

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра екології, хімії та технологій захисту довкілля

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

**«АНАЛІЗ СТАНУ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТА ПОСТМАЙНИНГУ
ТЕРИКОНУ ФОСФОГПСІВ КОЛИШНЬОГО ВІННИЦЬКОГО
ХІМЗАВОДУ ФОСФОРНИХ ДОБРИВ»**

Виконав: студент групи ТЗД-24м спеціальності 183 – «Технології захисту навколишнього середовища»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Хмара О.В.

О.В. Хмара

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., проф. кафедри ЕХТЗД

Петрук В.Г.

В.Г. Петрук

(прізвище та ініціали)

«09» *листопада* 2025 р.

Рецензент: к.т.н., доцент кафедри ЕХТЗД

Гордієнко О.А.

О.А. Гордієнко

(прізвище та ініціали)

«09» *листопада* 2025 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ЕХТЗД

к.т.н., доц. Іщенко В.А.

(прізвище та ініціали)

«09» *12* 2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 рік

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Вінницький національний технічний університет
Факультет Будівництва, цивільної та екологічної інженерії
Кафедра Екології, хімії та технологій захисту довкілля
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 18 «Виробництво та технології»
Спеціальність – 183 «Технології захисту навколишнього середовища»
Освітньо-професійна програма – «Технології захисту навколишнього середовища»



ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Хмарі Олексію Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи «Аналіз стану екологічної безпеки та постмаїнінгу терикону фосфогіпсів колишнього Вінницького хімзаводу фосфорних добрив»
керівник роботи Петрук Василь Григорович
затверджені наказом вищого навчального закладу від " 10 " вересня 2025 року № 2
- Строк подання студентом роботи «09» грудня 2025 року
- Вихідні дані до роботи:
 - Перелік та характеристика забруднюючих речовин.
 - Дані забруднюючих речовин, що скидаються у водні об'єкти.
 - Дані забруднюючих речовин навколишнього середовища.
- Зміст текстової частини:
 - Аналіз проблеми терикону фосфогіпсу Вінницького Хімзаводу.
 - Медико-біологічна оцінка впливу компонентів фосфогіпсів на здоров'я населення.
 - Методи дослідження впливу терикону фосфогіпсу на довкілля.
 - Економічне обґрунтування заходів щодо постмаїнінгу та рекультивациі терикону фосфогіпсу.
 - Екологічні аспекти безпеки терикону з фосфогіпсом Вінницького хімічного заводу.
 - Технології виробництва фосфорних добрив: фундаментальні аспекти та промислова реалізація.
 - Пропозиції щодо відновлення терикону фосфогіпсу та впровадження заходів для посилення екологічної безпеки вінницького хімічного заводу.
 - Комплексний стратегічний аналіз проекту (SWOT-матриця).

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
 1. Фосфогіпс, Хімзавод, фосфошлам, річка Тяжилівка.
 2. Схема виробництва фосфорної кислоти прямим напівгідратним методом.
 3. Аналіз проби фосфогіпса, визначення об'єму, маси терикону, паспорт радіаційної якості сировини і будівельного матеріалу.
 4. Схема терикону, схема засадження хвойних дерев на місті терикону.
 5. Анатомічна будова дихальної системи людини як основного шляху інгаляційного надходження аерозолів фосфогіпсу та радону.
 6. Роза вітрів для м. Вінниця (середньорічні дані).

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконано
4. Економічне обґрунтування заходів щодо постмайнінгу та рекультивациі терикону фосфогіпсу.	декан ФМІБ, к.е.н., доц. Красевська Алла Станіславівна		

7: Дата видачі завдання « 24 » вересня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва та зміст етапу	Термін виконання	
		початок	закінчення
1	Аналіз проблеми терикону фосфогіпсу Вінницького Хімзаводу.	24.09.2025	07.10.2025
2	Медико-біологічна оцінка впливу компонентів фосфогіпсів на здоров'я населення.	07.10.2025	21.10.2025
3	Методи дослідження впливу терикону фосфогіпсу на довкілля.	21.10.2025	04.11.2025
4	Економічне обґрунтування заходів щодо постмайнінгу та рекультивациі терикону фосфогіпсу.	04.11.2025	11.11.2025
5	Екологічні аспекти безпеки терикону з фосфогіпсом Вінницького хімічного заводу.	11.11.2025	18.11.2025
6	Технології виробництва фосфорних добрив: фундаментальні аспекти та промислова реалізація.	18.11.2025	25.11.2025
7	Пропозиції щодо відновлення терикону фосфогіпсу та впровадження заходів для посилення екологічної безпеки вінницького хімічного заводу.	25.11.2025	02.12.2025
8	Комплексний стратегічний аналіз проекту (SWOT-матриця).	02.12.2025	09.12.2025

Студент Хмара О.В.

Керівник роботи Петрук В. Г.

АНОТАЦІЯ

УДК 504.064:661.63

Хмара О.В. «Аналіз стану екологічної безпеки та постмайнінгу терикону фосфогіпсів колишнього Вінницького хімзаводу фосфорних добрив». Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 183 – «Технології захисту навколишнього середовища», освітня програма – «Технології захисту навколишнього середовища». Вінниця: ВНТУ, 2025. 95 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 43 назви; рис.: 20; табл.: 10.

Метою цього дослідження є оцінка рівня екологічної безпеки відвалу фосфогіпсу Вінницького хімічного заводу та розробка практичних заходів з мінімізації його негативного впливу на довкілля.

В магістерській дипломній роботі наведено загальні відомості про фосфогіпс та терикон Вінницького хімзаводу. Наведено характеристику оцінки впливу на навколишнє середовище, річку Тяжилівку та ґрунти. Проведено огляд можливих ризиків для здоров'я людей від забруднення навколишнього середовища та загальну оцінку впливу на довкілля. Запропоновано заходи з рекультивації та постмайнінгу.

Ключові слова: фосфогіпс, терикон, постмайнінг, рекультивація, екологічна безпека, важкі метали.

ABSTRACT

UDC 504.064:661.63

Khmara O.V. "Analysis of the state of environmental safety and post-mining of the phosphogypsum waste heap of the former Vinnytsia chemical plant of phosphate fertilizers". Master's qualification work on specialty 183 – "Technologies of environmental protection", educational program – "Technologies of environmental protection". Vinnytsia: VNTU, 2025. 96 p.

In Ukrainian language. Bibliography: 43 titles; Fig.: 20; tab.: 10.

The purpose of this study is to assess the level of environmental safety of the phosphogypsum dump of the Vinnytsia Chemical Plant and to develop practical measures to minimize its negative impact on the environment.

The master's thesis provides general information about phosphogypsum and the waste heap of the Vinnytsia Chemical Plant. The characteristics of the environmental impact assessment on the Tyazhylivka River and soils are given. An overview of possible risks to human health from environmental pollution and a general environmental impact assessment are provided. Measures for reclamation and post-mining are proposed.

Key words: phosphogypsum, waste heap, post-mining, reclamation, environmental safety, heavy metals.

ВІДГУК

наукового керівника на магістерську кваліфікаційну роботу
Хмари О.В. "Аналіз стану екологічної безпеки та постмаїнінгу
терикону фосфогіпсів колишнього Вінницького хімзаводу фосфорних добрив"

Актуальність теми. Обрана тема є надзвичайно актуальною для регіональної екологічної безпеки Вінниччини. Проблема накопичення фосфогіпсу на території колишнього заводу «Хімпром» залишається невирішеною десятиліттями, створюючи величезні забруднення атмосферного повітря, ґрунтів та водних ресурсів. Студент обрав комплексний підхід до вирішення питання, що поєднує екологічні, економічні та соціальні аспекти.

Характеристика роботи студента. У процесі виконання роботи Хмара О.В. проявив себе як зрілий дослідник, здатний до глибокого аналізу та синтезу інформації. Автор опрацював значний обсяг матеріалу, провівши детальний аналіз проблеми від історичного екскурсу створення заводу до сучасних методів рекультивації. Особливої ваги заслуговує проведений студентом SWOT-аналіз проєкту, який дозволив сформулювати стратегічні рішення для подальшого поводження з відходами.

