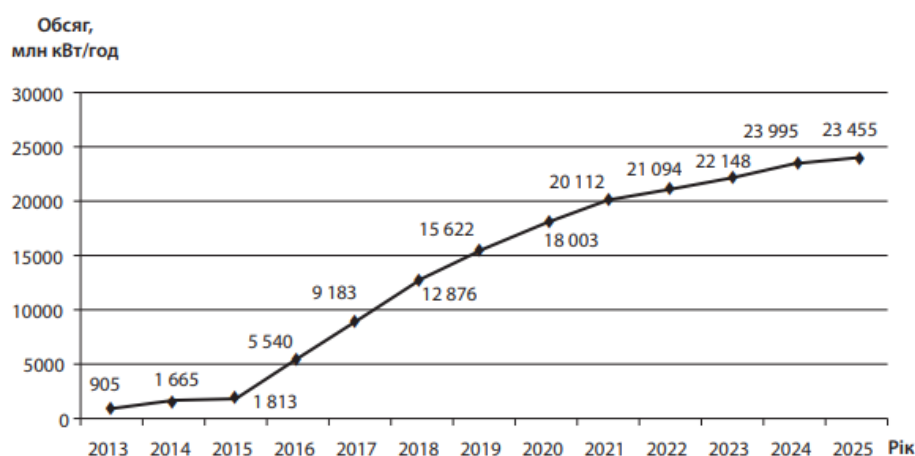


Рисунок 4.1 - Обсяг виробництва електроенергії електростанціями на альтернативних джерелах енергії(сонячні та вітрові електростанції)

#### 4.2 Напрями фінансування проєктів в зоні відчуження

Створення сприятливих умов для забезпечення зростання економіки в Чорнобильській зоні відчуження та покращення інвестиційного клімату сприяють стимулюванню розвитку не лише окремого регіону, а й економіки країни завдяки притоку міжнародної науково-технічної допомоги та іноземного капіталу. Таким чином, створені нові виробничі можливості підвищуватимуть рівень продуктивності праці, доходів та заощаджень, показників рівня та якості людського життя[23]. Фінансування проєктів відбувається за рахунок спеціально створеного Чорнобильського фонду «Укриття» (ЧФУ), розпорядником коштів якого є Європейський Банк Реконструкції і Розвитку (ЄБРР). На рис. 4.2 можна побачити, скільки коштів

Україна отримала від інших країн на реалізацію проекту будівництва нового безпечного конфайменту (НБК). Варто зазначити, що загалом НБК обійшовся у 1,5 млрд євро[23].

У грудні 2017 р. НБК було введено в дослідно промислову експлуатацію. Крім цього проекту, за допомогою країн-донорів Україна почала будувати сховище відпрацьованого ядерного палива для використання діючими українськими атомними станціями, яке завершилося в листопаді 2019 р., що зможе приймати відпрацьоване ядерне паливо в повному обсязі та де воно зберігатиметься 100 років.

