

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра прикладної екології

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Спеціальність 183 „Технології захисту навколишнього середовища”

Тема роботи: Екологічна безпека технологій утилізації радіоактивних
відходів

Виконав:

Котова Ірина Ігорівна

Керівник:

доцент Черниш Є. Ю.

Залікова книжка
№ 16510022

Підпис _____
дата

Консультант з охорони праці:

доцент Васькін Р.А.

Підпис _____

Підпис _____

Захищена з оцінкою

Секретар ЕК

Васькіна І.В.

Підпис

Суми 2020

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра прикладної екології
Спеціальність 183 „Технології захисту навколишнього середовища”

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедрою _____
“ ____ ” _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Студенту Котовій Ірині Ігорівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

Група ТС-61

1. Тема випускної роботи:
Екологічна безпека технологій утилізації радіоактивних відходів
2. Вихідні дані технічних звітів Міжнародного агентства з ядерної енергії (МАГАТЕ), класифікатори радіоактивних відходів відповідно до рекомендацій МАГАТЕ, статистичні дані Державного агентства України з управління зоною відчуження, вітчизняні та зарубіжні патентні бази, ГОСТи
3. Перелік обов'язково графічного матеріалу:
 1. Екологічна проблематика поводження із радіоактивними відходами
 2. Огляд напрямів поводження із радіоактивними відходами
 3. Дослідження викидів об'єктів атомної енергетики та напрямів їх знешкодження
4. Етапи виконання випускної роботи:

№	Етапи і розділи проектування	ТИЖНІ					
		1	2, 3	4, 5	6, 7	8	9
1	Написання вступу, розділу 1	+	+	+			
2	Оброблення результатів дослідження, написання розділів 2, 3			+	+		
3	Написання розділу 4					+	
4	Оформлення роботи						+

5. Дата видачі завдання 30 березня 2020 р.

Керівник _____
(підпис)

доцент Черниш Є.Ю.
(посада, прізвище)

РЕФЕРАТ

Робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновку, переліку джерел посилання, який містить 36 посилань. Загальний обсяг бакалаврської роботи становить 58 сторінок, у тому числі 3 таблиці, 7 рисунків, список використаних джерел 5 сторінок.

Мета роботи – дослідження основних напрямків поведження з радіоактивними відходами та шляхів їх знешкодження.

Для досягнення зазначеної мети було постановлено та вирішено такі завдання:

- проаналізовано вплив атомної енергетики на людину та довкілля;
- визначено основні напрямки поведження з радіоактивними відходами;
- здійснено аналіз офіційної звітності щодо стану зони відчуження Чорнобильської АЕС;
- досліджено шляхи впливу радіоактивних відходів на екосистему та людину;
- визначено біохімічні технологічні рішення дезактивації довкілля забрудненого радіонуклідами;
- досліджено шляхи знешкодження викидів об'єктів атомної енергетики.

Об'єкт дослідження – вплив радіаційного забруднення на компоненти довкілля та людину.

Предмет дослідження – обґрунтування шляхів зменшення техногенного впливу від об'єктів атомної енергетики при знешкодження радіоактивних відходів.

У кваліфікаційній роботі надана характеристика екологічного стану Чорнобильської зони відчуження, впливу атомної енергетики на навколишнє середовище та людину. Досліджено викиди об'єктів атомної енергетики та шляхи їх знешкодження. Визначено основні екологічно безпечні напрями поведження з радіоактивними відходами.

Ключові слова: АТОМНА ЕНЕРГЕТИКА, РАДІОАКТИВНІ ВІДХОДИ, ДЕЗАКТИВАЦІЯ, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА, УТИЛІЗАЦІЯ.

ЗМІСТ

Вступ.....	Помилка! Закладку не визначено.	7
Розділ 1.Екологічна проблематика поводження з радіоактивними відходами		7
1.1 Класифікація видів радіоактивних відходів		7
1.2 Аналіз впливу атомних електростанцій на довкілля		14
1.3 Огляд екологічної ситуації в Чорнобильській зоні відлучення		17
Розділ 2.Огляд напрямів поводження з радіоактивними відходами		20
2.1 Ізоляція – блокування контакту радіоактивного відходу з навколишнім середовищем		20
2.2 Розсіювання – мінімізація активності відходів шляхом розбавлення іншими речовинами		23
2.3 Застосування хімічно стійких форм і сполук.....		27
2.4 Використання матричних технологій		32
Розділ 3. Дослідження викидів об’єктів атомної енергетики та шляхів їх знешкодження.....		36
3.1 Аналітичні дослідження шляхів впливу радіоактивних відходів на екосистему та людину		36
3.2 Біохімічні технологічні рішення дезактивації довкілля забрудненого радіонуклідами		41
3.3 Теоретичне обґрунтування можливості утилізації рідких радіоактивних відходів в енергетичних цілях		44
Розділ 4.Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....		48
4.1 Загальні вимоги та положення з охорони праці		48
4.2 Безпека при виникненні надзвичайних ситуацій.....		50
Висновки		52
Перелік джерел посилань		54

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

ТС 16510022

Вил	Арк	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.	Котова				Екологічна безпека технологій утилізації радіоактивних відходів	Літ.	Аркуш	Аокушів
Перев.	Черниш						4	
Н.Контр	Васькін					СумДУ, ф-т ТеСЕТ		
Затв.	Пляцук					гр. ТС-61		

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Проблему поводження з радіоактивними відходами можна вважати однією з найвагоміших у використанні енергії ядерного палива. Особливістю атомної енергетики є: відбувається накопичення значних обсягів радіоактивних відходів(РАВ), які практично можуть утворюватися майже на усіх стадіях ядерно-паливного циклу.

До радіоактивних відходів належать такі об'єкти, де вміст радіонуклідів та радіоактивне забруднення є набагато вищим, ніж те, що встановлене документами нормативного характеру. Вони становлять загрозу тим, що при потраплянні до природнього середовища чинять негативний вплив на здоров'я людей та докілля. РАВ – це певний вид радіоактивних матеріалів, що мають різних агрегатний стан(це можуть бути біологічні об'єкти, гази, розчини, інші матеріали). Їх класифікують за різними ознаками, такими як: агрегатний стан, питома активність, період напіврозпаду, склад випромінювання та інші. За агрегатним станом найбільш поширеними є рідкі радіоактивні відходи, які можуть утворюватися на АЕС, різних радіохімічних заводах та дослідницьких центрів.

Метою роботи є дослідження основних напрямків поводження з радіоактивними відходами та шляхів їх знешкодження.

Для досягнення поставленої мети були вирішені такі **завдання**:

- проаналізовано вплив атомної енергетики на людину та довкілля;
- визначено основні напрями поводження з радіоактивними відходами та шляхи їх реалізації;
- здійснено аналіз офіційної звітності щодо стану зони відчуження Чорнобильської АЕС;
- досліджено шляхи впливу радіоактивних відходів на екосистему та людину;

Інв.№поділ.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп і дата	TC 16510022				Арк
					Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

- визначено біохімічні технологічні рішення дезактивації довкілля забрудненого радіонуклідами;

- досліджено шляхи знешкодження викидів об'єктів атомної енергетики;

Об'єкт дослідження – вплив радіаційного забруднення на компоненти довкілля та людину.

Предмет дослідження – обґрунтування шляхів зменшення техногенного впливу від об'єктів атомної енергетики при знешкодженні радіоактивних відходів.

Методи дослідження. У роботі використовувалися статистичні методи аналізу даних за різними видами радіоактивних відходів, екологічні дослідження факторів впливу об'єктів атомної енергетики з їх теоретичним обґрунтуванням та моделюванням.

Апробація результатів роботи. Основні наукові та практичні результати роботи доповідалися та обговорювалися на VII Всеукраїнській науково-технічній конференції «Сучасні технології у промисловому виробництві» (м. Суми, 21–24 квітня 2020 р.).

Інв.№поділ.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата	Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 16510022	Арк
											6

РОЗДІЛ 1. ЕКОЛОГІЧНА ПРОБЛЕМАТИКА ПОВОДЖЕННЯ З РАДІОАКТИВНИМИ ВІДХОДАМИ

1.1 Класифікація видів радіоактивних відходів

Радіоактивні відходи (РАВ) виробляються на всіх стадіях ядерно-паливного циклу, а також при використанні радіоактивних речовин в медицині, сільському господарстві, промисловості, науково-дослідній сфері. Вони відрізняються за кількістю радіонуклідів, хімічними та фізичними властивостями. Така різноманітність проявляється також і в широкому спектрі варіантів переробки та зберігання РАВ. Класифікація є необхідною умовою створення узгодженою системи елементів та встановлення комплексних зв'язків між ними. Класифікація радіоактивних відходів має значення як на рівні розробки стратегії поводження, планування та спорудження установок для поводження з РАВ, так і під час оперативної діяльності, організації роботи з відходами, при наданні роз'яснень потенційну небезпеку, котра виникає під час поводження з різними видами радіоактивних відходів, веденні обліку РАВ. Для реалізації всіх цих цілей основними завданнями класифікації є[1]:

- охоплювати всі можливі види РАВ;
- бути спрямованою на всі стадії поводження з радіоактивними відходами;
- відображати зв'язок між відповідними класами відходів та потенційною небезпекою, що пов'язана з ними;
- не змінювати вже існуючу і загальноприйнятну термінологію;
- бути простою для розуміння;
- бути загальноприйнятною.

Основними властивостями радіоактивних відходів, що використовуються як критерії для класифікації, є[2]:

- походження (джерела утворення);

Інв.№поділ.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата	ТС 16510022				Арк
					Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

- радіологічні властивості (напіврозпад, виділення тепла, активність та концентрація радіонуклідів, поверхнєве випромінювання, дози відповідних радіонуклідів);

- фізичні властивості (агрегатний стан, розмір і вага, сумісність, дисперсність та інші);

- хімічні властивості (потенційна хімічна небезпека, стійкість від корозій, органічні складові, виділення газу, реактивність);

- потенційна біологічна небезпека.

Класифікація радіоактивних відходів не має імперативного характеру. Вона має рекомендаційний характер, і держави залишають за собою право обрати чи не обрати такий підхід. Відповідно до класифікації МАГАТЕ виділено 6 класів радіоактивних відходів.

1. Очищені радіоактивні відходи. Це такі відходи, що відповідають всім нормам очистки та не підлягають нормативному контролю, оскільки не чинять негативного впливу на навколишнє середовище та здоров'я людини. Очищені відходи складаються з малої кількості радіонуклідів, що не потребують виконання заходів спеціального захисту, незважаючи на те, чи вони знаходяться на звалищах чи можуть піддаватися переробці. Якщо це рідкі або ж газоподібні радіоактивні відходи, то їх скиди та викиди до навколишнього природного середовища повинні контролюватися відповідним органом.

2. РАВ з дуже коротким періодом напіврозпаду. Відходи, які можна зберігати до їх розпаду протягом кількох років. Вони не підлягають регулятивному контролю. Цей клас включає в себе здебільшого радіонукліди, що мають дуже короткий період напіврозпаду і використовуються в дослідницьких та медичних цілях. Такі відходи можна зберігати до тих пір, поки їх активність не зменшиться до рівня очищених відходів, і тоді з РАВ можна поводитись як зі звичайним сміттям. Прикладами таких радіоактивних відходів є РАВ, що містять іридій-192 та телур-99, а також відходи з промислового та медичного використання. Такий спосіб поводження часто

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 16510022	Арк
						8

використовують щодо рідких та газоподібних радіоактивних відходів. Основним критерієм віднесення речовин до РАВ з дуже коротким періодом напіврозпаду – це напіврозпад домінуючих радіонуклідів та прийнятна кількість радіонуклідів з більш тривалим періодом напіврозпаду. Оскільки завданням зберігання для розпаду є кінцеве очищення матеріалу, встановлюються відповідна прийнятна кількість радіонуклідів з більш тривалим періодом напіврозпаду. Як правило, більш тривалий період – це 100 днів або навіть менше. До того, віднесення РАВ до радіоактивних відходів з дуже коротким періодом напіврозпаду залежить від часу внесення відходів до класифікації.