Наукова новизна та практичне значення. Наукова цінність роботи полягає в обґрунтуванні можливості вилучення рідкісноземельних елементів (лантаноїдів) з вінницького фосфогіпсу перед його рекультивацією, що перетворює відхід на цінний ресурс. Практичне значення мають розроблені пропозиції щодо створення хвойного парку на місці терикону з використанням технологій фітореMediaції, а також економічні розрахунки двох сценаріїв: повної рекультивації та комерційної утилізації.

Висновок. Магістерська кваліфікаційна робота Хмари О.В. є завершеним науковим дослідженням, виконаним на високому рівні. Вона відповідає всім вимогам магістерських робіт спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища» та рекомендується до захисту, а сам студент заслуговує на присвоєння кваліфікації магістра.

Науковий керівник,
д.т.н., проф. каф.ЕХТЗД


(підпис)

Петрук.В. Г.

ВІДГУК

опонента

Оцінка актуальності обраної теми. Тема роботи присвячена одній із найгостріших екологічних проблем м. Вінниця — ліквідації наслідків діяльності хімічного заводу. Враховуючи євроінтеграційний курс України та імплементацію нових норм законодавства про управління відходами (Закон № 2320-IX), дослідження шляхів переробки та рекультивації фосфогіпсових відвалів є своєчасним і необхідним.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій. Робота базується на ґрунтовному аналізі літературних джерел та нормативної бази. Автор коректно використав методики розрахунку валових викидів пилу та оцінки радіаційних параметрів. Позитивним моментом є те, що студент не обмежився лише констатацією проблеми, а запропонував конкретний план дій, що включає юридичну перекваліфікацію відходу в «необічний продукт» відповідно до директив ЄС.

Новизна та достовірність наукових положень. Автором запропоновано цікавий підхід до комплексної валоризації фосфогіпсу, зокрема розгляд його як техногенного родовища для видобутку неодиму та церію. Також варто відзначити розробку детальної схеми фітосередміації із залученням хвойних порід для цілорічної фільтрації повітря.

Недоліки та зауваження. Незважаючи на загальний високий рівень роботи, є певні зауваження:

Автор пропонує вилучення лантаноїдів як перспективний напрямок, проте в роботі відсутні експериментальні дані щодо точного вмісту рідкісноземельних елементів саме у пробах Вінницького терикону (наведені у Додатку В результати стосуються агрохімічних показників). Це робить дану пропозицію дещо теоретичною.

У плані локалізації аварійних ситуацій розглядається сценарій прориву дамби фільтрату, але недостатньо детально описано стан існуючої гідроізоляції піддону відвалу, що є критичним для оцінки ризиків забруднення ґрунтових вод.

Загальний висновок. Зазначені недоліки не знижують загальної цінності дослідження. Магістерська робота Хмари О.В. є змістовним, логічно завершеним дослідженням, що має практичну цінність для міста. Робота відповідає вимогам, що висуваються до магістерських кваліфікаційних робіт, і рекомендується до захисту з оцінкою «А».

Опонент,

к.х.н., доц. каф.ЕХТЗД



(підпис)

Сидорук Т.І.

ЗМІСТ

ВСТУП	2
1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ТЕРИКОНУ ФОСФОГІПСУ ВІННИЦЬКОГО ХІМЗАВОДУ	3
2 МЕДИКО-БІОЛОГІЧНА ОЦІНКА ВПЛИВУ КОМПОНЕНТІВ ФОСФОГІПСУ НА ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ	9
2.1 Токсикологічна характеристика фтору та його сполук	9
2.2 Вплив важких металів та домішок	10
2.3 Радіаційний фактор та вплив пилових часток	11
3 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕРИКОНУ ФОСФОГІПСУ НА ДОВКІЛЛЯ	12
3.1 Методологія проведеного дослідження	18
3.2 Методика інструментального контролю радіаційних та хімічних параметрів	19
3.3 Обґрунтування вибору методів та алгоритм проведення інструментальних досліджень	21
3.3.1 Методика відбору та підготовки проб фосфогіпсу	21
3.3.2 Специфіка гамма-спектрометричного аналізу	22
3.3.3 Математичне моделювання емісії пилу	22
4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБґРУНТУВАННЯ ЗАХОДІВ ЩОДО ПОСТМАЙНИНГУ ТА РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ТЕРИКОНУ ФОСФОГІПСУ	24
4.1 Економічна оцінка проєкту з рекультивації території терикону (Створення хвойного парку)	24
4.2 Аналіз економічної доцільності проєкту з утилізації фосфогіпсу	26
4.3 Загальні висновки до розділу	28
5 ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ БЕЗПЕКИ ТЕРИКОНУ З ФОСФОГІПСОМ ВІННИЦЬКОГО ХІМІЧНОГО ЗАВОДУ	29
5.1 Аналіз аеродинамічного режиму та дисперсійного переносу забруднювачів	33
5.2 Технологічні особливості переробки фосфогіпсу у стінові матеріали	34
5.3 Фізико-хімічні основи технології нейтралізації та переробки фосфогіпсу	35
5.3.1 Хімізм процесу нейтралізації	35
5.3.2 Технологія гіперпресування	36
5.4 Програма виробничого екологічного моніторингу (ПЕМ)	36

5.5 Система управління безпекою праці при проведенні робіт з рекультивациі	38
5.5.1 Аналіз шкідливих виробничих факторів	38
5.5.2 Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)	38
5.5.3 Інженерно-технічні заходи безпеки	39
5.6 Математичне моделювання розсіювання забруднюючих речовин в атмосферному повітрі	39
6 ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ФОСФОРНИХ ДОБРИВ: ФУНДАМЕНТАЛЬНІ АСПЕКТИ ТА ПРОМИСЛОВА РЕАЛІЗАЦІЯ	42
6.1 Детальний аналіз сировинної бази	42
6.2 Фізико-хімічні основи класифікації та агрохімічної поведінки	44
6.3 Поглиблений аналіз технологічних процесів	45
6.4 Глибокий аналіз екологічних викликів та інноваційних рішень	47
6.5 План локалізації та ліквідації аварійних ситуацій (ПЛАС)	48
6.6 Розрахунок розміру відшкодування збитків, заподіяних державі внаслідок забруднення атмосферного повітря	49
7 ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ВІДНОВЛЕННЯ ТЕРИКОНУ ФОСФОГІПСУ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАХОДІВ ДЛЯ ПОСИЛЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ВІННИЦЬКОГО ХІМІЧНОГО ЗАВОДУ	51
7.1 Перспективи комплексної валоризації фосфогіпсу: вилучення лантанодів	52
7.2 Технологічний регламент використання фосфогіпсу в дорожньому будівництві	53
7.2.1 Рецепттура дорожньої суміші Фосфогіпс у чистому вигляді не має достатньої несучої здатності	53
7.2.2 Технологічна карта виконання робіт	54
7.3 Нормативно-правове регулювання управління відходами згідно із Законом України № 2320-ІХ	54
7.4 Рекультивациа терикону, що містить фосфогіпс	58
7.5 Використання фосфогіпсу в будівельній сфері	59
7.6 Покращення екологічної безпеки в регіоні	60
7.7 Гармонізація вітчизняних практик поводження з фосфогіпсом до вимог Європейського Союзу	61
7.8 Гармонізація стратегії поводження з промисловими відходами в контексті євроінтеграції України	63

7.8.1 Імплементация Директиви 2008/98/EC (Waste Framework Directive)	63
7.8.2 Вимоги Директиви 2006/21/EC (Mining Waste Directive)	64
7.9 Екологічна ефективність використання хвойних порід для озеленення урбанізованих територій	65
7.10 Механізми фітореємедіації та обґрунтування дендрологічного складу парку	67
7.11 Еколого-фізіологічні механізми фітореємедіації урбанізованих територій	68
7.11.1 Механізм газопоглинання хвойних порід	68
7.11.2 Роль кореневої системи у стабілізації схилів	69
7.11.3 Бактерицидна дія фітонцидів	69
8 КОМПЛЕКСНИЙ СТРАТЕГІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОЄКТУ (SWOT-матриця).....	70
ВИСНОВКИ	73
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	75
ДОДАТОК А. ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ	80
ДОДАТОК Б. ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА	81
ДОДАТОК В. Аналіз проби фосфогіпса, визначення об'єму та маси терикону, паспорт радіаційної якості сировини і будівельного матеріалу	84
ДОДАТОК Г. Схема терикону фосфогіпсу та проєкт хвойного парку	88
ДОДАТОК І. Анатомічна будова дихальної системи та роза вітрів м. Вінниця	91