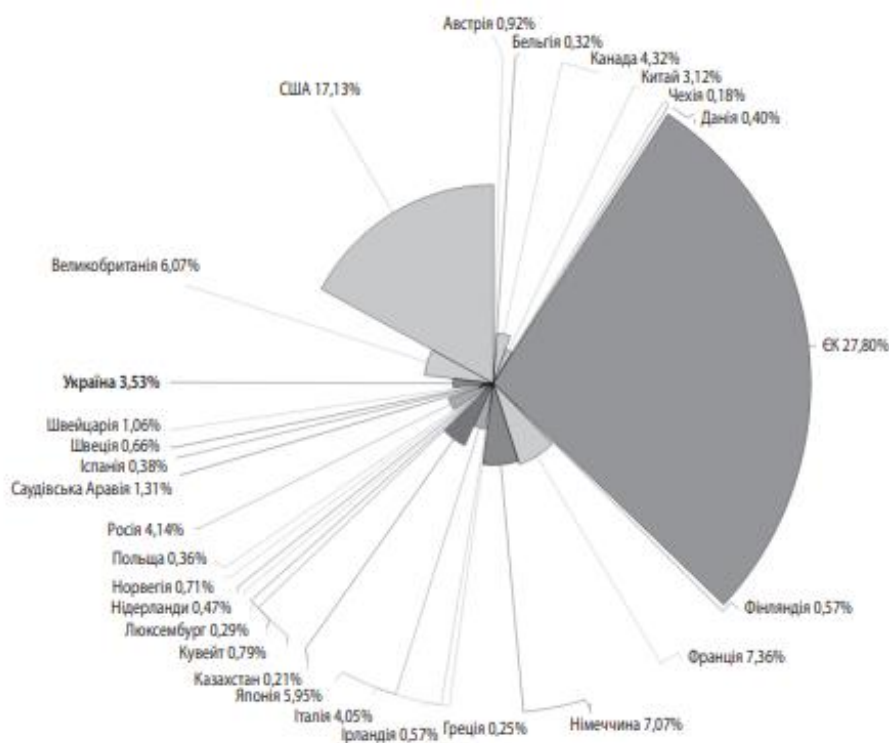


Рисунок 4.2 – Кошти інших країн, які було виділено на будівництво нового конфайменту

Слід також зазначити, що на утримання зони відчуження держава щороку виділяє близько 2 млрд грн.



## РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 5.1 Охорона праці при роботі з радіоактивними речовинами

Під час роботи з радіоактивними речовинами необхідно проводити заходи, які мають на меті захистити не тільки працюючих з цими речовинами, але й тих людей, чиї приміщення та поселення знаходяться поруч або на невеликій відстані від організацій та підприємств, де ці радіоактивні речовини будуть використовуватися.

Для забезпечення умов безпеки для тих, хто працює з радіоактивними речовинами здійснюються такі заходи захисту:

- встановлення захисних екранів;
- визначення гранично допустимої дози для випромінювання;
- здійснення планувальних робіт;
- для захисту працюючих обов'язково має бути спеціальний одяг;
- після завершення роботи здійснюються заходи для очищення приміщень.

Для надійнішого захисту працюючих від радіоактивних речовин існують спеціальні правила, які включають в себе профілактичні, технічна та санітарно-гігієнічні заходи.

В тих приміщеннях, де знаходяться люди, мають бути спеціальні інструменти та обладнання. Приміщення має бути також ізольованим. Всі двері, стіни та кути робляться гладкими, що дає змогу краще проводити прибирання. Стіни в приміщенні мають покриватися спеціальною фарбою в 2 метри. Щодо підлоги, то вона має бути виготовлена за допомогою матеріалів, які не поглинають в себе вологу. Також має бути зроблене повітряне опалення. Має обов'язково бути спеціальна вентиляція.

					<b>ТС 20510170</b>	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Якщо в роботі використовуються газоподібні радіоактивні речовини, то для них використовують спеціально обладнані бокси. Ці бокси роблять таким чином, щоб з них не могло витікати повітря. Існують ще і витяжні шафи, які також можуть активно використовуватися при роботі з РР.

Технічні засоби включають в себе: різні типи екранів, які виконують функцію захисту від радіоактивного випромінювання. Такі захисні екрани бувають пересувними та стаціонарними. Щоб визначити який саме екран потрібно обрати необхідно розрахувати його товщину та обрати матеріал.

Обов'язково при роботі з радіоактивними речовинами застосовують заходи індивідуального захисту. Такі заходи не використовуються самостійно, а йдуть разом з основними, бо тільки так можна вберегтися повною мірою від радіоактивних речовин. Заходи індивідуального захисту мають на меті забезпечити працюючих від радіоактивних випромінювань та запобігають попаданню радіоактивних речовин на шкіру та всередину організму. Працюючі під час роботи носять спеціальний одяг та взуття, рукавиці та окуляри. Існують правила щодо одягання та знімання спецодягу. Коли завершується робота з радіоактивними речовинами, в першу чергу, необхідно ретельно вимити обличчя та руки, після цього перевірити їх чистоту на спеціальному обладнанні.

Для працюючих з радіоактивними речовинами видаються спеціальні дозиметричні прилади, щоб кожен працівник міг самостійно визначати та контролювати рівень випромінювання. Безпека при роботі з радіоактивними речовинами забезпечується організованим контролем, який має бути систематичним. Цей контроль здійснюється за: рівнем опромінення персоналу, який працює, рівнем радіації, яка присутня в навколишньому середовищі.