3. Радіоактивні відходи дуже низької активності. Значна частина відходів виникає від діяльності та виведення з експлуатації ядерних установок з рівнем активності в межах або трохи вищим, ніж рівень активності, що є необхідним для вилучення матеріалу з-під контролю регулюючого органу. Відходи, що містять природні радіонукліди, утворюються під час видобутку або переробки руд та мінералів. Поводження з такими відходами потребує вжиття заходів для гарантування радіаційного захисту та безпеки, однак обсяг таких заходів є обмеженим у порівнянні з тими, що необхідні для гарантування безпеки відходів вищих класів. Достатнім рівнем безпеки для радіоактивних відходів з дуже низькою активністю є їх розміщення на спроектованій поверхні смітників. Це вважається звичайною практикою поведження з відходами видобування та переробки руд. Деякі держави також використовують цей метод щодо відходів, котрі виникають внаслідок діяльності ядерних установок. До того ж, проектування таких установок коливається від простих і до більш складних систем. Як правило такі системи потребують активного та пасивного інституційного контролю. Для визначення, чи підпадає певний вид радіоактивних відходів до РАВ з дуже низькою активністю, необхідно дотримуватись критерію прийнятності. Для цього можна здійснити оцінку безпеки відповідно до методів, схвалених регулятивним органом. Багато в чому

Інв.№подрл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп і дата	TC 16510022			Арк
								9
Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата				

критерій прийнятності залежить від фактичних умов на ділянці розміщення РАВ, а також від проектування відповідних структур. Окрім того, для відходів, що містять радіонукліди природного походження прийнятні рівні активності є нижчими, ніж ті, що передбачено для відходів, котрі містять радіонукліди неприродного походження.

4. Низькоактивні радіоактивні відходи. Це відходи, при поводженні з якими не потрібно застосування особливих заходів захисту. Радіоактивні відходи, поводженні з якими потрібно застосовувати особливі заходи захисту, але не потрібно вживати або ж вживати в обмеженій кількості заходи для вивільнення тепла класифікують як відходи середньої активності. Гранична доза радіації 2мЗ в/р використовується для розмежування цих двох класів відходів. Відходи з низькою активністю підлягають приповерхневому розміщенню. Клас низькоактивних радіоактивних відходів охоплює досить широкий спектр речовин. До цього класу належать радіоактивні відходи з рівнем активності, який є ненабагато більшим за рівень активності РАВ з дуже низьким періодом напіврозпаду, що не потребує вжиття особливих заходів безпеки, герметичної ізоляції, а також відходи, які завдяки рівню своєї активності потребують вжиття особливих заходів безпеки, герметичної ізоляції. РАВ низької активності, як правило, виробляються під час експлуатації атомних станцій, тому більшість АЕС намагаються мінімізувати цей процес. Відходи збирають, відбирають, очищують та кондиціонують. Процеси очищення та кондиціонування радіоактивних відходів використовуються для того, щоб перетворити РАВ у форму, що буде придатною для наступних стадій поводження з цими речовинами. Основними задачами процесів очищення та кондиціонування є зменшення об'єму відходів та їх потенційної шкоди. Радіоактивні відходи з низькою активністю зазвичай зберігають у металевих циліндрах, які часто стискають після заповнення для того, щоб зменшити об'єм. Наявними є й такі способи поводження з низькоактивними РАВ: випалювання металевих відходів, спалювання займистих часток відходів, а

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

						ТС 16510022	Арк
Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			10

також надзвичайне стиснення відходів для зменшення загального їх об'єму. Основною метою технології спалювання є зменшення об'єму займистих відходів. Вона використовується як щодо рідких, так і щодо твердих РАВ. Сучасні системи спалювання добре сконструйовані, високі технологічні процеси створено для повного та ефективного спалювання відходів. Такі технології мінімізують вироблення викидів в атмосферу. Будь-які гази, що виробляються протягом процесу спалювання, очищуються. Після спалювання попіл, що утворився, містить радіонукліди, котрі, в свою чергу, потребують подальшої обробки. Наприклад, цементації чи бітумінізації – процесу збагачення вуглеводневих сполук. Стиснення – це більш розвинена та надійна технологія для зменшення об'єму РАВ. Компактори таких систем можуть бути різної маси (від 5 і більше тон, а також сягати більше 1000 тон - суперкомпактори) [3]. Низькоактивні РАВ, що містять дещо більший рівень радіації, зцементовують або ж зберігають у вигляді асфальту чи смоли, а потім розміщують у бетонні контейнери для ізоляції [4]. Як правило, зберігання біля поверхні землі або ж в печерах нижче рівня землі (на глибині у 10 м) також застосовується до РАВ з низьким рівнем активності. Ця технологія застосовується в Чехії, Фінляндії, Франції, Японії, Нідерландах, Іспанії, Швеції, Великобританії та в США.

5. Відходи середньої активності. Це радіоактивні відходи, що завдяки своїй будові, а особливо завдяки наявності радіонуклідів з великим періодом напіврозпаду, вимагають більшого ступеня герметизації та ізоляції, ніж той, що надається під час приповерхневого розміщення. Відходи середньої активності не потребують спеціальних заходів або такі заходи застосовуються обмежено для вивільнення тепла під час їх зберігання. Вони можуть містити радіонукліди з великим періодом напіврозпаду, особливо такі, що випромінюють альфа промені, які не можуть розпастися до рівня активності, необхідного та прийняттого для приповерхневого захоронення. Тому відходи цього класу необхідно розміщувати на більших глибинах, від десяти до сотні метрів. РАВ,

Інв.№поділ.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп і дата
Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

що мають середній рівень активності, також кондиціонують, цементують і поміщують у бетонні контейнери. У деяких випадках такі відходи можуть помістити у додатковий металевий контейнер. Як правило, такі пакунки використовують під час для транспортування цих речовин. Пакунки мають відповідати міжнародним стандартам, що гарантують безпеку. Окрім цього, РАВ з Сучасна система міжнародного права 25 середньою активністю розміщують у глибинних геологічних формаціях. Ця ж технологія застосовується й до високоактивних РАВ.

6. Високоактивні радіоактивні відходи. Ці відходи мають низький рівень активності, що супроводжується виділенням значної кількості тепла, або ж можуть містити у своєму складі велику кількість радіонуклідів, що мають досить тривалий період напіврозпаду. Правила поводження з такими відходами: це поховання їх у спеціальних глибинних формаціях, що мають глибину до кількох сотень метрів, а інколи навіть і більше. Цей спосіб поховання застосовують досить часто, адже він є загальним. Сховища для розміщення цих відходів зазвичай розташовують у кам'яних утвореннях. Це пояснюється тим, що ці відходи протягом досить тривалого часу залишаються радіоактивними. У сховищах радіоактивних відходів низької та середньої активності кількість активності може дорівнювати активності гірських порід лише через 300 років, а через 3000 років взагалі зменшиться.

Наступною класифікацією є поділ радіоактивних відходів на типи. Таких типів існує лише два. Це короткоіснуючі та довгоіснуючі відходи. Якщо це короткоіснуючі відходи, то їх приблизно через 300 років можна буде звільнити від надмірного контролю, адже вони через цей час не нестимуть ніякої загрози для навколишнього середовища та людини. Їх захоронюють зазвичай у поверхневих або приповерхневих сховищах. Довгоіснуючі відходи становитимуть загрозу і через 300 і більше років, тому їх захоронюють лише у глибоких формаціях.

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

В таблиці 1.1 представлена класифікація радіоактивних відходів за критеріями допустимості їх захоронення у сховищах.

Таблиця 1.1 Класифікація РАВ за критеріями допустимості їх захоронення у сховищах різного типу

Тип РАВ	Доза потенційного опромінення через 300 років після захоронення	Вид можливого звільнення до 300 років	Допустимий вид захоронення
Короткоіснуючі	Нижче рівня Б	Повне, обмежене	Поверхневий або приповерхневий
Довгоіснуючі	Вище рівня А	Не розглядається	У стабільних глибоких геологічних формаціях

Примітка: Рівень А відповідає річній дозі $50 \text{ м}^3\text{в}$, рівень Б - $1 \text{ м}^3\text{в}$

За агрегатним станом РАВ поділяються на тверді(ТРВ), рідкі(РРВ) та газоподібні.

Таблиця 1.2 Класифікація рідких радіоактивних відходів

Категорія РАВ	Питома активність, Ки/л(Бк/кг)
Низькоактивні	нижче 10^{-5} (нижче $3,7 \cdot 10^5$)
Середньоактивні	$10^{-5} - 1$ ($3,7 \cdot 10^5 - 3,7 \cdot 10^{10}$)
Високоактивні	вище 1 (вище $3,7 \cdot 10^{10}$)

Зі всіх видів РАВ рідкі найбільш поширені, оскільки в розчині переводять як речовину конструкційних матеріалів (неіржавіючих сталей, цирконієвих оболонок твелів та ін.), так і технологічні елементи (солі лужних металів і ін.). Велика частина рідких РАВ утворюється за рахунок атомної енергетики[5]. До рідких радіоактивних відходів відносяться:

- розчини неорганічних речовин;
- пульпи фільтроматеріали, шлами;
- органічні рідини (масла, розчинники та ін.)

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 16510022	Арк
						13

Тверді РАВ – це така форма відходів, яка підлягає зберіганню або похованню. Існує 3 основні види твердих відходів :

- залишки урану або радію, не витягнуті при переробці руд;
- штучні радіонукліди, що виникли при роботі реакторів і прискорювачів;
- що виробили ресурс, що демонтуються реакторами, прискорювачами, радіохімічним і лабораторним устаткуванням.

Газоподібні РАВ утворюються в основному при роботі АЕС, радіохімічних заводів по регенерації палива, а також при пожежах і інших аварійних ситуаціях на ядерних об'єктах[5].

Таблиця 1.3 Класифікація газоподібних РАВ

Категорії РАВ	Об'ємна активність, Ки/м ³
Низькоактивні	нижче 10 ⁻¹⁰
Середньоактивні	10 ⁻¹⁰ - 10 ⁻⁶
Високоактивні	вище 10 ⁻⁶

1.2 Аналіз впливу атомних електростанцій на довкілля

У наш час у світі відомо около 400 атомних електростанцій(АЕС). В Україні АЕС є провідними електростанціями та продукують приблизно 45% всієї електроенергії. Варто зауважити, що під час роботи та експлуатації електростанцій відбувається вплив на довкілля, що викликає екологічні проблеми. До таких проблем можна віднести: теплові забруднення, які трапляються у великих об'ємах; знешкодження радіоактивних відходів та використання з метою розповсюдження ядерної зброї. На АЕС як паливо використовують: плутоній, уран та торій. Для того, щоб отримати енергю мають відбуватися певні реакції радіоактивного розкладу елементів, які здійснюються в реакторах. Паливні відходи, які утворилися є небезпечними

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

						ТС 16510022	Арк
Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			14

та радіаційними, тому, щоб вони не чинили негативного впливу застосовується для них процес ізоляції.

Небезпечність атомної енергетики визначається:

- через аварії, які можуть відбуватися на енергоустановках та викиди до навколишнього середовища радіоактивних елементів;
- в результаті роботи ядерних реакторів здійснюються викиди до довкілля радіоактивних ізотопів. Ці ізотопи разом з їжею, водою, повітрям та пилом можуть надходити до живих організмів, та бути збудниками ракових захворювань, знижувати рівень імунної системи, збільшувати захворюваність та смертність населення, викликати дефекти у новонароджених;
- кількістю криптоніту 85(інертний газ), який при викиді в атмосферу змінює її електропровідність. Його кількість в атмосфері збільшується щороку на 5% і зараз його викиди перевищують норми в мільйони разів. Цей газ виділяється в основному при роботі атомних електростанцій та своєю поведінкою нагадує тепличний газ, який змінює при цьому клімат Землі;
- викидами в біосферу плутонію. Зараз плутонію надзвичайно велика кількість, адже атомні реактори провели декілька сотень плутонію і щороку його вміст збільшується. Його кількості згодом буде так багато, що зможе призвести до смертельного отруєння всіх жителів на нашій планеті;
- важливою екологічною проблемою, яка зараз так і невирішена повністю – це проблема радіоактивних відходів. Кожного року на ядерних енергетичних реакторах утворюються великі об'єми радіоактивних відходів.

Техногенні впливи на довкілля під час експлуатації та будівництві атомних електростанцій найрізноманітніші. Вони зазвичай мають радіаційні, хімічні, фізичні та інші фактори техногенного впливу при експлуатації атомних електростанцій на об'єкти навколишнього природного середовища.

Найбільш істотними факторами є:

Інв.№поділ.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата	ТС 16510022				Арк
									15
Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата					

- виникнення впливу механічного характеру при будівництві на рельєф,
- стоки, які містять в собі компоненти радіоактивного характеру, в ґрунтових та поверхневих водах;
- відбувається заміна землекористування та процесів біля атомних електростанцій,
- зміна мікрокліматичних особливостей щодо прилеглих районів.

Варто зауважити, що помітно змінюються мікрокліматичні характеристики прилеглих районів. Це можна пояснити тим, що при експлуатації атомних електростанцій виникають джерела тепла, у виді певних охолоджувачів. Ті хімічні компоненти, що містяться в технологічних водах, які потім скидаються, чинять негативний вплив на навколишнє середовище, популяції та фауну і флору екосистем.