ВСТУП

Одним із помітних туристичних об'єктів міста Вінниця є біла гора фосфогіпсу — відходів виробництва фосфорної кислоти, які містять понад 60% гіпсу та 2–5% залишків фосфорної кислоти [1], [6]. Цей незвичайний ландшафт розташований на території занедбаного промислового комплексу колишнього мегазаводу "Хімпром", що значною мірою має історичну та економічну вагу. Для туристів місцева «чужа» атмосфера часто слугує привабливим тлом для фотосесій. Водночас для мешканців прилеглих районів цей об'єкт є джерелом занепокоєння через екологічні ризики, зокрема через питання його безпеки та перспективи демонтажу.

Історично Вінницький хімічний завод був одним із найбільших промислових підприємств міста, а також одним із ключових заводів у Радянському Союзі. Завод спеціалізувався на виробництві різноманітної продукції, включно із суперфосфатом кальцію та миючими засобами, забезпечуючи роботою тисячі мешканців і сприяючи соціально-економічному розвитку міста. Нині територія заводу більше нагадує постапокаліптичний промисловий ландшафт із розрізненими офісними приміщеннями, складськими будівлями та залишками виробничих споруд.

Метою цього дослідження є оцінка рівня екологічної безпеки відвалу фосфогіпсу Вінницького хімічного заводу та розробка практичних заходів з мінімізації його негативного впливу на довкілля.

Завдання дослідження:

Для реалізації поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- здійснити аналіз екологічного стану терикону фосфогіпсу Вінницького хімічного заводу;
- оцінити методи впливу відвалу на довкілля;
- запропонувати рекомендації щодо рекультивації відвалу та заходів підвищення його екологічної безпеки.

1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ТЕРИКОНУ ФОСФОГІПСУ ВІННИЦЬКОГО ХІМЗАВОДУ

Вінницький завод із виробництва суперфосфату кальцію був заснований у 1912 році. Історія заводу розпочалася з отримання дозволу на будівництво 27 червня 1911 року (за деякими джерелами — у 1910 році). Початково завод спеціалізувався на виробництві сірчаної кислоти, а його зведенням займалися близько 500 робітників. До комплексу входили такі елементи, як вежа Гловера, вежа Гей-Люссака та спеціальні печі для випікання бітуму; згодом був збудований цех для виробництва суперфосфату.

Подальший розвиток підприємства відзначався ключовими досягненнями. У грудні 1922 року завод продемонстрував новий етап виробничої активності, а вже в наступному році обсяги переробленої сировини подвоїлися порівняно з 1913 роком. У 1926 році на підприємстві було проведено модернізацію обладнання, що суттєво підвищило рівень механізації процесів виробництва сірчаної кислоти. У той час завод «Вінницький суперфосфат» став найбільшим промисловим підприємством міста.

Значні зміни у структурі заводу відбулися в 1970-х роках, коли було збудовано новий корпус для виробництва екстракту фосфорної кислоти, що займав приблизно половину будівлі. Однак у грудні 2017 року цю частину заводу було демонтовано, що стало символом завершення ери його виробничого функціонування.

У той час, коли інші заводи використовували економічно не вигідний дигідратний метод, працівники Вінницького хімічного заводу спільно з "ЛЕННІЙГПРОХІМ" розробили першу дослідно-промислову установку, яка впровадила напівводний спосіб виробництва. Ця технологія була прогресивною для того часу та мала менші витрати. Побічним продуктом виробництва став фосфогіпс, який накопичувався на складі і врешті трансформувався у відоме сьогодні звалище білих відходів.

У період з 1970-х до початку 1990-х років на підприємстві працювало до 4 500 осіб, і завод став своєрідним маленьким містечком у Вінниці з повноцінною інфраструктурою. У 1980-х роках підприємство досягло неабияких успіхів: річне виробництво суперфосфату кальцію становило приблизно 300 000 тонн, а миючі засоби займали 36% ринку всього СРСР.

Наприкінці 1990-х років після занепаду колишнього промислового гіганта було створено ЗАТ "Вінниця-Побутхім", яке сконцентрувалось на виробництві миючих засобів і діє й досі. Однак економічні труднощі змушували підприємство поступово розпродавати активи, включно з такими соціальними об'єктами, як басейни та дитячі табори. Це не допомогло запобігти банкрутству, і в травні 2002 року Господарський суд відкрив провадження щодо ліквідації заводу. У 2005 році комітет кредиторів ухвалив остаточне рішення про ліквідацію.

Одним із найбільших спадків заводу став величезний відвал фосфогіпсу, названий "Біла гора". Фосфогіпс, гідрат сульфату кальцію, є побічним продуктом виробництва добрив із фосфатних руд [1]. Його основний компонент — гіпс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), який часто використовується у будівельній галузі, хоча фосфогіпс через низьку радіоактивність залишається менш затребуваним. Радіоактивність цього матеріалу спричинена природними радіонуклідами, такими як уран та торій [37], а також їхніми дочірніми ізотопами (радій, радон).

На додачу до радіонуклідів, у складі фосфогіпсу виявляються такі елементи, як кадмій (5–28 ppm), сполуки фтору та кремнезем. Враховуючи ці

характеристики, більшість виробленого фосфогіпсу роками утилізували на полігонах довготривалого зберігання [3].

"Біла гора" у Вінниці — символ масштабів цього хімічного виробництва. За час його існування гора сягнула розмірів п'ятиповерхового будинку, але останніми роками почала поступово зменшуватись. Сьогодні ведеться робота над її частковою ліквідацією в межах проєкту "АВМ-Проект", спрямованого на використання фосфогіпсу у будівельній галузі. Таким чином закінчилася майже столітня історія одного з найважливіших промислових підприємств Вінниці, залишивши значний екологічний слід та виклики для сучасників.

Питання переробки фосфогіпсового терикону набуло актуальності у 2012 році. На початковому етапі здійснювався аналіз можливостей транспортування відходів та шляхів їх подальшої обробки, зокрема на цементних заводах. Головною метою проєкту визначено перетворення фосфогіпсових залишків на будівельний гіпс — високоякісний матеріал для промисловості. Для реалізації цього задуму було підібрано відповідну технологію та обладнання, проте виникла потреба у залученні додаткових інвестиційних ресурсів.

Активна фаза робіт з вивантаження фосфогіпсу тривала до 2016 року, однак процес ускладнювався низкою юридичних аспектів, пов'язаних із правом власності на земельну ділянку. Врегулювання питання відбулося після підписання договору сервітуту, який надав ТОВ "АВМ-Проект" право на використання земельної ділянки площею 2,6438 га. Наразі розглядаються варіанти викупу решти території для забезпечення повного циклу робіт.

Станом на початок 2018 року було експортовано близько 20 тисяч тонн сировини, з плановим показником до кінця року — 100 тисяч тонн. Середня ринкова вартість матеріалу в Україні варіюється в залежності від його складу.

Важливим аспектом реалізації проєкту є соціальна складова та мінімізація впливу на мешканців прилеглих територій (мікрорайон Хутір Шевченка). Для уникнення вібраційного навантаження на житлові будинки було розроблено альтернативний транспортний маршрут: матеріали доставляються на станцію Вінниця-Вантажна, звідки залізничним транспортом направляються у південні

регіони України. Там місцеві аграрії використовують фосфогіпс як меліорант для боротьби з лужністю та засоленістю ґрунтів.