Радіаційна безпека працюючих забезпечується шляхом:

- використання індивідуальних засобів захисту;
- контроль та постійна інформація про радіаційний стан;
- радіологічний контроль;

					<b>ТС 20510170</b>	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- створення таких умов праці, які відповідають вимогам;
- допуск до роботи з РР має здійснюватися з урахуванням віку, статі та стану здоров'я працюючих.

Після роботи з радіоактивними речовинами необхідно безпечно їх знешкоджувати. Рідкі радіоактивні відходи можуть скидатися до каналізації, при цьому їх концентрація повинна бути до 10 допустимих концентрацій і необхідно забезпечувати їх безпосереднє розведення водами, які є нерадіоактивними. Тверді радіоактивні відходи переважно знешкоджують шляхом поховання, при цьому, шор ґрунту, яким їх засипають, має бути не менше ніж 1 метр. Площадки, де відбувається поховання радіоактивних відходів повинні бути розташовані за межами населених пунктів та не менше ніж 500 метрів від водойм. Якщо такі площадки існують, то навколо них створюється санітарно-захисна зона.

## 5.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях, пов'язаних із витоком радіоактивних речовин

У ході ліквідації наслідків аварії, що викликала радіоактивне забруднення, організовується постійний радіаційний дозиметричний контроль, а саме[24]:

- визначення потужності дози радіаційного забруднення в зоні аварії;
- установлення меж радіаційного забруднення;
- визначення осіб, які зазнали радіаційного забруднення і впливу радіоактивного опромінення;
- вимірювання концентрації радіоактивних речовин у повітрі, у воді відкритих водойм і джерел питного водопостачання;
- визначення необхідності проведення заходів щодо дезактивації будинків, споруд, рухомого складу, механізмів і технічних засобів, що використовувались при аварійно-відбудовних роботах, шкірних

					<b>ТС 20510170</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

поверхонь, спецодягу і засобів індивідуального захисту осіб, що беруть участь у роботах у зоні аварії, яка викликала радіоактивне забруднення;

- визначення часу перебування людей у зоні радіаційного забруднення.

За даними дозиметричного контролю проводиться оцінка індивідуальних доз зовнішнього опромінення працівників і персоналу, зайнятого на ліквідації наслідків аварій, що викликали радіоактивне забруднення. У разі потреби проводиться оцінка можливого внутрішнього опромінення зазначених осіб.

Радіаційний захист має на меті:

- мінімізація перебування людей та працюючих в зоні аварії, яка буде викликати радіоактивне забруднення;
- ліквідація людей на максимально безпечні відстані від місця, де сталася аварія;
- застосування спеціального одягу та інших засобів захисту для уникнення попадання радіоактивних речовин на шкіру та до організму;
- засоби захисту, які використовують мають проходити спеціальну обробку;
- здійснення радіаційного контролю;
- надання медичної допомоги всім, хто цього потребує.

Дезактиваційні роботи і роботи з ліквідації наслідків аварії, що викликала радіоактивне забруднення, проводяться спеціалізованими формуваннями цивільного захисту під контролем фахівців і з дотриманням заходів радіаційної безпеки.

Під час ліквідації аварії та її заходів кожен учасник, який знаходить на місці цієї аварії має виконувати свої безпосередні обов'язки:

- рятувати постраждалих і якщо вони цього потребують, то надавати їм медичну допомогу;
- ліквідації пожеж та інших наслідків, які сталися внаслідок дорожньо-транспортних пригод;

					ТС 20510170	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- здійснювати заходи щодо знешкодження витоків радіоактивних речовин та ліквідація радіоактивного забруднення;
- здійснення евакуації населення;
- здійснювати, у разі потреби, реконструкцію транспортних доріг, різних будівель та інших ділянок, які зазнали наслідків аварії.

### 5.3 Розрахунок радіозахисного екрану

Радіозахисний екран призначений для того, щоб за допомогою певних матеріалів(таких як, алюміній, скло, пластмаси тощо) поглинати та захищати від радіоактивного випромінювання.

Працюючі з радіоактивними речовинами мають проводити свої роботи за такими спеціальними екранами.