На сучасному етапі розвитку суспільства вже практично всім стало очевидно, що «екологічно чистих» або «абсолютно безпечних» енергетичних технологій бути не може. Використання кожної з них для вироблення електроенергії неминуче супроводжується тим чи іншим видом негативних впливів. Так, при будівництві та експлуатації АЕС і ТЕС, які виробляють базисну електроенергію, в більшій чи меншій мірі існують негативні впливи на навколишнє середовище, такі як[6]:

- хімічне, теплове і радіоактивне забруднення навколишнього природного середовища (атмосферного повітря, водних і земельних ресурсів, об'єктів біосфери);
- шумовий та електромагнітний вплив на обслуговуючий персонал;
- вилучення земельних ресурсів під енергетичне будівництво;
- використання водних ресурсів для виробничих потреб;
- активізація екзогенних геодинамічних процесів в системі «об'єкт енергетики - геологічне середовище».

Вплив АЕС на компоненти екосистеми наведено на рис. 1.1, що вивчалось в [6].

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 16510022	Арк
						16

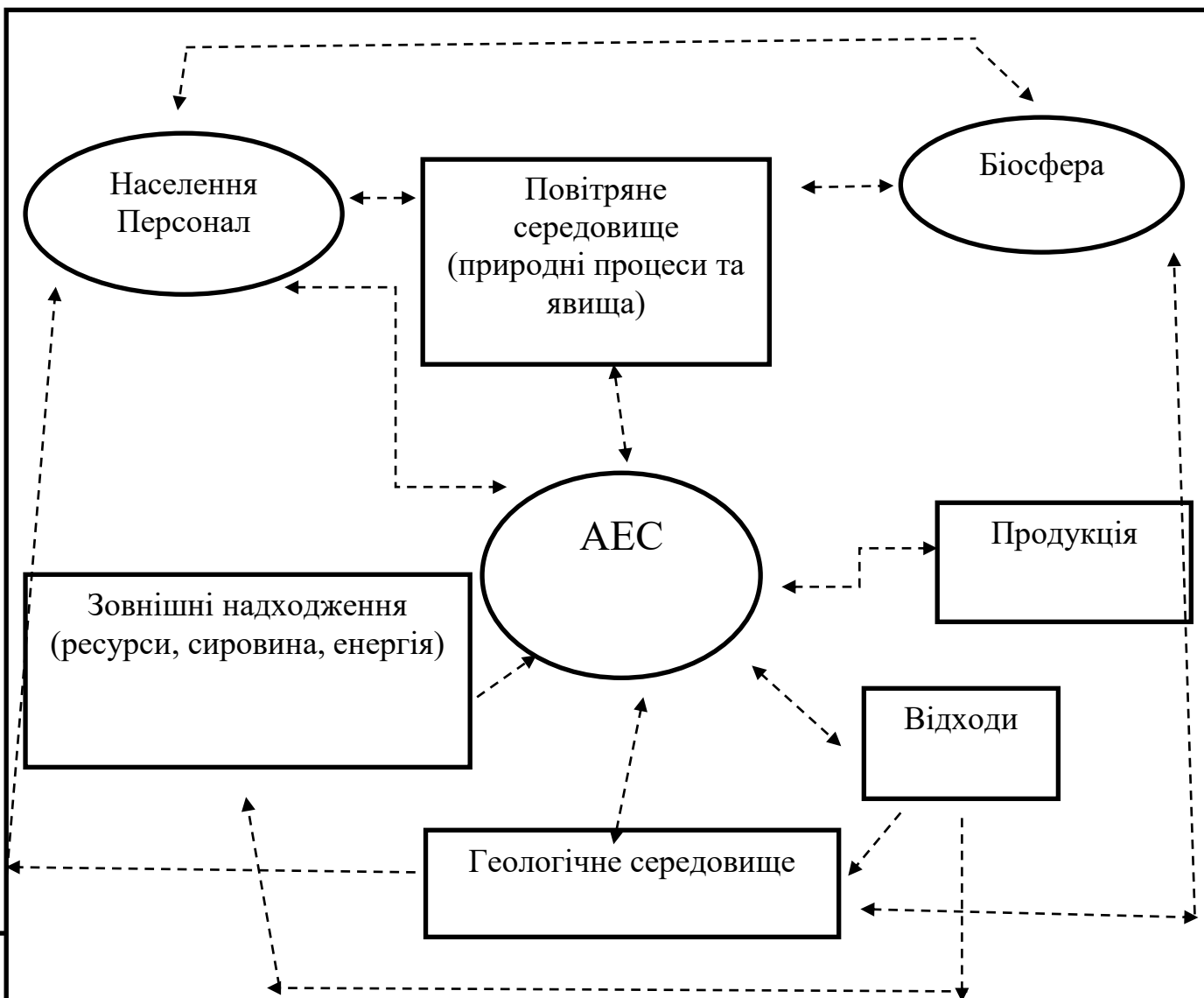


Рисунок 1.1 - Концептуальна схема функціонування динамічної системи «АЕС – довкілля».

Ця спрощена модель (рис. 1.1) відображає взаємозалежність природних і техногенних впливів в системі «АЕС – довкілля», що детермінує екологічну безпеку експлуатації об'єктів атомної енергетики.

1.3 Огляд екологічної ситуації в Чорнобильській зоні відчуження

Чорнобильська зона відчуження – розташована на півночі Київської області України. Вона утворилася внаслідок аварії на четвертому енергоблоці Чорнобильської атомної електростанції. Аварія відбулася 26 квітні 1986 року. Площа зони відчуження становить 36545 тис.га.

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 16510022

В зоні відчуження екологічна небезпека пов'язана з загрозою поширення радіоактивного забруднення через аварію на Чорнобильській атомній електростанції, можливістю розповсюдження радіоактивних та небезпечних об'єктів та елементів, виникнення таких явищ:

- лісові пожежі;
- осушення та підтоплення ґрунтів, епіфітотія та епізоотія;
- інші негативні наслідки, які трапляються в довкіллі.

Елементами розвитку, що включають в себе системи безпечного поводження з РАВ є певні споруди в зоні відчуження, при зведенні яких до їх складу входить:

- споруда на майданчику «Вектор», яка призначена для безпечного використання радіоактивних відходів, тобто їх тривале зберігання або поховання всіх відходів. Споруда, на якій відбувається детальна переробка відходів, які накопичилися в зоні відчуження. Все це буде здійснюватися як кінцевий етап поводження з РАВ;
- зведення спеціальних об'єктів, які будуть використовуватися для безпечної роботи з радіоактивними відходами на ЧАЕС ;
- здійснення огляду певних площ, призначених для сховища РАВ.

Екологічна програма щодо поводження з радіоактивними відходами в зоні відчуження відповідно до стратегії поводження з РАВ передбачає розвиток системи щодо утилізації радіоактивних відходів та інших складових включає такі компоненти:

- короткоживучі радіоактивні речовини(приповерхневі, низькорівневі та середньорівневі), які мають бути введені в експлуатацію;
- споруда приземного поховання радіоактивних відходів та її експлуатація на майданчику «Вектор»;
- здійснення проектування для будівництва спеціального сховища для тривалого зберігання високоактивних радіоактивних відходів. Таке сховище

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

						ТС 16510022	Арк
Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			18

розташоване на Векторі 2-го типу, що включає в себе склоподібні радіоактивні відходи, які утворилися в переробці палива;

- здійснення існуючих засобів управління радіоактивними відходами, а саме:

- модернізація та моніторинг;
- поліпшення безпеки та стабілізація;
- відновлення.

- розміщення геологічного сховища, його розробка та дослідження для радіоактивних відходів, що мають високий рівень радіоактивності.

Для проведення всіх заходів, які були вказані вище, Управлінське підприємство(CRME) було призначено як єдине управління, що здійснює контроль за методами та типом знешкодження радіоактивних відходів.

Дані американських, українських та білоруських науковців, зокрема, свідчать про таке[7]:

- загоряння в українській частині Чорнобильської зони відчуження(ЧЗВ) виникають набагато частіше, ніж у білоруському Поліському радіаційно-екологічному заповіднику. Це пов'язано з нормальною організацією протипожежного менеджменту в Білорусі.
- різні частини Чорнобильської зони відчуження мають різні ступені ризику з точки зору виникнення пожеж.
- весняні підпали сухостою на прилеглий до зони території і в самій зоні є однією з найпоширених причин виникнення пожеж.

Можна зробити висновок, що сучасні пожежі спалахують саме там, де є ділянки з можливим ризиком. Враховуючи думку науковців, можна сказати, що протипожежні розриви були розроблені не в тому місці, де б вони мали бути.

Інв.№поділ.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп і дата
Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 16510022

Арк

19

РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД НАПРЯМІВ ПОВОДЖЕННЯ З РАДІОАКТИВНИМИ ВІДХОДАМИ

2.1 Ізоляція – блокування контакту радіоактивного відходу з навколишнім середовищем

Накопичення значних обсягів радіоактивних відходів обумовлюють необхідність вирішення проблеми їх надійної ізоляції. Ізоляція застосовується для тимчасового зберігання радіоактивних відходів. Основна частина цих відходів складають продукти функціонування атомних станцій, а також РАВ, що утворилися наслідок аварії на ЧАЕС. Ці відходи являють серйозну небезпеку для навколишнього середовища. Вирішення цієї проблеми полягає в створенні спеціальних підземних сховищ в сприятливих геологічних формаціях, що здатні забезпечити їх надійну ізоляцію від навколишнього середовища[8].

При визначенні концепції ізоляції відходів значну увагу приділяють природним бар'єрам з точки зору їх здатності виконувати певні функції безпеки, які б доповнювали функції інженерних бар'єрів сховища особливо на довготривалий термін. З цією метою до початку спорудження сховища для захоронення певних категорій РАВ здійснюють вибір майданчика з певними природно-кліматичними умовами та геологічними властивостями[9].

Поховання радіоактивних відходів має відбуватися таким способом, який має на меті захоронення відходів пасивною ізоляцією, забезпечуючи при цьому безпеку та захист людей теперішніх та майбутніх поколінь від впливу РАВ. Цей спосіб не потребує рівня безпеки поховання відходів прийдешніми поколіннями.

Існують різні види сховищ, які використовують для ізоляції РАВ різних класів. Їх можна поділити на такі типи:

Інв.№поділ.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп і дата					Арк
Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 16510022				20

- ННАВ – надзвичайно низькоактивні відходи, при поводженні з якими не потрібно ніякого контролю;
- ДНАВ – дуже низькоактивні відходи, які мають період небезпечності до 100 років, і повинні утримуватися лише в поверхневих сховищах;
- НАВ – низькоактивні відходи, мають період небезпечності до 300 років, та повинні зберігатися в приповерхневих або наземних сховищах;
- САВ – це середньоактивні відходи. До 10 тис. років мабуть потенційну небезпечність. Для їх ізоляції повинні використовуватися сховища з інженерними бар'єрами геологічного типу;
- ВАВ – високоактивні відходи, тобто їх небезпечність становить понад 10 тис. років. Такі відходи повинні бути захоронені лише в глибоких геологічних сховищах, для надійної ізоляції від навколишнього середовища.

На рисунку 1.2 представлено приклади сховищ для ізоляції різних типів радіоактивних відходів.

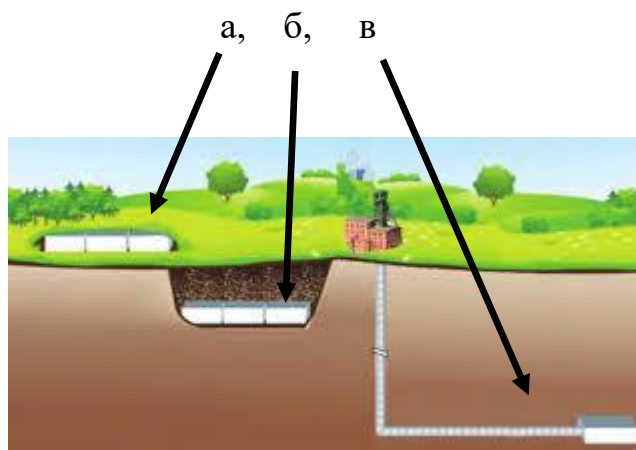


Рисунок 2.1 – Приклади концептуальних рішень сховищ для ізоляції різних класів РАВ: а — наземне сховище для ДНАВ; б — приповерхнєве сховище для НАВ; в — підземне сховище геологічного типу до 700 м для САВ.