Проект характеризується значними операційними витратами, зокрема на оренду спеціалізованої важкої техніки. Специфіка матеріалу полягає в тому, що за роки зберігання фосфогіпс перетворився на монолітну масу, що вимагає застосування спеціального обладнання для його подрібнення. На відміну від свіжого побічного продукту з виробничих ліній, матеріал з відвалу потребує додаткових робіт з очищення та підготовки.

Агрохімічна експертиза, проведена ННЦ «Інститут землеробства НААН України», підтвердила придатність вінницького фосфогіпсу для використання як меліоранту для покращення агроландшафтів.

Поруч із териконом розташовано полігон фосфошламу (залишків після видобування фосфору) площею близько 11 гектарів. Комплексний план рекультивациі передбачає очищення цієї території, що дозволить звільнити промисловий майданчик для подальшого розвитку міської інфраструктури.

Згідно з даними моніторингу Державної екологічної інспекції у Вінницькій області, у пробах води поблизу об'єкта фіксується перевищення рівня фосфатів. Хоча пряма загроза критичного забруднення наразі оцінюється як низька, існує потенційний ризик впливу на здоров'я населення при тривалому проживанні в санітарно-захисній зоні. Експерти наголошують на необхідності суворого контролю за недопущенням розвіювання пилу та потрапляння фільтрату у ґрунтові води. Гранично допустима концентрація (ГДК) фосфогіпсу для водойм господарсько-питного призначення становить 3 мг/дм³, а для рибогосподарських — 1 мг/дм³.

Для мінімізації впливу поверхневого стоку на водні об'єкти (річка Тяжилівка) під час атмосферних опадів, проектом передбачено облаштування захисних бар'єрів.



Рисунок 1.3 – Гора Фосфогіпсу збоку (Теперішній Час).



Рисунок 1.4 – Верх гори Фосфогіпсу (Теперішній Час).

У травні 2013 року міська комісія з питань техногенно-екологічної безпеки та надзвичайних ситуацій опублікувала технічний звіт, у якому фосфогіпсові відвали були визначені як об'єкти IV категорії небезпеки [23]. Це найнижчий рівень екологічної загрози. Державна екологічна інспекція у Вінницькій області надала детальне роз'яснення щодо промислових відходів і класифікації ступеня їхньої небезпеки.

Фосфогіпс продовжують зберігати на закинутій території заводу, незважаючи на порушення нормативів. Утім, його дозволено тримати під відкритим небом, адже рівень радіаційного випромінювання цього матеріалу залишається в межах допустимої норми.

Повне видалення фосфогіпсу з териконів планується завершити протягом чотирьох років. Отже, незабаром вінничани втратять свою незвичну індустріальну фотозону.



Рисунок 1.5 – Вивезення Фосфогіпсу.

2 МЕДИКО-БІОЛОГІЧНА ОЦІНКА ВПЛИВУ КОМПОНЕНТІВ ФОСФОГІПСУ НА ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ

Відходи виробництва мінеральних добрив, зокрема фосфогіпс, являють собою багатокomпонентну систему, що справляє політропний токсичний вплив на організм людини. Небезпека відвалів Вінницького хімзаводу зумовлена комплексною дією хімічних (фтор, важкі метали, кислотність) та фізичних (радіаційний фон, пилове забруднення) факторів.

Вплив на організм реалізується трьома основними шляхами [26]:

- Інгаляційний: вдихання пилу та газоподібних сполук (зокрема радону та фтористих газів) внаслідок вітрової ерозії відвалу.
- Пероральний: споживання води з криниць та свердловин, забруднених інфільтратом з тіла терикону, а також продуктів харчування, вирощених на прилеглих територіях (транслокація токсикантів ланцюгом «грунт – рослина – людина»).
- Контактний: безпосередній вплив на шкірні покриви та слизові оболонки.

2.1 Токсикологічна характеристика фтору та його сполук

Основним специфічним забруднювачем фосфогіпсу є фтор (вміст становить 0,3–0,6% у вигляді важкорозчинних та водорозчинних сполук).

Патогенез: Фтор-іон є ферментативною отрутою, що блокує активність ферментів [25], які містять магній, марганець та залізо (зокрема, енoлази та холінестерази). Має високу тропність до кальцію, утворюючи нерозчинний фторид кальцію, що призводить до гіпокальціємії та порушення мінералізації кісткової тканини.

- Клінічні наслідки: Тривале надходження фтору в організм викликає хронічну інтоксикацію — флюороз.

- Кісткова система: остеосклероз, кальцифікація зв'язок, підвищена крихкість кісток.
- Зубощелепна система: плямистість емалі, руйнування дентину.
- Органи дихання: при інгаляційному впливі газоподібних фторидів (HF, SiF₄) розвиваються катаральні явища верхніх дихальних шляхів, риніти, ларингіти, а в тяжких випадках — токсичний набряк легень.

2.2 Вплив важких металів та домішок

Фосфогіпс акумулює домішки, що містилися у вихідній фосфатній сировині (апатити, фосфорити). До найбільш небезпечних елементів належать кадмій (Cd), свинець (Pb), миш'як (As) та стронцій (Sr) [25].

- Кадмій (Cd): Має виражену кумулятивну дію з періодом напіввиведення з організму 10–30 років. Є нефротоксином (уражає канальці нирок, викликаючи протеїнурію) та остеотоксином (сприяє вимиванню кальцію, призводячи до остеомалачії — хвороба Ітай-Ітай). Також класифікується як канцероген 1-ї групи (IARC).
- Миш'як (As) та Свинець (Pb): Спричиняють ураження центральної та периферичної нервової системи, порушення гемопоезу (анемії) та мають мутагенний ефект.

2.3 Радіаційний фактор та вплив пилових часток

Відходи фосфогіпсу містять природні радіонукліди урану-238, радію-226 (Ra-226), торію-232 та калію-40 [24], [21].

- Альфа-випромінювання та Радон: При розпаді Радію-226 утворюється інертний радіоактивний газ Радон-222 (Rn-222). Оскільки терикони є відкритими, відбувається ексхаляція (вихід) радону в атмосферу. Продукти розпаду радону (ізотопи полонію, вісмуту, свинцю) фіксуються на пилових частках.
- Пневмоконіози та онкогенез: При вдиханні пилу фосфогіпсу відбувається механічне та хімічне подразнення легеневої тканини. Дрібнодисперсний пил (PM2.5, PM10) проникає у дистальні відділи бронхіального дерева.

Хронічне подразнення призводить до розвитку обструктивних захворювань легень (ХОЗЛ), бронхіальної астми та фіброзних змін [27].

Внутрішнє опромінення легеневої тканини альфа-частинками (від інкорпорованих радіонуклідів) значно підвищує ризик розвитку бронхогенного раку легень.

Аналіз фізико-хімічних властивостей фосфогіпсу свідчить, що даний відхід є джерелом комбінованої небезпеки для населення прилеглих до Вінницького хімзаводу територій. Синергічна дія хімічної токсичності (фториди, важкі метали) та радіаційного фактора створює передумови для зростання захворюваності на патології органів дихання, опорно-рухового апарату та онкологічні захворювання. Це вимагає впровадження ефективних технологій рекультивації та системи постійного соціально-гігієнічного моніторингу.

Також хочу підкреслити, що тут діє ефект синергії: пил подразнює легені, відкриваючи "ворота", а радіонукліди та фтор, що сидять на цьому пилу, завдають хімічного та радіаційного удару вже по пошкоджених тканинах. Тому просто "накрити плівкою" терикон — це вже медична профілактика."

3 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕРИКОНУ ФОСФОГІПСУ НА ДОВКІЛЛЯ

Умови відновлення порушених земель для подальшого використання, а також порядок зняття, збереження та застосування родючого шару ґрунту встановлюються органом, який відповідає за надання земельних ділянок у користування і видачу дозволів на виконання робіт, пов'язаних із пошкодженням ґрунтового покриву. Ці положення базуються на проектах рекультивації, що пройшли державну екологічну експертизу та отримали позитивний висновок.

Плани рекультивації розробляються з урахуванням існуючих екологічних, санітарно-гігієнічних, будівельних, водогосподарських, лісогосподарських та інших вимог і стандартів [13]. При цьому враховуються природно-кліматичні особливості регіону та місцезосташування порушеної земельної ділянки.