Екрани виготовляють з важких металів. До таких металів належать:

- свинець,
- бетон,
- залізо,
- чавун та тощо.

З якого матеріалу виготовляти екран та яка має бути його товщина залежить від типу іонізуючого випромінювання, від рівня цього випромінювання та від тривалості роботи з радіоактивними речовинами.

Товщину таких радіозахисних екранів можна розрахувати за двома способами:

1. За допомогою таблиць(тут враховується енергія та кратність дози випромінювання),
2. З урахуванням числа шарів половинного послаблення(в цьому методі не враховується енергія випромінювання).

Розглянемо розрахунок радіозахисного екрану на прикладі першого методу.

Визначення товщини захисного екрану за кратністю послаблення дози випромінювання передбачає розрахунок кратності послаблення в результаті зіставлення фактичної потужності джерела випромінювання із максимально допустимою та знаходження товщини екрану за допомогою спеціальних таблиць — шукана величина розташована на перехресті даних енергії випромінювання та кратності послаблення[25].

Розрахуємо товщину необхідного захисного екрану зі свинцю для працюючого з радіоактивними речовинами(РР) в лабораторії. Вихідні дані візьмемо такі:

- 1) енергія випромінювання радіозахисних речовин = 0,25 мг-екв.;
- 2) доза опромінення, яку одержить працюючий за тиждень роботи з цими РР = 1,0 рад;
- 3) матеріал з якого буде виготовлений захисний екран – залізо.

1. Спочатку розраховуємо кратність послаблення випромінювання (це число, що показує, у скільки разів за допомогою екрану необхідно послабити випромінювання, щоб створена доза опромінення не перевищувала допустимий ліміт дози) за формулою[25]:

$$K = \frac{P}{P_0}$$

Де: К-кратність послаблення;

Р-фактична потужність джерела випромінювання;

Р<sub>0</sub>–гранично допустима доза (ця величина дорівнює 0,1).

Проводимо розрахунки.

1. Визначаємо кратність послаблення:

$$K = \frac{P}{P_0} = \frac{1,0}{0,1} = 10 \text{ разів}$$

2. Далі за допомогою таблиці, (яка зображена нижче) на перетині ліній знаходимо потрібну товщину радіозахисного екрану.

Таблиця 5.1. Товщина захисту із заліза в залежності від кратності послаблення та енергії випромінювання

Кратність послаблення	Енергія випромінювання						
	0,25	1,5	1,75	2	2,2	3	4
1,5	2,15	2,2	2,3	2,4	2,5	2,7	2,8
2	3,45	3,6	3,8	3,9	4,1	4,4	4,5
5	6,9	7,4	7,8	4,1	8,3	8,9	9,4
8	8,5	9,1	9,6	10,1	10,3	11,2	11,6
10	9,3	10	10,6	11	11,4	12,2	12,6
20	11,3	12,2	13	13,6	14,1	15,3	15,9
30	12,6	13,6	14,4	15,1	15,6	17	17,7
40	13,3	14,4	15,3	16,1	16,6	18,2	18,2

Отже, за даною таблицею з кратністю послаблення 10 та енергію випромінювання 0,25 бачимо, що товщина залізного екрану має дорівнювати 9,3 см.

3. Далі визначаємо число шарів(потім його можна застосовувати при використанні другого методу) радіозахисного екрану, використовуючи необхідну кратність послаблення, тобто 10 разів. Дана таблиця зображена нижче[25].

Таблиця 5.2. Співвідношення кратності послаблення та числа шарів

Кратність послаблення	2	4	8	16	32	64	128
Число шарів	1	2	3	4	5	6	7

Так як у таблиці немає кратності послаблення 10, а є лише 8 та 16, тому вибираємо більше значення. Тому, число шарів, яке має бути на захисному екрані буде дорівнювати 4. Тобто, захисний екран буде складатися з 4 шарів заліза по 9,3 см кожний.

Отже, за допомогою розрахунків можна визначити товщину радіоактивного екрану, який буде надійно захищати працюючих від радіоактивного випромінювання.