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

Ідея свердловинного сховища для ізоляції відпрацьованого ядерного палива та високоактивних відходів реалізується, зокрема, у Швеції (VDH); глибина свердловин становить до 5000 м, РАВ розміщуються в інтервалі глибин від 3 000 до 5 000 м; основу довготривалої безпеки забезпечують геологічні бар'єри. Прикладом реалізації концепції сховища шахтного типу є інший шведський проект (KBS-3V) для зберігання широкого спектра відходів (ВЯП, ВАВ, САВ) на глибині 450—600 м. Основа безпеки — інженерні бар'єри (мідний контейнер та ін.) і геологічне середовище [11, 12].

В Україні основними джерелами утворення радіоактивних відходів є підприємства гірничодобувного, хіміко-металургійного, машинобудівного, паливно-енергетичного, агропромислового та інших комплексів, які тяжіють до регіонів з досить високою густрою населення. Незважаючи на намагання скоротити утворення відходів у промисловості та поглибити ступінь їх знешкодження і переробки, темпи їх накопичення не зменшуються. Відведення нових ділянок для зберігання відходів на поверхні та створення приповерхневих сховищ стає дедалі складнішим. У широкому спектрі небезпечних токсичних відходів є такі, що на нинішньому етапі розвитку технологій не можуть бути перероблені і знешкожені, а мають бути надійно ізольовані від біосфери у сховищах на період, зіставний за масштабом з геологічним часом. Тому в багатьох країнах науково-технічні заходи спрямовано на підземне зберігання таких відходів, а у деяких (Німеччина та ін.) цього вимагає законодавство [10].

Для сховища комплексу «Вектор» , що забезпечує надійну ізоляцію радіонуклідів, притаманна система інженерних бар'єрів, до складу якої входять такі складові:

- матриця, в яку включені радіонукліди;
- залізобетонний контейнер і монолітні залізобетонні секції;
- багатошаровий протифільтраційний екран.

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

					ТС 16510022	Арк
Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		22

Для того, щоб бути упевненими в надійній безпеці захоронення потрібно враховувати застосування бар'єрів та їх властивості, а також контролювати їх поведінку протягом існування даного сховища. На даний час такі дані та знання відсутні і тому потрібно застосовувати консервативний підхід до розгляду процесів та явищ, які виникають, та спроможні призвести до деградації систем сховищ, які використовуються для захоронення радіоактивних відходів.

В подальшому буде застосовуватися метод багатошарового захисту при захороненні радіоактивних відходів, до якого обов'язково буде входити певна система ізоляції.

2.2 Розсіювання – мінімізація активності відходів шляхом розбавлення іншими речовинами

Розсіювання – це розбавлення небезпечних речовин, до того рівня, який не буде чинити негативний вплив на біосферу. Цей метод використовується для знешкодження відходів, що є малоактивними. Він буде застосовуватися ще довгий час, адже він є економічно вигідним.

Для України проблема дезактивації РРВ особливо актуальна з точки зору подолання наслідків аварії на Чорнобильській атомній електростанції (АЕС) та поводження з рідкими радіоактивними відходами (РРВ), що зберігають у сховищах[13].

Рідкі водні відходи повинні бути зібрані і розділені відповідно до такими основними критеріям (перелік цих критеріїв може бути розширено)[14]:

- Активність і концентрація радіонуклідів;
- період напіврозпаду,
- відділення короткоживучих відходів, що підлягають зберіганню для розпаду радіонуклідів;
- відділення відходів з довгоживучими ізотопами, що вимагають геологічного поховання,

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 16510022	Арк
						23

- наявність радіонуклідів, що допускають поховання в приповерхневих могильниках, або адекватних;
- вміст органічних речовин;
- гомогенність, наявність твердої фракції;
- інфекційність;
- хімічна токсичність;
- наявність хімічно агресивних компонентів.

Радіоактивні водні розчини складають більше 99 % всіх утворених рідких радіоактивних відходів (РРВ)[15]. Водні рідкі радіоактивні відходи утворюються під час роботи ядерних реакторів та під час промислового та інституційного застосування радіоізоотопів. Хімічні склади та радіоактивні рівні утворених відходів залежать від певного вмісту радіоактивних сполук та речовин[16]. Під час нейтралізації рідких радіоактивних відходів синтезом неорганічних сорбентів виникають деякі проблеми. Насамперед, це пов'язано з тим, що синтез має відбуватися в таких етапах, які вимагають дорогих реагентів та устаткування. Оскільки вони є дорогими, то це призводить до неможливості їх застосування при переробці рідких радіоактивних відходів. Для того, щоб радіоактивні елементи поглиналися значно краще, потрібно контролювати рН середовища(кисле, лужне та нейтральне). Якщо брати до уваги видалення Cs-134, то цей елемент не буде вилучатися на всьому інтервалі рН. Його вилучення буде відбуватися лише на 4-25% за умови додавання до нього вапняного молока. Так як цей синтез є економічно не вигідним, то враховуючи всі економічні сторони, можна сказати, що краще всього використовувати адсорбенти з природної сировини, які можуть вбирати елементи з рідкої фази та потім тривалий час утримувати ці радіоактивні елементи в собі.

Водні відходи, які мають у своєму складі бета або гама діяльність. Що є недовговічною, мають зберігатися. Після їх розпаду вони можуть бути скинуті в довкілля, якщо ці водні відходи будуть повністю відповідати контролюючим та нормативним вимогам. Ті водні відходи, які матимуть у своєму складі

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

довгоживучі або радіоактивні радіонукліди повинні бути знешкоджені шляхом іонообміну та сорбції, хімічних опадів або випаровування, зворотного осмосу, екстракції і фільтрації розчинника.

Проводилися дослідження щодо видокремлення для того щоб оцінити поглинання деяких радіонуклідів: цезію, стронцію та кобальту. Їх потрібно було виділити з води, яка утворюється на атомних електростанціях. Для того щоб провести це дослідження використовували молібдофосфат-поліакрилонітрил амонію, за допомогою адсорбцій(дво- та однорозчинних). Спочатку було проведено аналізи, які показали: молібдофосфат-поліакрилонітрил амонію має достатньо високу вибірковість щодо Cs, отже по ньому і було вираховано адсорбційну здатність. Згодом дослідження адсорбцій показало, що сама адсорбція буде пригнічуватися, якщо у воді будуть наявні іони металів та поверхнево-активні речовини.

Система рідких радіоактивних відходів збирає, відокремлює, обробляє, зберігає, моніторить та утилізує всі рідкі радіоактивні відходи. Якщо якість переробленої води є прийнятною, її повертають назад. Велика частина радіоактивної рідини, зібраної цією системою, відновлюється як реактор води і зберігається для використання в якості реактора[17].

Під час осадження ізотопів, що є радіоактивними, у воду, що очищається, потрібно додавати неактивні ізотопи того самого або ж іншого елемента, який є ізоаморфним. Таким методом можуть видаляти радіоактивний йод. Коагуляція, яка проводиться на водоочисних спорудах для знебарвлення та часткового освітлення води, може мати дезактиваційний ефект, що зазвичай буває постійним, це якщо радіоактивні речовини будуть знаходитися в адсорбованому або колоїдному стані. За умови, коли радіоактивні речовини будуть присутніми у розчиненому стані, то дезактивація води за рахунок коагуляції відбуватися не буде, тобто ціль не буде досягнута. Під час коагуляції відбувається утворення та осідання нерозчинних сполук, що відбувається в процесі взаємодії радіоактивних елементів з вхідними реагентами. Потім

Інв.№поділ.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп і дата	ТС 16510022				Арк
					Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

радіоізотопи осаджуються за допомогою процесів іонообміну та адсорбції. Процес дезактивації буде залежати від радіоактивних ізотопів, а саме від їх концентрації, властивостей, їх доз та інших факторів. При дезактивації води частіше всього застосовують такі коагулянти – фосфати, сульфат алюмінію, хлорид і сульфат заліза, поліелектроліти та готову суміш води з вапном та натрію силікатом. В ємкостях вихідна вода спочатку накопичується, а потім відбувається процес нейтралізації до якого додається луг або кислота, і вся ця суміш надходить до змішувача. Змішувач являє собою певну трубку, зазвичай зігнуту, де містяться перегородки, які виконують функцію перемішування води з реагентами. Ці реагенти мають добре перемішуватися, адже від цього залежить якість процесу. Далі відбувається дозування, яке є автоматизованим. Яка є технологія обробки води, такі відповідно реагенти і підбираються до цього процесу. Далі схема така: із змішувача вода надходить до освітлювача, і там вже відбувається очищення цієї води; після цього утворений осад(є забрудненим) відправляється на поховання, а вода, що є частово очищена йде далі на обробку.

Вилучення з води радіоізотопів сорбентами є одним з найпоширеніших методів її дезактивації; в якості сорбентів використовують природні іонообмінники (глини, клиноптилоліт, гідрослюди, бентоніт та інші природні цеоліти і мінерали); штучні неорганічні сорбенти (на основі важкорозчинних солей титану, цирконію, гетерополікіслот, синтетичні цеоліти, сілікагель, порошки металів); природні органічні сорбенти (торф, гумусові речовини, деревину, целюлозу, активне вугілля і т. п.).

Метод сорбції іонів, що є радіоактивними, є досить ефективним, адже при цьому методі відбувається знешкодження близько 99% плутонію та цезію.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата				Арк
					ТС 16510022			
Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата				26

2.3 Застосування хімічно стійких форм і сполук

Для утилізації радіоактивних відходів можуть застосовуватися різні методи для зв'язування та консервації РАВ у форми(це можуть бути скло, кераміка, полімери та інше), що забезпечують неможливість міграції небезпечних речовин у навколишнє середовище.

Одним методів іммобілізації є включення радіоактивних відходів(в основному рідких) у бітуми.

Бітумування - це включення радіоактивних відходів, в основному рідких, в бітумні матеріали, які становлять високомолекулярні суміші вуглеводнів, в основному виходять після відгону легких фракцій з природної нафти. Бітумування відходів використовується в ядерній промисловості більше 40 років і застосовується в багатьох країнах. Таке широке поширення бітум отримав завдяки своїм високим гідроізолюючим властивостями і термопластичности, що дозволяє при нагріванні включати компоненти відходів з отриманням стабільного гомогенного продукту. Крім того, бітум як вихідний матеріал для іммобілізації відходів вельми поширений, доступний і дешевий[14]. Для забезпечення максимально якісних умов проведення бітумування потрібно враховувати такі вимоги:

- РРВ необхідно включати при температурі, що буде забезпечувати зневоднення та менше випаровування радіонуклідів;
- необхідне змішування складових відходів та видалення продуктів, які є кінцевими, повинна забезпечити в'язкість бітуму.
- продукт, який буде отримано в кінці, має вмещувати в собі найбільшу кількість сухого залишку та забезпечувати добре утримання відходів та їх стійкість.

Для отримання якісного продукту необхідний вибір найбільш підходящої марки бітуму. Для цього перед затвердінням рідких радіоактивних відходів

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 16510022	Арк
						27

необхідно провести лабораторні дослідження фізико-хімічного складу відходів і їх взаємодії з бітумами, щоб визначити:

- сумісність відходів з бітумним матеріалом;
- оптимальні межі включення відходів;
- технологічні параметри процесу бітумування;
- кінцеві властивості одержуваного компаунда з урахуванням умов зберігання, транспортування та захоронення.

За технологічною оформлення процес бітумування рідких радіоактивних відходів може бути періодичним і безперервним[18].

Періодичний процес бітумування. У періодичному процесі бітумування в апарат з внутрішніми електронагрівачами подається порція бітуму, потім в гарячий бітум (температура не вище 220°C) при постійному перемішуванні подаються відходи у вигляді кубових залишків, пульп або шламів (рис. 2.2). В апараті відбувається випаровування води з відходів, твердий залишок відходів розподіляється в бітумної маси. Після заданого наповнення відходами бітумносольовий компаунд вивантажують. У схему технологічного процесу може бути включена стадія попереднього зневоднення, що дозволяє збільшити продуктивність апарату бітумування. Установа бітумування оснащена системою очищення газів, що виділяються і аерозолів.

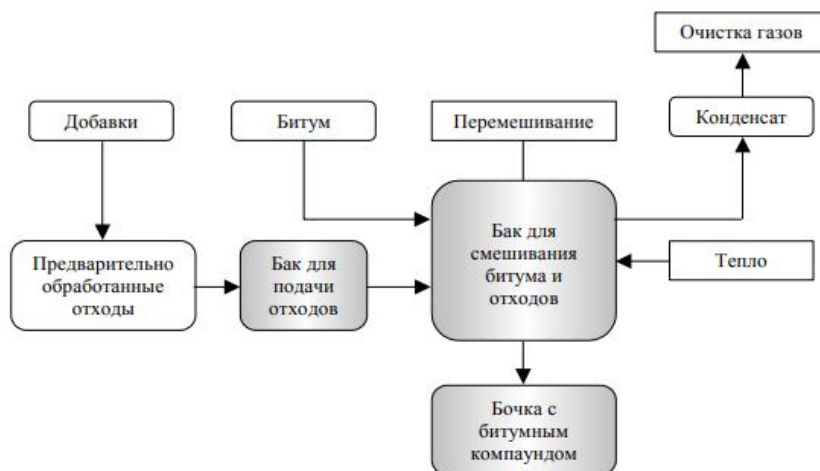


Рисунок 2.2 – Схема періодичного процесу бітумування[14].