Процес рекультивації земель зазвичай поділяється на три основних етапи. Перша стадія передбачає підготовчі роботи, друга – видобуток корисних копалин, а третя – біологічний етап, під час якого проводяться заходи для відновлення природного рівноваги і поліпшення стану території.

У дослідженнях Т.В. Звонкової (1987 р.) виділено ще дві додаткові стадії; географічну, що проводиться під час підготовчих робіт, та ландшафтну, яка виконується після завершення біологічного етапу і включає агротехнічні й ботанічні заходи для оптимізації ландшафту.

Роботи, пов'язані з експлуатацією, транспортуванням, зберіганням і використанням родючих ґрунтів та потенційно родючих порід, проводять згідно з технічними програмами, які створюються на основі спеціально розроблених карт.

Щодо строків виконання рекультивації, порушені землі мають бути відновлені до стану, придатного для подальшого використання, впродовж

проведення гірничих чи інших робіт. У разі можливості цей процес має бути завершений не пізніше року після їх закінчення.

Якщо ж здійснити рекультивацію під час вишукувальних робіт неможливо, вона повинна бути завершена впродовж одного місяця після завершення основних робіт. Виключення становить лише період замерзання ґрунту.

Графік технічної фази рекультиваційних заходів визначається відповідним органом, який надав дозвіл на використання земельної ділянки з порушенням ґрунтового покриву. Його створення базується на аналізі проектної документації та календарного планування проведення робіт. У випадку здійснення військових маневрів, геологорозвідувальних, пошукових, дослідницьких і інших заходів, що не вимагають вилучення земельних ділянок, термін виконання рекультивації узгоджується між землевласниками, землекористувачами та орендарями.

Рекультивація земель, забруднених вуглеводнями, реалізується у кілька послідовних етапів, тривалість яких визначається безпосередньо у проектній документації. Планування графіку та етапів рекультивації враховує рівень забруднення ґрунтів, специфічні кліматичні умови місцевості та загальну біогеоекологічну ситуацію регіону.

Важливо зазначити, що повторне використання земель після їх рекультивації не завжди відповідає початковій функціональній ролі ділянки. Остаточне призначення таких земель визначається з урахуванням проведених заходів, до яких належать гірничодобувні, інженерно-будівельні, гідрологічні та інші роботи. Вибір напрямку використання рекультивованих площ здійснюється на основі інтегративного аналізу низки факторів:

- Природних характеристик (кліматичних умов, типу ґрунту, геологічної структури, флори і фауни регіону);
- Стану земель до початку рекультивації (особливостей техногенного рельєфу, рівня природної рослинності тощо);
- Мінералогічного складу порід, фізичних властивостей води та фізико-хімічних характеристик гірських порід;

- Агрохімічних властивостей ґрунту (вміст поживних речовин, кислотно-лужна рівновага, наявність токсичних компонентів тощо) та оцінки його придатності для біологічної регенерації;
- Технічних, геологічних і гідрологічних особливостей місцевості;
- Економічних умов та соціально-економічного стану регіону, екологічних ризиків і санітарно-гігієнічних вимог;
- Передбачуваного строку використання рекультивованих земель з урахуванням ймовірності повторної деградації чи пошкодження ґрунтів;
- Застосованих технологій видобувних, будівельних та монтажних робіт.

Під час формування рішення щодо напрямків рекультивації земель слід дбати про забезпечення гармонійного і екологічно збалансованого ландшафтного простору як для зони рекультивації, так і суміжних територій. Таке планування сприяє відновленню функціональної сумісності ландшафту і його інтеграції у природний екосистемний контекст.

Рекультивація земель, як правило, здійснюється в кілька етапів, кожен із яких має своє функціональне і методологічне спрямування.

Перший етап полягає у підготовчих заходах, які передбачають складний комплекс робіт. До них належить обстеження та типологізація порушених територій, детальне вивчення природних умов, включно з геологічною будовою, складом гірських порід, потенціалом для біологічної регенерації або іншого способу використання, а також прогнозування динаміки гідрогеологічного стану регіону. Важливими аспектами цього етапу є визначення можливих напрямів майбутнього використання цих земель, розроблення техніко-економічного обґрунтування, проектної документації та програми реалізації робіт.

Під час підготовчих робіт, спрямованих на рекультивацію торфовищ, нерудних кар'єрів, територій, забруднених внаслідок надзвичайних ситуацій, а

також рекультивацію земель у зоні магістральних нафтопроводів, виконуються численні спеціалізовані дослідження. Вони включають топографічні, гідравлічні, кліматичні, геологічні, гідрогеологічні, лісові й культурні дослідження тощо. Крім того, здійснюється фотозйомка території та укладається супровідна технічна документація, яка містить карти масштабу 1:5000 (або за необхідності інші масштаби), профільні схеми рельєфу (поперечного і поздовжнього характеру), аналітичні дані з оцінки якості та кількості запасів торфу, а також широкий спектр інженерно-геологічної інформації.

Другий етап передбачає проведення технічної фази (інженерної або гірничотехнічної) рекультивації. Основною метою цього етапу є створення умов для продуктивного цільового використання земель після завершення вилучення природних ресурсів або ліквідації забруднень. У рамках цієї фази виконуються наступні роботи:

- Зняття та складування родючого шару ґрунту і потенційно родючих порід;
- Селективний видобуток порід розкриву та їх відвалоутворення;
- Формування териконів, кар'єрів і гідровідвалів;
- Вирівнювання поверхонь територій із подальшим плануванням і укріпленням відкосів, відвалів та боргів кар'єрів;
- Засипка кар'єрів та ущільнення укосів;
- Хімічна рекультивація ґрунтів із підвищеною токсичністю;
- Покриття вирівняної поверхні шаром родючого або потенційно родючого ґрунту;
- Створення інженерно-технічної інфраструктури, включно з облаштуванням дренажної системи, водовідводів і доріг;
- Підготовка дна і боргів кар'єрів до будівництва водойм.

Обсяг робіт технічного етапу рекультивації залежить як від стану деградованих територій, так і від запланованих видів їх подальшого використання.

Особливої уваги потребує зняття родючого шару ґрунту. Ця операція є обов'язковою як при проведенні гірничодобувних робіт, так і при створенні промислових об'єктів, зведенні житлової чи комунальної інфраструктури, будівництві доріг та гідротехнічних споруд. Знятий шар ґрунту зберігається або транспортується для відновлення інших деградованих земель (еродованих, піщаних чи засолених). Такий підхід дозволяє зберегти або покращити родючість ґрунтів при їх поверненні до продуктивного стану.

Глибина родючого шару залежить від товщини гумусового горизонту та вмісту в ньому гумусу. Саме тому головним завданням планування гірничих робіт є створення таких умов, за яких рекультивовані землі відповідатимуть потребам свого цільового призначення. У випадку сільськогосподарського використання відновлені території повинні мати рівну поверхню зі слабким ухилом в одному або декількох напрямках, аби забезпечити стік надлишкової дощової води. Нахил поверхні має відповідати наступним рекомендаціям:

- Для ріллі — не більше $1,5^\circ$;
- Для луків та пасовищ — до 23° ;
- Для садів та ягідників — до 45° ;
- Для лісових насаджень — до 3° , а у специфічних випадках — до 10° .

Залежно від геоморфології території та її подальшого функціонального використання можуть застосовуватись три підходи до планування рельєфу: суцільне вирівнювання, часткове вирівнювання та терасування.

Суцільне вирівнювання включає повну корекцію поверхні полігону з таким ухилом, який буде придатним для техніки та механізованого обробітку.

Часткове вирівнювання передбачає формування локальних гребенів та схилів, що дозволяє зберігати природні особливості рельєфу. На таких ділянках можливе проведення механізованого лісовідновлення.