## ВИСНОВКИ

Під час виконання дипломної роботи було зроблено такі висновки:

1. Проведено аналіз екологічної проблематики функціонування атомних електростанцій та поводження з радіоактивними відходами;
2. Розглянуто концепцію розвитку Чорнобильської зони відчуження та досвід розвитку зон евакуації після аварій на АЕС «Фукусіма -1»;
3. Огляд попередніх досліджень, які стосуються поводження з радіоактивними відходами;
4. Розглянуто методики, які використовувалися у дипломному проєкті: методика SWOT-аналізу та візуалізаційне моделювання кластерів поводження з РАВ;
5. Проведено SWOT-аналіз методів поводження з рідкими та твердими РАВ. Для кожного типу було запропоновано по два методи, які найчастіше використовуються. Ізоляція та матричні технології для твердих РАВ, для рідких РАВ – розсіювання та бітумування. Щодо ТРВ, то найкращим методом їх знешкодження є метод матричних технологій, для РРВ – метод бітумування є найбільш оптимальним;
6. За допомогою програми візуалізації VOSviewer було виділено 5 кластері у сфері поводження з радіоактивними відходами: зелений, червоний, синій, фіолетовий та жовтий. Червоний кластер відповідає за методи утилізації радіоактивних відходів; синій – охоплює методи щодо захоронення РАВ та використання матричних технологій; зелений – методи знешкодження рідких радіоактивних відходів; фіолетовий – передбачає ізоляцію радіоактивних відходів з використанням сховищ; жовтий – знаходиться на стадії формування і охоплює в собі загальну характеристику щодо поводження з радіоактивними відходами. На основі взаємозв'язків, які було сформовано між цими 5 кластерами, можна зробити відповідний висновок: методи поводження з радіоактивними відходами розширюються, і кожен з методів відіграє

					<b>ТС 20510170</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

важливу роль у забезпеченні безпеки для людини та навколишнього середовища від негативного впливу;

7. Розглянуто комплексне технологічне рішення щодо поводження з радіоактивними відходами. Таким рішенням є глибинне геологічне захоронення;
8. Здійснено огляд глибинного геологічного захоронення у Японії та Швеції для порівняння з Україною;
9. Наведено узагальнюючу блок-схему отримання ядерного палива, його використання та подальше поводження із радіоактивними відходами;
10. Наведено економічне обґрунтування щодо фінансування проєктів в зоні відчуження та економічне обґрунтування розвитку поновлюваних джерел енергії в зоні відчуження;
11. Наведено розділ з охорони праці.

					<b>ТС 20510170</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Доповідь про стан ядерної та радіаційної безпеки в Україні у 2014 році.  
URL: <http://www.snrc.gov.ua/nuclear/doccatalog/document?id=285032>
2. Створення Чорнобильського біосферного заповідника. Міністерство екології та природних ресурсів України. URL: <http://www.menr.gov.ua/press-center/news/123-news1/3854-ministr-ihor-shevchenko-rozproviv-pro-stvorennia-chornobylskoho-biosferneho-zapovidnyka>
3. Кондратьєв С. М., Борозенець Г. П., Ярмош І. В., Кутузова Т. Я., Чепурний Ю. В. Поводження з радіоактивними відходами на атомних електростанціях України. Стан та проблеми. Ядерна та радіаційна безпека. 2016. № 2(70). С. 41–46.  
[https://doi.org/10.32918/nrs.2016.2\(70\).09](https://doi.org/10.32918/nrs.2016.2(70).09)
4. Основні перспективи розвитку зони відчуження. Інформація із сайту міжнародної конференції INUDECО. URL: <https://inudeco.pro/>
5. Котова І., Черниш Є.Ю., Пляцук Л.Д. Чорнобильський біосферний заповідник: перспективи розвитку. Розвиток наукової думки постіндустріального суспільства: сучасний дискурс: матеріали міжнародної наукової конференції (Т. 2), 13 листопада, 2020 рік. Миколаїв, Україна: МЦНД. С.35–37.
6. Коніщук В. В. Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник у системі Пан'європейської екомережі. Агроекологічний журнал. 2016. № 1. С. 71–82.
7. Поводження з радіоактивними відходами при експлуатації АЕС ДП «НАЕК «Енергоатом». Звіт за 2016 рік, 2017. 137 с.
8. Землетрус у Японії 11 березня 2011 року: хроніка подій. Інформація із сайту Кореспондент.net. URL: <https://ua.korrespondent.net/world/1520868-zemletrus-u-yaponiyi-11-bereznya-2011-roku-hronika-podij>