Інв.№поділ.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата
Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

Безперервний процес бітумування – це процес, при якому значно збільшується продуктивність установок для бітумування при внесенні рідких радіоактивних відходів у бітум. Безперервний процес має дві схеми, а саме: двостадійна та одностадійна схеми.

Принципова схема двостадійного безперервного бітумування показана на рисунку 2.3. Поділ технології на дві стадії дозволяє інтенсифікувати процес бітуміровання. На першій стадії проводиться попередня обробка РРВ, як правило, їх зневоднення. На другій стадії вологі солі відходів змішують з розплавленим бітумом, одночасно досушують їх і транспортуючи до вузла вивантаження. Для цього використовують шнековий змішувач (екструдер), що обігрівається парою або органічним високотемпературним теплоносієм, примусова циркуляція якого здійснюється спеціальним насосом. До допоміжного обладнання установки відносяться вузли транспортування і дозування відходів і бітуму, системи відсмоктування, конденсованих і очищення парогазової суміші, вузол транспортування солей, система обігріву змішувача і вузол видалення бітумного компаунда.

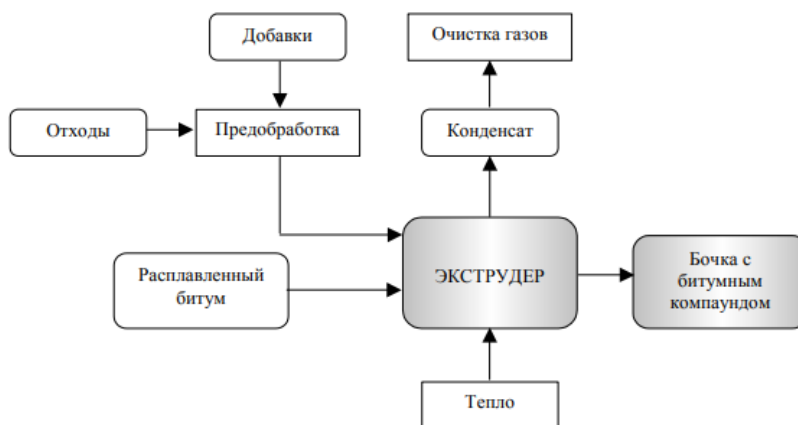


Рисунок 2.3 – Схема неперервного процесу бітумування з використанням екструдера[14]

У одностадійної схемою безперервного бітуміровання рідких відходів застосовується роторний плівковий випарник, який дозволяє в одному апараті здійснювати видалення вологи і бітумування. Розплавлений бітум при 130°C

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

подається разом з відходами в верхню частину випарника; ця суміш лопатками ротора перемішується і розподіляється по внутрішній поверхні обігривається корпусу у вигляді тонкої плівки. У міру стікання плівки до нижньої частини випарника відбувається сушка і освіту однорідної суміші відходів з бітумом. Для обігріву апарату може використовуватися гаряча пара, що утворюється в процесі парогазова суміш підлягає очищенню і конденсації. Апарат не призначений для розпарювання піною розчинів[14].

Про бітумування РРВ слід зазначити, що в процесі тривалого зберігання бітумний компаунд змінює свої характеристики внаслідок радіаційного впливу та взаємодії солей відходів з компонентами бітумної матриці. Тому безпеку зберігання бітумування відходів визначається не тільки характеристиками продукту в момент отримання, а й можливими подальшими змінами його властивостей. Як і до інших форм іммобілізованих відходів, до бітумних компаунд пред'являються вимоги гомогенності, термічної та радіаційної стійкості, вологостійкості, стійкості до хімічних, механічних і біологічних впливів[14].

Одночасно з розвитком процесу бітумування в різних країнах світу проводилися дослідження з пошуку інших сполучних, які мають по порівняно з цементом і бітумом певні переваги, серед яких поліпшення водостійкості і радіаційної стійкості кінцевого продукту, збільшення ступеня включення в мобілізують матрицю радіоактивних відходів, зменшення пожежо-та вибухонебезпечності в процесі приготування і зберігання відходів.

Вивчення можливості включення радіоактивних відходів в полімерні матеріали переслідувало, зокрема, мета отримання продукту з низьким рівнем вилуговування. З цією метою було перевірено близько сорока різних полімерних систем, які можна розділити на дві категорії [10, 20]:

- термостійкі полімери, що утворюються при полімеризації мономерів; до цієї групи належать, перш за все, формальдегід, поліефіри, вінілефіри, епоксидні смоли та поліуретани.

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 16510022	Арк 30

- термопластичні полімери, що розм'якшуються при нагріванні, наприклад, поліетилен або полівінілхлорид.

В даний час застосування полімерів в якості матриці обмежується іммобілізацією органічних відходів, з якими полімери добре сумісні (наприклад, іонообмінні смоли, органічні рідини).

Проведення лабораторних досліджень показало, що в полімерні матриці можливо включити практично всі типи радіоактивних відходів низької та середньої рівня активності.

Для іммобілізації відходів в полімерні матриці використовують в основному апарати двох типів [19]:

- апарати з шнековим змішувачем. Ці установки схожі на установки бітумування (рис. 2.3), тільки в якості матриці застосовуються термопласти.
- апарати-змішувачі, в які подаються мономери термостійких смол, відходи та необхідні добавки (рис. 2.4). У цих апаратах полімеризація і перемішування протікають одночасно, часто безпосередньо в ємностях або контейнерах, призначених для зберігання та захоронення.

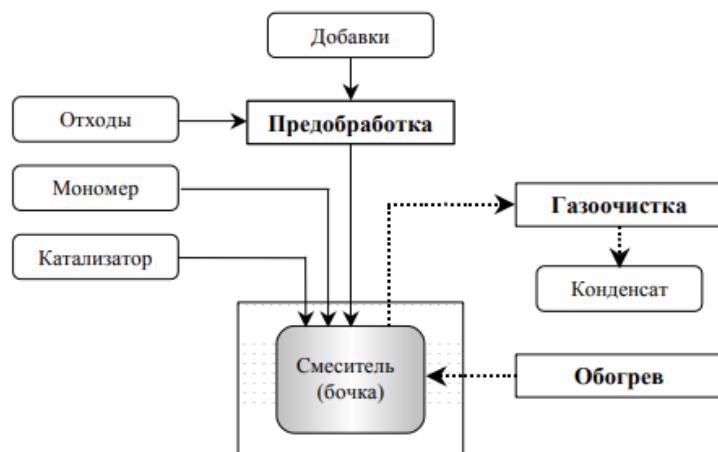


Рисунок 2.4 – Принцип іммобілізації відходів в термостійкі полімери[14]

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 16510022

2.4 Використання матричних технологій

Існуючі розробки МАГАТЕ рекомендують поховання радіоактивних відходів в стабільних блоках земної кори. Матриці повинні мінімально взаємодіяти з породою і не розчинятися в тріщинних розчинах. Вимоги, яким повинні задовольняти матричні матеріали для зв'язування осколкових радіонуклідів можна сформулювати наступним чином:

- Здатність матриці пов'язувати і утримувати у вигляді твердих розчинів якомога більшу кількість радіонуклідів і продуктів їх розпаду протягом тривалого (за геологічними масштабами) часу.

- Бути стійким матеріалом по відношенню до процесів фізико-хімічного вивітрювання в умовах поховання (тривалого зберігання).

- Володіти термічної стійкістю при високих змістах радіонуклідів.

- Володіти комплексом фізико-механічних властивостей, які необхідно мати кожному матричному матеріалу для забезпечення процесів транспортування, поховання тощо, а саме:

- механічною міцністю,
- високу теплопровідність,
- малими коефіцієнтами теплового розширення,
- стійкістю до радіаційним пошкоджень;
- мати просту технологічну схему виробництва;
- вироблятися з вихідної сировини, порівняно низьку вартість.

Сучасні матричні матеріали поділяються за своїм фазовому стану на склоутворюючі (боросилікатне і алюмофосфатне скло) і кристалічні - як полімінеральні (сінрокі) так і мономінеральні (цирконій-фосфати, титанати, цирконати, алюмосилікати і т.п.) [21].

Традиційно для іммобілізації радіонуклідів застосовували скляні матриці (боросилікатні і алюмофосфатні за складом). Це скло за своїми властивостями близьке до алюмосилікатна, тільки в першому випадку алюміній замінений

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 16510022	Арк
						32

бором, а в другому - кремній фосфором. В кінці 70-х років були розроблені перші кристалічні матричні матеріали - синтетичні гірські породи (сінрок). Ці матеріали складаються з суміші мінералів - твердих розчинів на основі титанату і цирконату і набагато більш стійкі до процесів вилуговування, ніж скляні матриці. Способи заскловування радіоактивних відходів, що використовуються в країнах з розвиненою ядерною енергетикою (США, Франція, Німеччина), не відповідають вимогам їх тривалого безпечного зберігання в зв'язку зі специфікою скла як метастабільною фази. Стеклование радіоактивних відходів з подальшим зберіганням скляних матриць в спеціальних сховищах є поки єдиним методом промислового знешкодження радіонуклідів[22]. Скло і кристалічні матриці (сінрок і, можливо, насікон) є найбільш прийнятними за комплексом фізико-хімічних і механічних властивостей, однак, висока вартість як виробництва, так і вихідних матеріалів, відносна складність технологічної схеми обмежують можливості широкого застосування сінрока для фіксації радіонуклідів. Крім того, як уже говорилося, стійкість скла недостатня для поховання в умовах земної кори без створення додаткових захисних бар'єрів.

Перш за все, в якості потенційних матриць - фіксаторів радіоактивних відходів були висунуті тверді розчини мінералів. Ідея про доцільність застосування твердих розчинів мінералів в якості матриць для фіксації елементів радіоактивних відходів була підтверджена результатами широкого петролого - геохімічного аналізу геологічних об'єктів.

У процесах іммобілізації РАВ використовують різні нерадіоактивні матриці, так я цемент, бітум, полімер тощо, для фіксації відходів у монолітній формі. Матеріали матриць мають задовольняти вимоги:

- довговічності;
- корозійної стійкості (низьке вилуговування), що характеризує високі ізоляційні властивості;
- хорошої сумісності з відходами, що забезпечує високий ступінь наповнення і, як наслідок, мінімальний об'єм кінцевого продукту;

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 16510022	Арк
						33

- механічної міцності, що знижує ймовірність руйнування стверділого продукту при транспортуванні й зберіганні;
- зручності застосування.

Крім цього, матеріал матриці має бути порівняно дешевим, доступним і зручним для транспортування. За останні десятиліття у світовій практиці одержали розповсюдження такі зв'язувальні матеріали, як цементи, бітуми, полімери, силікатні й композиційні матеріали (скло, технічні ситал, кераміка), легкоплавкі метали тощо[23].

Центральна аналітична лабораторія (ЦАЛ) II класу з характеристики радіоактивних відходів (РАВ), яка перебуває у складі ДСП «Екоцентр», розпочала підготовку до робіт з характеристики бітумно-сольового компаунду (термоактивної, термопластичної полімерної смоли).

Бітумування – це включення радіоактивних відходів у твердий матеріал на основі асфальтенів. Основний принцип технології бітумування полягає у тому, що концентровані рідкі радіоактивні відходи вміщують у розплавлену гарячу матрицю, внаслідок чого випаровується волога з утворенням охолодженого твердого компаунду. Спочатку бітумний компаунд розглядався лише як внутрішнє покриття металевого контейнера. На сьогодні він вважається іммобілізуючим матеріалом з прекрасними характеристиками по утриманню радіонуклідів (особливо альфа-випромінювачів). Основними недоліками бітумування є пожежонебезпечність його продуктів, невисока радіаційна стійкість та схильність до біодеградації[24].

Бетон та залізобетон широко використовуються в якості інженерних бар'єрів (контейнерів) для об'єктів з захоронення радіоактивних відходів через їх ізоляцію, механічну стабільність та низьку вартість. Також цементна матриця широко застосовується в країнах Заходу і розглядається в Україні як матеріал для кондиціонування рідких РАВ, що забезпечує іммобілізацію радіонуклідів. Кондиційовані форми радіоактивних відходів у процесі зберігання повинні мати високу хімічну стабільність, низьку швидкість

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

вилучення радіонуклідів водою, механічну, термічну та радіаційну стійкість [25].