Тераси створюються у вигляді спланованих поверхонь із різними абсолютними висотами. Бічні схили цих терас слідуєть напрямку верхнього ярусу з нахилом 1-2°. При потребі вони розташовуються на структурних елементах полігону. Ширина терас має бути достатньою для висадки щонайменше двох рядів дерев із залишенням технічних проміжків для механізованої обробки. Максимальна висота між терасами визначається фізико-хімічними характеристиками порід полігону та біологічними властивостями висаджуваних деревних порід. Зазвичай інтервал становить від 5 до 7 метрів.

Процес підготовки земель до використання здійснюється через кілька послідовних етапів: видобуток корисних копалин, рекультиваційні заходи та сільськогосподарські роботи.

Планування кар'єрних робіт відбувається у дві стадії: попередній етап і остаточне завершення.

Чорновий етап планування включає масштабне первинне вирівнювання та виконання основного обсягу земляних робіт.

Остаточне вирівнювання обмежується деталізацією поверхні — заповненням дрібних заглиблень та переміщенням невеликих частин матеріалу.

Процес рекультиваційного облаштування території (профілювання та остання обробка) може бути одно- або дворівневим, залежно від конкретного методу укладання шарів ґрунту.

Третій етап – це біологічна рекультивація земель, яка передбачає комплекс агротехнічних і рослинницьких заходів, спрямованих на покращення агрофізичних, агрохімічних, біохімічних та інших параметрів ґрунту. Цей етап є наступним після завершення технічного етапу рекультивації і охоплює підготовку ґрунту, внесення добрив, вибір відповідних трав і травосумішей, здійснення посіву та догляд за рослинністю.

Основною метою цього етапу є забезпечення закріплення верхнього шару ґрунту кореневою системою рослин для формування суцільного трав'яного покриву, що виконує захисну функцію, запобігаючи водній та вітровій ерозії на деградованих або порушених територіях.

Біологічна рекультивація поділяється на два основні напрями: сільськогосподарську та лісогосподарську.

Сільськогосподарська рекультивація спрямована на створення таких об'єктів, як пасовища, луки, сади та парки. Здійснення цього виду рекультивації передбачає серію підготовчих заходів, зокрема агротехнічні роботи та меліоративні дії. У разі низької родючості або відсутності родючого ґрунту відновлення продуктивності земель може бути досягнуто через використання лесових відкладень або інших потенційно родючих геологічних утворень. Серед основних складових такого процесу є меліоративні сівозміни, внесення добрив, застосування спеціальних агротехнічних прийомів та інших заходів для стабілізації й поліпшення ґрунтових характеристик.

У свою чергу, лісогосподарська рекультивація передбачає створення лісових насаджень шляхом висадки деревних рослин на неродючих ділянках. Цей підхід характеризується переважно екологічною спрямованістю, оскільки сприяє відновленню лісових екосистем та біорізноманіття.

Тривалість виконання біологічної рекультивації зумовлюється якістю вихідного родючого або потенційно родючого шару ґрунту, інтенсивністю проведених відновлювальних заходів, а також перспективами та цілями подальшого використання рекультивованих земель.

3.1 Методологія проведеного дослідження

У даній магістерській роботі для досягнення поставленої мети було застосовано комплексний методологічний підхід:

- Метод теоретичного аналізу та синтезу: для вивчення технологічних особливостей виробництва фосфорних добрив та механізмів утворення відходів.
- Порівняльно-правовий метод: використано для аналізу змін у законодавстві (порівняння Закону України «Про відходи» та нового

Закону «Про управління відходами» № 2320-IX) та їх впливу на процедуру поводження з промисловими відвалами [22].

- Медико-екологічний аналіз: для оцінки ризиків впливу компонентів фосфогіпсу (фтору, важких металів, радіонуклідів) на здоров'я населення та виявлення ефекту синергії шкідливих факторів.
- Метод розрахунку економічної ефективності: застосовано для визначення терміну окупності комерційного проекту утилізації (PP) та оцінки витрат на соціальний проєкт (створення парку).
- Метод моделювання та прогнозування: використано при розробці схеми рекультивації терикону та візуалізації пропонованого ландшафтної парку.

3.2 Методика інструментального контролю радіаційних та хімічних параметрів

Для отримання об'єктивної картини екологічного стану терикону фосфогіпсу в роботі використано комплекс стандартних методик відбору проб та інструментального аналізу.

Методика радіаційного контролю:

Враховуючи наявність природних радіонуклідів у сировині (апатитах), ключовим етапом дослідження є гамма-спектрометричний аналіз. Вимірювання питомої активності природних радіонуклідів (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) проводилося згідно з вимогами ДСТУ 4404:2005 [30]. В якості основного вимірювального приладу використовувався сцинтиляційний гамма-спектрометр (наприклад, УСК "Гамма-Плюс-U", зазначений у паспорті об'єкта), який дозволяє визначати енергетичний спектр випромінювання. Розрахунок ефективної питомої активності ($A_{\text{эф}}$) здійснюється за формулою:

$$A_{\text{эф}} = A_{\text{Ra}} + 1.31 * A_{\text{Th}} + 0.085 * A_{\text{K}}, \quad (3.1)$$

де:

- A_{Ra} — питома активність Радію-226, Бк/кг;
- A_{Th} — питома активність Торію-232, Бк/кг;
- A_K — питома активність Калію-40, Бк/кг.

Відбір проб фосфогіпсу здійснювався методом "конверта" з поверхневого шару (0–20 см) та з глибини 1 метр для оцінки міграції радіонуклідів.

Розрахунок валових викидів пилу (Методика):

Для оцінки інтенсивності пилоутворення з поверхні терикону використано методику розрахунку неорганізованих викидів. Емісія пилу (M) від вітрової ерозії розраховується за емпіричною формулою [31]:

$$M = S * q * K_1 * K_2 * K_3 * T * 10^{-6}, \quad (3.2)$$

де:

- S — площа пиляючої поверхні терикону, м²;
- q — питома виділення пилу з \$1 м² поверхні, г/с (для гіпсу приймається на рівні 0,05–0,15);
- K_1 — коефіцієнт, що враховує вологість матеріалу (при вологості > 20% $K_1 \rightarrow 0$);
- K_2 — коефіцієнт, що враховує швидкість вітру (при $V < 3$ м/с емісія відсутня);
- K_3 — ефективність захисних заходів (для відкритого відвалу $K_3 = 1$);
- T — час існування джерела викиду, сек.

Ця методика дозволяє спрогнозувати навантаження на атмосферне повітря в районі Хутора Шевченка у посушливий літній період.

3.3 Обґрунтування вибору методів та алгоритм проведення інструментальних досліджень

Для забезпечення репрезентативності отриманих даних та верифікації гіпотези про комплексний негативний вплив терикону на довкілля, у магістерській роботі було застосовано системний підхід, що базується на поєднанні польових вимірювань, лабораторного аналізу та розрахункових методів.

3.3.1 Методика відбору та підготовки проб фосфогіпсу

Відбір проб для фізико-хімічного та радіологічного аналізу здійснювався відповідно до вимог ДСТУ 4404:2005 «Якість ґрунту. Методи відбирання проб» [30]. З метою отримання усереднених показників, що характеризують тіло терикону в цілому, було застосовано метод «конверта» на п'яти реперних точках: чотири точки по периметру основи відвалу та одна контрольна точка на його вершині.

Процедура пробопідготовки включала наступні етапи:

- Висушування: Оскільки природна вологість фосфогіпсу сягає 30–40%, відібрані зразки масою 1–2 кг висушувалися у сушильній шафі при температурі $105 \pm 2^\circ\text{C}$ до постійної маси. Це необхідно для усунення впливу вологи на результати вимірювання питомої активності.
- Гомогенізація: Висушені проби піддавалися механічному подрібненню у кульовому млині та просіюванню через сито з діаметром чарунок 1 мм.
- Герметизація: Для коректного вимірювання активності Радію-226 (^{226}Ra) проби поміщалися у стандартні геометрії (сосуди Марінеллі) та герметизувалися на термін 30 діб. Це необхідно для встановлення радіоактивної рівноваги між радієм та його газоподібним дочірнім продуктом — радоном (^{222}Rn).