					ТС 20510170	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. Fukushima Daiichi Accident. Інформація із сайту World Nuclear Association. URL: <https://www.world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/fukushima-daiichi-accident.aspx>
10. Kawasaki K. Current status and issues of Fukushima nuclear disaster areas and victims after lifting of evacuation orders: a case study of Namie Town. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*. 2021, № 20. С. 101–113, DOI: 10.1080/13467581.2020.1780242
11. Katsumi S. Report of decontamination at Tominari Elementary School. *Annals of the ICRP*. 2016. Vol 45. Issue 2. P. 83-91.
12. Vinnitskii V.A., Chugunov A.S. Radioactive waste management in PWR technology: Some technical solutions for liquid radioactive media processing systems of the "nuclear island". *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. Volume 1689, Issue 1, 11. DOI: 10.1088/1742-6596/1689/1/012009
13. Hossain F. Natural and anthropogenic radionuclides in water and wastewater: Sources, treatments and recoveries. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2020. Volume 225. P. 106-123.
14. Lee S.G., Cheong J.H. Neutron activation of structural materials of a dry storage system for spent nuclear fuel and implications for radioactive waste management. *Energies*. 2020. Volume 13. Issue 20. P 52–7
15. IAEA Safety Standards. Disposal of radioactive waste. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2011.
16. Kotelnikov A.R., Akhmedzhanova G.M., Suk N.I., Martynov K.V., Gavlina O.T., Suvorova V.A. Synthesis of Minerals and Polymineral Matrixes for Immobilization of Radioactive Wastes Elements. *Geokhimiya*. 2019;64(10):1047–1063. DOI: 10.31857/S0016-752564101047-1063
17. Про затвердження Загальних положень безпеки при захороненні радіоактивних відходів. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1008-18#Text>.
18. Обзор зарубежных практик захоронения ОЯТ и РАО. Обзор подготовлен авторским коллективом в составе: Н. С. Цебаковская, С. С.

					<b>ТС 20510170</b>	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Уткин, И. В. Капырин (ИБРАЭ РАН), Н. В. Медянцев, А. В. Шамина (НО РАО); под редакцией И. И. Линге и Ю. Д. Полякова. М.: Изд-во «Комтехпринт», 2015. 208 с.
19. (Chernysh Y., Plyatsuk L., Shtepa V., Skydanenko M., Kononenko M., Tsutsumiuchi Kaname Innovative technologies for increasing environmental safety of atomic energy complex. Проблеми зняття з експлуатації об'єктів ядерної енергетики та відновлення навколишнього середовища (INUDECO 21) : збірник матеріалів VI Міжнародної конференції (27–29 квітня 2021, м. Славутич). – Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2021. –С. 291–295.).
20. Кравченко Г. А., Рассамарин С.В., Русанов С.В., Косарев И.Ю. Получение МОКС-топлива как один из этапов замыкания ядерного топливного цикла. Ядерная и альтернативная энергетика. 2013. № 2 (4). С. 60 – 64.
21. Agayev T.N., Garibov A.A., Guseinov V.I. Influence of gamma-radiation on the hydrogen yield at water radiolysis on the surface of nano-zirconium, *PAST*. 2017. №5(111). P. 27–30.
22. Chernysh Y., Plyatsuk L., Shtepa V., Skydanenko M., Kononenko M., Tsutsumiuchi Kaname Innovative technologies for increasing environmental safety of atomic energy complex. Проблеми зняття з експлуатації об'єктів ядерної енергетики та відновлення навколишнього середовища (INUDECO 21) : збірник матеріалів VI Міжнародної конференції (27–29 квітня 2021, м. Славутич). – Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2021. –С. 291–295.
23. Петренко К. В. Вплив міжнародного співробітництва на соціально-економічний розвиток Чорнобильської зони відчуження. 2019.
24. Електронний ресурс. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0857-00#Text>
25. Електронний ресурс. URL:<https://studfile.net/preview/1787429/page:2/>

					<b>ТС 20510170</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60