Раніше вважалося, що цементна речовина не вимагає будь-якої захисту від можливої мікробіологічної деструкції. Однак внесення в цементну матрицю речовин, потенційно здатних служити живильним середовищем для розвитку мікробіотів, є негативним фактором, який при тривалій експлуатації сховищ для захоронення може вплинути на надійність та безпеку зберігання твердих РАВ. Довгострокові дослідження показали, що при тривалому зберіганні цементних компаундів з РАВ в них розвиваються мікробні спільноти переважно з денітрофікуючим і бродильним типом метаболізму, що використовують в якості поживного середовища компоненти РАВ (нітрати, целюлозовмісні матеріали тощо). При розміщенні цементної матриці у поверхневих сховищах виникають характерні умови (анаеробне середовище, вологість, діапазон температур), які сприяють життєдіяльності денітрифікуючих і бродильних мікроорганізмів. Продукти метаболізму (CO_2 , N_2 , оцтова, пропіонова, бутанова кислоти) руйнують 83 цементну матрицю, погіршують її фізико-хімічні та механічні властивості, знижуючи надійність одного з інженерних бар'єрів на шляху виходу радіонуклідів в навколишнє середовище[26]. Внаслідок нейтралізації лужних мінералів кислими продуктами життєдіяльності утворюються розчинні солі кальцію, що призводить до зниженні міцності і густини цементної матриці і відповідно до часткової втрати її ізолюючих властивостей. Вірогідно, що процеси мікробіологічної деструкції відбуваються дос достатньо повільно, однак з огляду на довготривалий період існування сховищ для захоронення РАВ представляють потенціальну небезпеку.

Інв.№поділ.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп і дата
Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

TC 16510022

Арк
35

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКИДІВ ОБ'ЄКТІВ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ШЛЯХІВ ЇХ ЗНЕШКОДЖЕННЯ

3.1 Аналітичні дослідження шляхів впливу радіоактивних відходів на екосистему та людину

На даний момент всі атомні електростанції планують та будують таким чином, щоб забезпечити захист населення та персоналу від небезпечних випромінювань. На атомних електростанціях рівень радіоактивних викидів у атмосферу буде зменшений за рахунок впровадження системи безпеки та інших заходів, призначених для захисту.

На всіх об'єктах атомної енергетики реалізується широкий комплекс технічних і організаційних заходів, спрямованих на мінімізацію несприятливого радіаційного впливу на людину і навколишнє середовище.

Ці заходи реалізуються таким чином:

- створення багатоба'єрного захисту там, де найбільш поширені радіоактивні речовини; здійснення контролю за цим захистом та розробка нових;
- забезпечення нормальної експлуатації, введення в дію спеціальних технічних систем та систем безпеки, які будуть спрямовуватися на ліквідацію аварій та забезпечувати захист, без участі персоналу;
- використання технічних засобів з високим ступенем надійності та запровадження системи контролю та управління за радіаційною безпекою, що побудований на принципі резервування та здійснення технічних процесів;
- має відбуватися забезпечення безпеки при природніх та техногенних впливах 1 раз в 10000 років;

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ТС 16510022				Арк
					Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

- виконання технічних рішень, які мають на меті мінімізувати накопичення радіоактивних відходів та вдосконалити системи очищення середовищ, які є радіаційно-забрудненими та повернути їх в технологічний процес;
- здійснення обов’язкового очищення скидів та викидів, які є досить забрудненими контроль викидів до навколишнього середовища.

До складу проєктів АЕС передбачено входження спеціальних аналізів безпеки, які засновані та теперішніх методах аналізу, які базуються на дотриманні та виконанні вимог документів нормативного характеру, у тому числі і в регулюванні впливу на довкілля. Ці проєкти мають діяти на всіх атомних електростанціях.

Викиди в атмосферу(радіоактивного характеру) можуть бути: аерозольні та газові. Якщо ж це рідкі радіоактивні відходи – то це можуть бути: дрібнодисперсні суміші або розчини. Але можуть виникати й такі випадки, коли гаряча вода викидається в атмосферу(таке можливо, коли трапляються аварії), і вже в навколишньому середовищі розподіляється на воду та пар. Ці скиди та викиди можуть бути:

- періодичними або постійними, та знаходяться під надійним контролем персоналу та інших працівників;
- аварійними, що виникають раптово та несуть непередбачувані наслідки.

Радіоактивні речовини та елементи здатні розповсюджуватися в навколишньому середовищі, проникати в організми людей та тварин, потрапляти до рослин.

На рисунку 3.1 представлена схема впливу радіоактивних відходів та їх поширення в навколишньому середовищі.

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 16510022	Арк 37

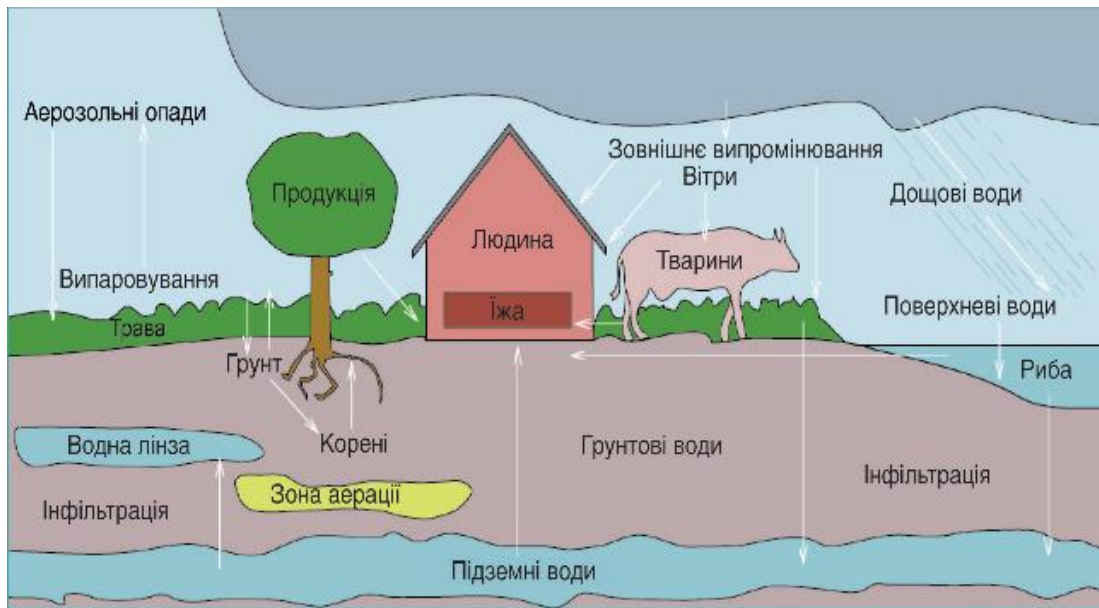


Рисунок 3.1 - Загальна схема міграції радіоактивних речовин у навколишньому середовищі

Найбільш поширеним викидом атомних електростанціє вважається радіонуклід ^{137}Cs . Він може дуже швидко мігрувати у харчових ланцюгах. При потраплянні до організму людини затримується у м'язових клітинах та може викликати ракові захворювання, які називаються саркомами.

В останні десятиліття з'явилися дослідження, присвячені аналізу впливу на людину і навколишнє середовище тритію (Т), що утворюється в технологічних циклах АЕС. Особливу роль тритію в питаннях забезпечення радіаційної безпеки АЕС визначають наступні чинники[27]:

- зміст Т в рідких скидах при нормальній роботі АЕС набагато перевершує за абсолютним значенням зміст всіх інших нуклідів, а в газоподібних викидах в навколишнє середовище кількість Т поступається тільки кількістю ІРГ;
- на відміну від хімічно інертних радіоактивних газів інкорпорований Т ефективно включається до складу біологічної тканини і є потенційним джерелом мутагенних порушень як за рахунок β -випромінювання середньої енергії (5,8 кеВ), так і за рахунок порушення молекулярних зв'язків, викликаних заміною ізотопу

Інв.№поділ.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп і дата					Арк
					TC 16510022				
Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата					38

водню (H) нейтральним гелієм (He), що утворився в результаті розпаду T;

- тритій володіє великим періодом напіврозпаду (12,4 років) і внаслідок цього є глобальним забруднювачем природних комплексів.

Завдяки хімічної еквівалентності звичайного водню тритій в формі надважкої води накопичується в технологічних водах АЕС, вступаючи з них у водойму-охолоджувач, а потім в довколишні водоймища, підземні води, приземний шар атмосфери. Підвищені концентрації цього радіонукліда зафіксовані в природних середовищах в зонах впливу багатьох АЕС.

Для забезпечення безпечної роботи атомних електростанцій повинні виконуватися такі вимоги:

- повинен дотримуватися принцип глибокого захисту, який має на меті забезпечення фіксації та захоплення радіоактивних елементів, що унеможлиблює їх вихід до навколишнього середовища та подальшої міграції. Цей принцип досягається за допомогою організаційних та технічних заходів забезпечення радіоактивної безпеки та швидкого реагування – здійснення моніторингу, локалізація забруднення, створення спеціальної системи контролю та захисту;
- підтриманні системи запобігання аварій в робочому стані. Ці системи включають в себе певну герметичну побудову, що являє собою спеціальні огорожі з деяким набором елементів для забезпечення транспорту вантажівок та людей;
- надійний захист від іонізуючого випромінювання населення та робочого персоналу за рахунок створення та наявності будівельних конструкцій ;
- здійснення контролю за параметрами середовища: вимір температури, тиску та активності;
- має бути наявна спринклерна система, функція якої це розбризкувати холодну воду всередині спеціальної оболонки, тим самим конденсувати

Інв.№поділ.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп і дата					Арк	
										39
Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 16510022					

та знижувати температуру та тиск в цій оболонці. Ця система також використовується для зв'язування йоду, а також в інших системах для зниження температури та тиску в інших системах захисної оболонки; в системах відводу тепла від захисної оболонки; в системах по знешкодженню водню, який має влістивість утворюватися під час та в процесі аварії;

- контроль за забезпеченням радіаційної безпеки населення та персоналу атомних електростанцій, моніторинг та контроль за рівнем радіації.

Радіоактивні елементи для людини є небезпечними, так як вони здатні поглинатися та затримуватися в організмі, що може згодом призвести до їх накопичення. Ізотопи, що є радіоактивними, потрапляють всередину організму разом з їжею, водою, пилом. Вони поведуть себе кожен по-різному, наприклад, тритій, вуглець, полоній та залізо розподіляються в організмі рівномірно, а інші ізотопи накопичуються та залишаються в: кістках(це радій, фосфор); у нирках та печінці(полоній, рутеній); в щитовидній залозі(йод).

На рисунку 3.2 представлена схема впливу радіоактивних відходів людини.



Рисунок 3.2 – Шляхи впливу радіоактивних відходів АЕС на людину[28]

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
----	-----	----------	-------	------

3.2 Біохімічні технологічні рішення дезактивації довкілля забрудненого радіонуклідами

Дезактивація – це процес по видаленню радіоактивного забруднення, що призводить до опромінення людей, ґрунту, води, повітря, сільськогосподарських угідь та сировини, та проникає до всіх інших середовищ. Радіоактивне забруднення відбувається за рахунок контакту з середовищем, яке містить у своєму складі радіонукліди, або під час осідання їх у повітрі. Також існують можливі випадки радіоактивного забруднення в іонній або молекулярній формі з рідкими або твердими часточками, які вміщують в собі радіонукліди. Дезактивація має на меті підвищити безпеку людей та радіаційну безпеку. Дезактивацію можна вважати досягнутою, коли радіоактивне забруднення нижче, ніж допустимі норми. Таку дезактивацію можна вважати ефективною. Цю ефективність оцінюють величиною її коефіцієнта, який дорівнює відношенню радіоактивності початкового забруднення до того значення, яке залишається вже після проведення дезактивації. Проте цей коефіцієнт не завжди враховує можливості подальшого поширення радіоактивного забруднення. Якщо відбулося повторне забруднення то використовують багаторазову дезактивацію, яка має дві стадії:

1. Розірвання зв'язку між поверхнею та радіоактивними носіями;
2. Транспортування цього забруднення з поверхні.

Для захисту людей при використанні ядерних установок та при аврійних ситуаціях використовують найрізноманітніші методи очистки радіоактивно забрудненого повітря. До таких методів належать вентиляційні системи для вилову забруднених парів та часточок, які бувають:

- припливні;
- витяжні;
- циркуляційні.