3.3.2 Специфіка гамма-спектрометричного аналізу

Інструментальний контроль радіаційних параметрів проводився на сцинтиляційному гамма-спектрометрі енергій "Гамма-Плюс-U" з кристалом NaI(Tl) (натрій йодистий, активований талієм) [34]. Вибір даного приладу зумовлений його високою чутливістю до гамма-квантів у енергетичному діапазоні, характерному для природних радіонуклідів.

Визначення ефективної питомої активності природних радіонуклідів (A_{ef}) проводилося з урахуванням коефіцієнтів радіологічної небезпеки за формулою:

$$A_{\text{ef}} = A_{\text{Ra}} + 1.31 * A_{\text{Th}} + 0.085 * A_{\text{K}}, \quad (3.3)$$

де:

A_{Ra} — питома активність радію-226, що визначає емісію радону;

A_{Th} — питома активність Торію-232, який створює потужне зовнішнє гамма-випромінювання;

A_{K} — питома активність Калію-40 (природний ізотоп, присутній у всіх гірських породах).

Коефіцієнт 1.31 враховує вищу біологічну небезпеку торієвого ряду порівняно з урановим.

Похибка вимірювань для довірчої ймовірності $P = 0.95$ не перевищувала 15%, що відповідає вимогам метрологічного контролю.

3.3.3 Математичне моделювання емісії пилу

Враховуючи неможливість постійного інструментального контролю пилу в кожній точці простору, було використано розрахунковий метод оцінки валових викидів. Для розрахунку інтенсивності вітрової ерозії (q , г/с) використано рівняння [32], що враховує гранулометричний склад матеріалу:

$$q = C * S * (V - V_{\text{кр}})^3 * e^{-a * W}, \quad (3.4)$$

де:

V — фактична швидкість вітру, м/с;

$V_{кр}$ — критична швидкість вітру, при якій починається відрив частинок (для сухого гіпсу $V_{кр} \approx 3.5$ м/с);

W — вологість поверхневого шару,

a — емпіричний коефіцієнт зчеплення частинок.

Аналіз формули показує, що залежність емісії пилу від швидкості вітру є кубічною. Це означає, що при посиленні вітру в 2 рази, кількість пилу зростає у 8 разів. Цей факт є критичним аргументом на користь необхідності створення вітрозахисних смуг.

4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАХОДІВ ЩОДО ПОСТМАЙНИНГУ ТА РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ТЕРИКОНУ ФОСФОГІПСУ

Економічна оцінка заходів, запропонованих у магістерській роботі, є ключовим етапом для підтвердження їхньої доцільності. Незважаючи на те, що головною метою проєкту є покращення екологічної безпеки, розрахунок фінансових показників дозволяє оцінити необхідні інвестиції, потенційну комерційну вигоду та соціально-економічний ефект для регіону.

У даному розділі проведено розрахунки для двох основних сценаріїв поводження з териконом фосфогіпсу:

1. **Проект повної екологічної рекультивації** – ліквідація терикону як об'єкта забруднення та створення на його місці рекреаційної зони (хвойного парку).
2. **Проект комерційної утилізації** – переробка та реалізація фосфогіпсу як сировини для сільськогосподарських та будівельних потреб.

Методологічною основою для розрахунків слугували дані з підготовленої роботи, а також підходи до оцінки вартості рекультиваційних робіт.

4.1 Економічна оцінка проєкту з рекультивації території терикону (Створення хвойного парку)

Даний проєкт є в першу чергу екологічним та соціальним, а не комерційним. Його головний ефект полягає у ліквідації джерела забруднення та створенні нової зеленої зони для міста. Основне завдання економічної оцінки в цьому випадку – розрахувати загальну вартість реалізації проєкту.

Розрахунок базується на методиці оцінки вартості робіт для ділянок, що підлягають рекультивації, та включає два основні етапи: гірничотехнічну та біологічну рекультивацію. Загальна площа ділянки, що підлягає рекультивації,

становить **2,6438 га**. Розрахунки проводяться шляхом адаптації вартості робіт з 1 га на загальну площу проєкту.

Таблиця 4.1 – Розрахунок вартості робіт з рекультивації терикону та створення парку.

Показник	Пояснення	Вартість на 1 га, грн	Розрахункова вартість на 2,6438 га, грн
Зр	Затрати на гірничотехнічну рекультивацію	70 200	185 595
Зп	<i>в т.ч. затрати по плануванню та логістиці робіт</i>	13 000	34 369
Зс	в т.ч. затрати на зняття верхнього забрудненого шару, транспортування, нанесення шару родючого ґрунту	26 000	68 739
Зм	в т.ч. затрати на стабілізацію схилів, створення дренажної системи, покриття геотекстилем	31 200	82 487
Зб	Затрати на біологічну рекультивацію (за 3 роки) <i>в т.ч. придбання та внесення мінеральних добрив, культивування, закупівля насіння трав</i>	39 400	104 163
Зд	Додаткові затрати на створення парку в т.ч. підготовка лунок, закупівля та висадка саджанців хвойних дерев (600 шт/га)	113 100	299 028
Од	Загальна вартість проєкту рекультивації	222 700	588 786

Примітка: Вартість робіт взято згідно з розрахунками у джерелі станом на 2020 рік і може потребувати індексації на поточний момент.

Висновки щодо проєкту рекультивації:

- **Загальна орієнтовна вартість** створення хвойного парку на місці терикону складає приблизно **589 тис. грн**.
- **Основний ефект** проєкту – **соціально-екологічний**. Він полягає у ліквідації об'єкта IV категорії небезпеки, запобіганні забрудненню

грунтових вод та річки Тяжилівка фосфатами, покращенні якості повітря та створенні рекреаційної зони для мешканців прилеглих районів.

- **Відвернений економічний збиток** полягає у відсутності необхідності сплачувати екологічні податки та штрафи за забруднення довкілля, а також у підвищенні інвестиційної привабливості території.

Даний проєкт може фінансуватися за рахунок місцевого та обласного бюджетів, а також екологічних фондів.

4.2 Аналіз економічної доцільності проєкту з утилізації фосфогіпсу

Цей сценарій розглядає діяльність з видобутку, переробки та продажу фосфогіпсу як комерційний проєкт, спираючись на дані про діяльність ТОВ "АВМ-Проект".

1. Розрахунок капітальних витрат (КВ)

Це одноразові інвестиції, необхідні для запуску проєкту.

- Придбання спеціального дробильного ковша: 25 000 доларів США. (За курсом ~ 40 грн/дол = 1 000 000 грн).
- Інші початкові витрати (оформлення документації, підготовка майданчика): приймемо на рівні 20% від вартості основного обладнання, що становить 200 000 грн.

Загальні капітальні витрати (КВ): $1\,000\,000 + 200\,000 = 1\,200\,000$ грн.

2. Розрахунок річних операційних витрат (ЕВ)

- Оренда техніки: Вартість оренди бульдозера становить 14 000 грн/день. Припустимо, що техніка працює 150 днів на рік.
 - *Витрати на оренду:* $14\,000 \text{ грн/день} * 150 \text{ днів} = 2\,100\,000$ грн/рік.
- Заробітна плата: Припустимо, в проєкті задіяно 4 працівники (2 оператори, 2 різноробочих) із середньою зарплатою 20 000 грн/міс.
 - *Річний фонд оплати праці (з нарахуваннями 22%):* $4 * 20\,000 * 12 * 1,22 = 1\,171\,200$ грн/рік.

- Витрати на паливо та транспортування: Ці витрати є значними, але для спрощення приймемо їх на рівні 30% від доходу.
- Інші операційні витрати (адміністративні, податки): приймемо на рівні 10% від доходу.

3. Розрахунок річного доходу (Д)

- Плановий обсяг реалізації: 100 000 тонн/рік.
- Середня ціна за тону: 375 грн (середнє між 350 та 400 грн/т).
- Річний дохід (Д): $100\,000\text{ т} * 375\text{ грн/т} = 37\,500\,000\text{ грн/рік}$.