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

Під час забруднення води радіоактивними речовинами(нерозчинними) застосовуються механізми для вимушеного та самостійного осадження та фільтрації. Якщо ж це розчинні радіоактивні речовини, то застосовують: випарювання, мембранні технології, іонообмінні адсорбції, та фільтрації через сорбенти.

Радіонукліди, що знаходяться у природних об'єктах, існують в тих самих формах, що і їхні ізотопи. Тому для вилучення цих радіонуклідів, можна застосовувати ті самі методи та процеси, які вже давно використовуються для очистки водних середовищ При проведенні дезактивації необхідно враховувати ефективність обраних технологій і завжди враховувати їхні хімічні форми та природу, в якій радіонукліди знаходяться в навколишньому середовищі. Потрібно зауважити, що традиційні схеми водоочищення не завжди можна застосовувати для дезактивації. Наприклад, основні методи водопідготовки не передбачають вилучення катіонних форм ^{137}Cs та ^{90}Sr . Ефективними та економічно доцільними методами для вилучення радіонуклідів з природних та стічних вод є:

- сорбційний(катіонні форми елементів);
- коагуляційний(для ізотопів);
- сорбційно-коагуляційний(катіонні та аніонні форми).

Для вилучення радіонуклідів, що знаходяться в розчинах у колоїдному і дисперсному стані, доцільно використовувати мембранні методи, засновані на процесах мікро- і ультрафільтрації. На відміну від зворотного осмосу і електродіалізу, завдяки методам мікро- і ультрафільтрації стає можливим відокремлення нерозчинних форм радіонуклідів від основної маси неактивних розчинних солей [28]. Враховуючи той факт, що природна вода – багатоконпонентна динамічна система, до якої входять мінеральні та органічні речовини як у розчиненому, так і в завислому і колоїдному станах, для забезпечення необхідного рівня очищення використовують комбінування декількох методів [29]. При виборі очисних технологій як природних, так і

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

стічних вод необхідно враховувати три основні критерії: екологічну безпеку, технологічну ефективність та економічну рентабельність.

Відомо, що ґрунти є акумулятором і депонентом поллютантів, у т.ч. радіонуклідів зі слабкою самоочисною здатністю. У той час як масштаби техногенної емісії радіоактивних речовин у природне середовище постійно зростають, наслідки забруднення ними значних територій, як і раніше, дуже важко ліквідувати. Тому питання дезактивації ґрунтів все ще залишаються важливими практично для всіх країн, що використовують ядерну енергетику. Ефективність очищення радіоактивно забруднених шламів та ґрунтів значною мірою залежить від хімічних форм поллютантів у середовищах, що підлягають дезактивації [30]. Досить легко вилучають радіонукліди, які знаходяться в іонному стані та у поровому розчині. Ті радіонукліди, які є високоактивними сорбційними глинистими мінералами піддаються видаленню надзвичайно ускладнено. Тому під час визначення параметрів ремедіації та технологічних схем забруднених територій обов'язково потрібно враховувати вплив мінеральної та органічної складу твердої фази рухливості радіонуклідів, та мати на увазі інтенсивність та визначений характер радіоактивного забруднення. Однією із найбільш поширених технологій дезактивації ґрунтів є реагентна, що базується на їхньому промиванні розчинами різного хімічного складу, і включає процеси вилуговування важких металів і радіонуклідів завдяки підвищенню вмісту розчинних форм останніх. При цьому застосовують різні десорбуючі та солубілізуючі реагенти: кислоти, луги, спирти, комплексоутворюючі реагенти. Встановлено, що найбільш ефективною є кислотна промивка та обробка комплексоутворюючими агентами [31, 32].

Відносно новим методом ремедіації ґрунтів є електрокінетичний, основною перевагою якого є можливість застосування для дезактивації ґрунтів із низькою фільтраційною здатністю безпосередньо на місці локального забруднення [33]. У його основі лежать процеси електроміграції і електроосмосу, що проходять при накладенні електричного поля постійного 47

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

						ТС 16510022	Арк
Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			43

струму. Ефективність електрокінетичного очищення ґрунту складає 80-99 % і у той же час різко скорочується, якщо рівень вологості становить менше 10 %. Факторами, що обмежують використання цього методу є:

- 1) наявність у ґрунті ізоляційних та металевих матеріалів, які призводять до зміни електропровідності, тому спочатку потрібно визначити мінливість ґрунту;
- 2) потрібно використовувати електроди(графіт або вуглець), які є інертними, щоб запобігти потраплянню залишків до ґрунту;
- 3) утворюються продукти токсичного характеру, в процесах окисно-відновної реакції;
- 4) дуже висока вартість ґрунту.

Протягом останнього часу набувають поширення біохімічні методи, які використовуються для дезактивації забрудненого ґрунту із застосуванням мулу, грибкових технологій та бактерій. Біохімічні технології є досить дешевими, проте існують деякі обмеження при їх використанні. Це можна прояснити тим, що біологічні системи мають свою динаміку та довготривалу початкову стадію, перед початком функціонування. Ці методи характеризуються невисоким ступенем очистки та мають досить низькі параметри.

3.3 Теоретичне обґрунтування можливості утилізації рідких радіоактивних відходів в енергетичних цілях

Під час роботи атомних електростанцій та реакторів практично на кожній стадії ядерного циклу утворюються рідкі радіоактивні відходи. Найактивніше вони можуть утворюватися при переробці ядерного палива, яке вже є відпрацьованим. В процесах переробки урану та руди в основному утворюються радіонукліди, які за своїм походження є природними, а при утворенні відходів на атомних електростанціях утворюються радіонукліди, які є штучними і мають при цьому високу активність.

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 16510022	Арк
						44

Процес утворення відходів, а саме рідких радіоактивних пов'язується з певними відмінностями технічного процесу, що не передбачає радіоактивних середовищ. До складу поводження з радіоактивними відходами входить: установки для переробки та зберігання та система утворення РРВ.

На АЕС утворюються такі види РРВ[34]:

- кубовий залишок як наслідок переробки трапних вод і вод спецпралень на випарних установках спецводоочищення;
- відпрацьовані сорбенти, що надходять з фільтрів установок спецводоочищення у разі вичерпання ресурсу іонообмінного матеріалу, а також інші відпрацьовані фільтрувальні матеріали;
- шлами та пульпи;
- відпрацьовані мастила та змішані рідини.

Спочатку рідкі радіоактивні відходи збирають у спеціальні бачки, для зберігання та утримування. Система збереження РРВ на атомних електростанціях являє собою вузли для збору та тимчасового зберігання. Шлами, мастильні матеріали та кубовий залишок мають зберігатися окремо. Якщо це відпрацьовані фільтрувальні матеріали, то вони спочатку подаються до резервуару, а потім йдуть на зберігання під шаром води. Переробка первинних рідких відходів на АЕС містить типові реактори, випарні апарати та вузли реагентів.

Після упарювання радіоактивних середовищ, які є первинними, на спеціальних установках отримують кубовий залишок, що містить у собі нерозчинні та розчинні солі натрію, заліза, кальцію, магнію та інших. Під час процесу хімічні та радіоактивні речовини відділяються з відходів, а вода, в процесі переробки, повертається назад до технологічного процесу. Для переробки рідких радіоактивних відходів використовують такі методи: термічний, сорбційний та мембранний.

Термічний метод, або як його ще називають дистиляція або упарювання, є найзручнішим та більш поширеним методом, що використовується для

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 16510022	Арк
						45

переробки рідких радіоактивних відходів. Цей метод переробки відбувається у випарних апаратах, де відбувається відведення тепла від водяної пари. Рідкі радіоактивні відходи у вигляді розчину надходить до доупарювача. І потім там же відбувається процес глибокого упарювання. Після чого пара, що утворилася в доупарювачі надходить до спеціального резервуара, де міститься вода, що є коагульованою. Кубовий залишок при цьому переходить до спеціальної тари для зберігання відходів. Вода, яку було очищено, направляється до чистого резервуару, де відбувається її фільтр-очистка і потім після перевірки її на контроль скидається для водокористування.

Сорбційний метод полягає у тому, що радіонукліди видаляються з рідких відходів в прецесах іонного обміну, адгезії та адсорбції і мають вигляд твердої фази. Метод сорбції не може використовуватися як основний метод через його селективність до деяких радіонуклідів. Сорбція проводиться у апаратах, які є пристосованими до цього, при статистичних та динамічних умовах на спеціальних фільтрах.

Мембранні методи – це методи для видалення РАВ на молекулярному рівні. Найбільш використовуваними методами є:

- 1) ультрафільтрація;
- 2) електродіаліз;
- 3) зворотній осмос.

Проте, всі ці методи краще використовувати разом, щоб досягти максимального ефекту, адже окремо ці методи не забезпечують очищення радіоактивних відходів до безпечного рівня. Це зумовлено тим, що існує велика кількість небезпечних радіоактивних домішок, які містять в своєму складі аміак та інші небезпечні масла. На АЕС завжди присутні складні технології очищення, для досягнення більш високої ефективності. Під кінець всіх процесі буде отримано:

1. Високоактивну рідину, яка йде на захоронення;

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 16510022	Арк
						46

2. Конденсат, що задовольняє всі вимоги щодо якості води і може бути скинутий до водоймища.

Рідкі водні відходи повинні бути зібрані і розділені відповідно до таких основних критеріїв (перелік цих критеріїв може бути розширено)[35]:

- активність і концентрація радіонуклідів;
- період напіврозпаду:
 - відділення короткоживучих відходів, що підлягають зберіганню для розпаду радіонуклідів;
 - відділення відходів з довгоживучими ізотопами, що вимагають геологічного поховання,
 - наявність радіонуклідів, що допускають поховання в приповерхневих могильниках;
- вміст органічних речовин;
- гомогенність, наявність твердої фракції;
- інфекційність;
- хімічна токсичність;
- наявність хімічно агресивних компонентів.

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

						ТС 16510022	Арк
Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			47

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Загальні вимоги та положення з охорони праці

До радіоактивних відходів відносяться матеріальні об'єкти та субстанції, що не підлягають подальшому використанню, рівень радіонуклідів в яких або радіоактивне забруднення яких перевищує значення встановлені діючими нормами і правилами. Вони становлять реальну загрозу для навколишнього середовища та людини. Тому при роботі з радіоактивними відходами особливу увагу слід приділяти охороні праці.

Загальні вимоги щодо безпеки персоналу[35]:

- всі роботи з радіоактивними речовинами (розфасовка, приготування робочих розчинів і т.д.) повинні проводитися у витяжній шафі на кюветах з слабосорбійних матеріалів, покритих фільтрувальним папером, захисними стінками з свинцевих блоків, при включеній витяжній вентиляції.
- під час роботи повинні використовуватися дистанційні інструменти.
- усі працюючі з РВ зобов'язані користуватися засобами індивідуального захисту(фартухи, рукавички).
- на кожному робочому місці повинен бути контейнер для попереднього збору радіоактивних відходів.

Перед початком роботи, персонал, що працює з РВ, повинен підготувати своє робоче місце, надіти засоби індивідуального захисту.

Під час роботи:

1. Всі роботи з РВ повинні проводитися тільки одноразовими інструментами.

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 16510022	Арк
						48

2. На робочому місці в витяжній шафі дозволяється працювати тільки з одним видом РВ.
3. Кількість радіоактивної речовини на робочому місці повинно бути мінімально необхідним для роботи.
4. Перенесення порцій РВ з одного приміщення в інше повинен здійснюватися тільки в кюветах, що вистилають фільтрувальної папером. Обсяг кювет повинен перевищувати обсяг розчину не менше ніж в два рази.
5. У повсякденній роботі після кожного етапу робіт з РВ (наприклад, приготування робочого розчину, розфасовка і т.д.), працівник зобов'язаний перевірити ступінь забрудненості рукавичок і рук на приладі. У разі необхідності провести дезактивацію шляхом промивання в проточній воді з милом або препаратом «Захист» з подальшим радіаційним контролем. Використані пробірки, мензурки, стаканчики і інші пристосування багаторазового користування поміщаються для дезактивації в раковини-мийки з проточною водою, розташовані в мийно́ї і групуються за періодами напіврозпаду РВ. Перед повторним їх використанням дезактивувати обладнання та посуд перевіряється на наявність залишкових радіоактивних забруднення.

Після закінчення робіт:

3. Виконавці робіт зобов'язаний здати залишилися РВ на зберігання відповідальній особі.
4. Виконавець зобов'язаний переконатися у відсутності радіоактивного забруднення робочого місця, одягу, рук, інвентарю за допомогою приладу.
5. Після закінчення роботи на даному робочому місці або в кінці робочого дня радіоактивні відходи повинні бути переміщені в спеціальні збірники, що знаходяться в сховищі.

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 16510022

Арк
49

- б. При виході з приміщень, де проводяться роботи з РВ, слід перевірити чистоту рук, спецодягу та засобів індивідуального захисту за допомогою приладу радіаційного контролю

Найпоширенішим є поверхневе забруднення, але радіоактивний матеріал може потрапляти в організм і утримуватися клітинами органів-мішеней, травмуючи безпосередньо і постійно чутливі елементи організму. Швидке втручання дуже важливе для видалення радіоактивного матеріалу, не поширюючи його. Роботи повинні виконуватися в спеціально підготовленому приміщенні, а персонал, який займається, повинен носити спеціальний захисний одяг. Для зовнішнього знезараження застосовуються загальні методи очищення, як правило, не потрібні хімічні методи. Для внутрішньої дезактивації необхідно використовувати специфічні засоби, відповідно до причинного елемента, а також фізіологічні втручання для посилення виведення та виведення. Загальні методи очищення зовнішнього знезараження зазвичай передбачають промивання милом та теплою водою, хоча може знадобитися допомога інших методик, залежно від місця розташування, типу ізотопу та форми забруднення; весь процес часто вимагає значного внеску ресурсів і може зайняти значний час.

4.2 Безпека при виникненні надзвичайних ситуацій

Основні заходи, що здійснюються органами управління та силами цивільного захисту при виникненні радіаційної аварії на АЕС[36]:

- виявлення та оцінка радіаційної обстановки, прогноз доз опромінення населення;
- оповіщення населення про радіаційну аварію;
- інформування населення про радіаційну обстановку та рекомендації щодо захисту населення;
- надання медичної допомоги постраждалим;

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

Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 16510022	Арк
						50

- використання засобів індивідуального захисту;
- укриття в будинках, захисних спорудах цивільного захисту;
- евакуація із зони радіоактивного забруднення;
- проведення йодної профілактики;
- обмеження перебування населення на відкритому повітрі;
- здійснення дозиметричного контролю опромінення населення;
- проведення санітарної обробки населення, рятувальників;
- дезактивація території, доріг, будинків, техніки, одягу та майна;
- спостереження за радіаційною обстановкою у населених пунктах та проведення радіаційного контролю об'єктів довкілля, джерел водопостачання, продуктів харчування, сільськогосподарських тварин та рослин;
- збирання, вивезення та захоронення радіоактивних відходів.

Інв.№поділ.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп і дата	ТС 16510022				Арк
									51
Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата					

ВИСНОВКИ

У ході розроблення дипломного проєкту було:

1. Проаналізовано вплив атомної енергетики на довкілля та визначено, що вона є потенційно небезпечною через: можливі аварії на енергоустановках, що супроводжуються виділенням радіоактивних матеріалів; викиди радіоактивних ізотопів та інших шкідливих речовин. Наведено схему взаємозалежності природних і техногенних впливів в системі «АЕС – довкілля».
2. Визначено основні напрямки поводження з радіоактивними відходами. До них належить:
 - ізоляція(блокування контакту радіоактивного відходу з навколишнім середовищем);
 - розсіювання(мінімізація активності відходів шляхом розбавлення іншими речовинами);
 - застосування хімічно стійких форм і сполук(зв'язування РАВ у форми, що забезпечують неможливість міграції відходів у навколишнє середовище);
 - використання матричних технологій(поховання радіоактивних відходів в блоках земної кори, тобто, у матрицях).
3. Здійснено аналіз офіційної звітності щодо стану Чорнобильської зони відчуження, а також визначено екологічну програму та елементи розвитку системи поводження з радіоактивними відходами.
4. Досліджено шляхи впливу радіоактивних відходів на екосистему та людину та визначено основні напрямки, які спрямовані забезпечити мінімізацію несприятливого радіаційного впливу на людину та навколишнє середовище. Було представлено схеми впливу радіоактивних речовин на людину та схему міграції відходів у екосистему.

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

ТС 16510022

Арк

52

5. Проаналізовано біохімічні технологічні рішення дезактивації довкілля забрудненого радіонуклідами, адже саме такі методи останнім часом набувають усе більшого поширення. Наведено основні технології щодо видалення радіоактивного забруднення з водного та повітряного середовища, ґрунту.
6. Наведено теоретичне обґрунтування можливості утилізації рідких радіоактивних відходів в енергетичних цілях. Визначено, які основні методи застосовують для переробки РРВ на АЕС.

Інв.№поділ.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп і дата	ТС 16510022				Арк
									53
Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата					

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Запорозчук А. Класифікація радіоактивних відходів відповідно до рекомендацій МАГАТЕ. Випуск 101(Частина II). 2011.
2. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Classification of radioactive waste, Safety Guide Series No. 111-G-1.1, IAEA, Vienna (1994). – р. 7.
3. Radioactive Waste and Spent Fuel Manageent [Electronic resource]. – Mode of access: URL: <http://www-ns.iaea.org/tech-areas/waste-safety/disposable.html>.
4. Radioactive Wastes [Electronic resource]. – Mode of access: URL: <http://worldnuclear.org/info/inf60.html>.
5. Загальні методи складування та поховання промислових відходів. URL:https://knowledge.allbest.ru/ecology/3c0a65635b2ad68a5d53a88421306d26_0.html
6. Книга 5. Электроэнергетика и охрана окружающей среды. Функционирование энергетики в современном мире. Общие сведения об атомной энергетике, радиоактивности и воздействию АЭС на окружающую среду. URL: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-5/part-3/section-3/3-1>
7. В білоруській частині зони пожежі значно рідші, ніж у нашій. Публікація. URL: <https://texty.org.ua/fragments/100741/v-biloruskij-chastyni-pozhezhi-znachno-ridshi-nizh-u-nashij-chornobylskij-zoni-chomu/>
8. Д.П.Хрущов, І.С.Ботвіна, Е.О.Яковлев, Л.С.Галецький, В.М.Беланов. Видалення радіоактивних відходів в геологічних формаціях.
9. З. М. Алексеева, Т.М. Василенко, С.М. Кондратьев, Є.О. Ніколаєв, Н.А Бурзак, Т.Я. Кутузова, Б.П. Злобенко, Л.В. Спасова. Питання забезпечення безпеки при виборі майданчика розташування сховищ для захоронення РАВ.

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

						TC 16510022	Арк
Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			54

10. Шехунова С. Б. Геолого-геофізичні проблеми глибинної ізоляції радіоактивних відходів. За матеріалами наукової доповіді на засіданні Президії НАН України 19 квітня 2017 року
11. R&D Activities in Ukraine towards Geological Disposal of Radioactive Waste (presentation). Implementing Geological Disposal of Radioactive Waste Technology Platform: 7th Exchange Forum. Hotel Córdoba Centre, Córdoba, Spain, October 25—26, 2016. http://www.igdtp.eu/index.php/key-documents/cat_view/4-igd-tp-exchangeforums/8-exchange-forums/134-7th-exchange-forum/136-plenary-session-1
12. Faybishenko B., Birkholzer J., Sassani D., Swift P. (eds). International Approaches for Nuclear Waste Disposal in Geological Formations: Geological Challenges in Radioactive Waste Isolation. Fifth Worldwide Review. (LBNL, 2016). <https://eesa.lbl.gov/wwr5/fifth-worldwide-review-report-online/>
13. І. М. Петрушка, М.С. Мальований, К.І. Петрушка. Механізм сорбції ^{137}Cs та ^{90}Sr з рідких радіоактивних відходів модифікованими язівськими глинами. Наукова стаття. с. 28
14. Международное агенство по атомной энергии. _Технологические и организационные аспекты обращения с радиоактивными отходами. URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TCS-27_R_web.pdf
15. І. М. Петрушка, Ю. Й. Ятчишин, К. І. Петрушка. Інтенсифікація сорбцію Цезія комплексними природними сорбентами з рідких радіоактивних середовищ : стаття// с. 47. 2014.
16. R. O. Abdel Rahman, H. A. Ibrahim and Yung-Tse Hung. Liquid Radioactive Wastes Treatment: A Review. 2011.
17. Radioactive Waste Management Self Study . Liquid Radioactive Wastes
18. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Bituminisation Processes to Condition Radioactive Waste, Technical Report Series No. 352, IAEA, Vienna (1993).

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

TC 16510022

Арк

55

19. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Immobilization of Low and Intermediate Level Radioactive Wastes with y Polymers, Technical Report Series No. 289, IAEA, Vienna (1988).
20. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Conditioning of Alpha Bearing Wastes, Technical Report Series No. 326, IAEA, Vienna (1991).
21. Внешние воздействия природного происхождения на глубинные захоронения долгоживущих радиоактивных отходов / И.В. Калиберда, А.Г. Левин, Д.В. Мурлис и др. // Атомная техника за рубежом. 2003. № 2. С.3
22. Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі / Денисевич К.Б. Ландау Ю.О. Нейман В.О. Сулейманов В.М // Науково-пізнавальне видання «Енергетика: історія, сучасність і майбутнє». URL: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-5>
23. Носовський А. В. та ін. Поводження з радіоактивними відходами / А. В. Носовський, З.М. Алексеева, Г.П. Борозенець та ін.; За ред. А. В. Носовського. К.: Техніка, 2007. 368 с. ISBN 966-575-049-6
24. Державне агентство України з управління зоною відчуження. Центральна аналітична лабораторія розпочала підготовку до робіт з характеристикації бітумно-сольового компаунду : публікація // 2016. URL: <http://dazv.gov.ua/diyalnist/antikoruptsijna-diyalnist/134-nakaz-dazv-ukrajini-vid-29-lipnya-2011-roku-35-pro-deyaki-pitannya-pov-yazani-z-nabrannyam-chinnosti-antikoruptsijnim-zakonodavstvom>
25. Отчет об инженерно-геологических условиях площадок зданий и сооружений комплекса «Вектор». Книга 1 и книга 2. Киев: Концерн «Укратомэнергопром». КИЭП; 1992. 112 с.
26. Атлас Чернобыльской зоны відчуження. Київ : НТП «Картографія»; 1996. 26 с

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

27. Книга 5. Электроэнергетика и охрана окружающей среды. Функционирование энергетики в современном мире. Выбросы объектов атомной энергетики. URL: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-5/part-3/section-3/3-3/3-3-3>.
28. Милютин В.В. Физико-химические методы извлечения радионуклидов из жидких радиоактивных отходов низкого и среднего уровня активности: Автореф. дисс. докт. хим. наук: 02.00.14 / В.В. Милютин. М., 2008. 50 с.
29. Пшинко Г.Н. Очистка гумуссодержа гумуссодержащих радиоактивно загрязненных сточных вод / Г.Н. Пшинко, Л.Н. Спасенова, А.Н. Масько // Ядерні та радіаційні технології. 2006. Т. 6, № 3-4. С. 52-60.
30. Liu X. Adsorption removal of cesium from drinking waters: A mini review on use of biosorbents and other adsorbents / X. Liu, G.-R. Chen, D.-J. Lee, 155 T. Kawamoto, H. Tanaka, M.-L. Chen, Yu-K. Luo // Bioresource Technology. 2014. Vol. 160. P. 142-149
31. Environmental remediation and restoration of contaminated nuclear and norm sites / Ed. by L. van Velzen. Cambridge: Woodhead Publishing, 2015. - xiv + 276 p.
32. Mao X. Use of surfactants for the remediation of contaminated soils: A review / X. Mao, R. Jiang, W. Xiao, J. Yu // Journal of Hazardous Materials. 2015. Vol. 285. P. 419-435
33. Kim G.-N. Removal of uranium from soil using full-sized washing electrokinetic separation equipment / G.-N. Kim, S.-S. Kim, J.-K. Moon, J.-H. Hyun // Annals of Nuclear Energy. 2015. Vol. 81 P. 188-195.
34. Поводження з РАВ на АЕС. URL: <https://www.uatom.org/povodzhennya-z-radioaktyvnymy-vidhodamy-na-diyuchyh-aes>
35. Инструкция по охране труда при работе с радиоактивными веществами URL: <https://www.hr-bo.ru/content/spravochnaya>

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

TC 16510022

Арк

57

informatsiya/obraztzyiinstruktsiy-po-ohrane-truda/instruktsiya-po-ohrane-truda-pri-rabote-s-radioaktivnyimi-veshhestvami

36. Особливості організації та здійснення заходів щодо захисту населення та територій у випадку виникнення радіаційної аварії на об'єктах ядерної енергетики.

URL: <https://www.dsns.gov.ua/files/2018/2/1/osoblivosti.pdf>

Інв.№поділ.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп і дата	TC 16510022				Арк
					Ви	Арк	№ докум.	Підп.	Дата