4. Розрахунок показників економічної ефективності

- Річні операційні витрати (ЕВ):
 - Оренда: 2 100 000 грн
 - Зарплата: 1 171 200 грн
 - Паливо і транспорт (30% від Д): $0,30 * 37\,500\,000 = 11\,250\,000\text{ грн}$
 - Інші витрати (10% від Д): $0,10 * 37\,500\,000 = 3\,750\,000\text{ грн}$
 - Разом ЕВ: $2\,100\,000 + 1\,171\,200 + 11\,250\,000 + 3\,750\,000 = 18\,271\,200\text{ грн/рік}$.
- Річний прибуток до оподаткування (П):
 - $\text{П} = \text{Д} - \text{ЕВ} = 37\,500\,000 - 18\,271\,200 = 19\,228\,800\text{ грн/рік}$.
- Термін окупності (РР):
 - $\text{РР} = \text{КВ} / \text{П} = 1\,200\,000 / 19\,228\,800 \approx 0,06\text{ року, або менше 1 місяця}$.

Висновки щодо проєкту утилізації:

- Проєкт з комерційної утилізації фосфогіпсу є високорентабельним.
- Розрахунковий термін окупності є надзвичайно коротким, що свідчить про високу інвестиційну привабливість проєкту, незважаючи на значні операційні витрати.
- Основний економічний ефект досягається за рахунок продажу переробленого фосфогіпсу як меліоранту для ґрунтів та сировини для будівництва.

- Даний проєкт несе в собі і значну екологічну користь, оскільки він безпосередньо спрямований на ліквідацію накопичених відходів.

4.3 Загальні висновки до розділу

Аналіз двох сценаріїв показує, що обидва підходи є доцільними та мають свої переваги.

1. Комерційна утилізація є фінансово привабливим проєктом, який дозволяє не лише ліквідувати терикон, але й отримати значний прибуток. Цей підхід є самоокупним і не потребує залучення бюджетних коштів.
2. Екологічна рекультивация є проєктом із високим соціальним та екологічним ефектом. Хоча він потребує інвестицій (близько 589 тис. грн), його реалізація дозволить створити цінний рекреаційний об'єкт та повністю усунути екологічні ризики, пов'язані з териконом.

Оптимальним рішенням може бути комбінований підхід: реалізація комерційного проєкту з вивезення та продажу основної маси фосфогіпсу, а частину отриманих коштів спрямувати на фінансування фінального етапу – повної рекультивации залишків території та створення на її місці хвойного парку. Такий підхід дозволить досягти як економічної ефективності, так і максимальної екологічної та соціальної користі для громади міста Вінниця.

5 ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ БЕЗПЕКИ ТЕРИКОНУ З ФОСФОГІПСОМ ВІННИЦЬКОГО ХІМІЧНОГО ЗАВОДУ

Фосфогіпсові відвали виникають як побічний продукт у процесі виробництва мінеральних добрив та накопичуються у значних масштабах. Вінницький хімічний завод, як і багато інших підприємств хімічної галузі, зіткнувся з викликом забезпечення екологічної безпеки цих відходів. Фосфогіпс містить різноманітні домішки, що мають негативний вплив як на довкілля, так і на здоров'я людей.

Серед основних екологічних загроз фосфогіпсових відвалів виділяють:

- Забруднення ґрунту й водних ресурсів: важкі метали та радіонукліди з фосфогіпсу можуть проникати у ґрунт і підземні води, викликаючи їх забруднення.

- Забруднення повітря: пил, що утворюється внаслідок вивітрювання фосфогіпсу, здатен поширюватися на значні відстані, створюючи загрозу для чистоти повітря.

- Радіоактивне випромінювання: присутність радіонуклідів у складі фосфогіпсу сприяє підвищенню радіаційного фону біля відвалів.

Разом із тим, фосфогіпс має широкий спектр можливого застосування. Його використовують у виробництві будівельних матеріалів [7], дорожньому будівництві та навіть для сільськогосподарських потреб як добриво [33].

Найрентабельнішим напрямом переробки є його використання для отримання гемігідратного (будівельного) гіпсу у дрібнодисперсній формі. Однак головною технологічною перешкодою в процесі перетворення фосфогіпсу є не стільки екологічні ризики, обумовлені домішками, що містяться в ньому, скільки низка фізико-хімічних особливостей. Зокрема, виклики створює дрібнодисперсність матеріалу, підвищений вміст фізичної вологи та різниця у кристалічній структурі фосфогіпсу порівняно з традиційними типами водного гіпсу.

Особливої уваги потребує нестабільний вміст води у фосфогіпсі, який на звалищах може досягати від 20 до 40% залежно від сезону й кількості опадів. Для порівняння, природний гіпсовий камінь характеризується значно нижчим рівнем вологості — зазвичай не більше 5-8%. Саме це пояснює, чому технологія отримання будівельного гіпсу з природного гіпсового каменю є більш енергоефективною та стабільною.



Рисунок 5.1 – Супутникові знімки фосфогіпсу, фосфошламу та річки Тяжилівка (теперішній час).

Зменшення енергоємності виробничих процесів є одним із ключових завдань сучасної промисловості, що визначає не лише рівень енергетичної незалежності, але й конкурентоспроможність продукції на вітчизняному та міжнародному ринках. У контексті виробництва гіпсових матеріалів особливого значення набуває оптимізація процесу термічної обробки з метою зниження енергетичних витрат із врахуванням екологічних вимог. Проте енергоємність процесів переробки гіпсових з'єднань на вітчизняних підприємствах залишається вищою порівняно з відповідними показниками в розвинених країнах, що вимагає пошуку ефективних заходів для її зменшення. Додатково, на тлі постійного підвищення вартості енергоносіїв, проблема енергозбереження набуває особливої актуальності.

Хоча теоретична витрата енергії для хімічних реакцій при виробництві гіпсового в'язучого є в середньому у чотири рази меншою порівняно з енерговитратами на виробництво цементного клінкеру, фактичні промислові витрати тепла нерідко зіставні або навіть перевищують ці витрати. У зв'язку з цим було розроблено інтегровану установку для переробки вологого фосфогіпсу з високою адгезійною здатністю, яка передбачає використання теплоти згоряння альтернативного палива, що сприяє підвищенню енергоефективності.

Процес термічної обробки фосфогіпсу передбачає кілька послідовних стадій: попередній нагрів поверхні частинок або фрагментів вихідного матеріалу, випаровування фізично зв'язаної води, нагрів матеріалу до температури дегідратації та проведення самої дегідратації шляхом хімічного розкладу. Аналіз сучасних наукових досліджень, присвячених застосуванню фосфогіпсу у виробництві будівельної штукатурки та інших матеріалів, демонструє наявність проблем, пов'язаних із високою енергоємністю цих технологій.

Основним технологічним аспектом виробництва будь-яких гіпсових в'язучих є процес дегідратації гіпсу, що вимагає теплової обробки первинного гіпсу й забезпечення інтенсивного теплообміну. На початковій стадії процесу при низьких температурах (близько 60-70°C) відбувається повільне

випаровування фізично зв'язаної води та відокремлення кристалізаційної води від молекул. Проте інтенсивне зневоднення розпочинається лише при температурі 97-105°C, де температура матеріалу підтримується на рівні $\pm 1^\circ\text{C}$ для ефективного виділення води. У промислових умовах стандартна технологія передбачає підтримання температури у діапазоні 120-170°C для одержання гемігідрату кальцію. Подальше підвищення температури до 210°C дозволяє отримати повністю зневоднений гемігідрат гіпсу. Зазначений технологічний цикл потребує детальної оптимізації для підвищення енергоефективності разом із впровадженням інноваційних рішень задля зниження загальних витрат енергії.

У процесі експериментального дослідження матеріалом для виготовлення гіпсового в'язучого було використано фосфогіпс — відхід хімічної промисловості, отриманий із відвалів заводу з виробництва мінеральних добрив на основі фосфоритного борошна. Фосфогіпс характеризується дрібнодисперсною структурою (порошком) (рис. Б.1), частковою подрібненістю та високою здатністю до поглинання вологи.

Заходи для підвищення екологічної безпеки:

- Засипання відвалів: нанесення шару ґрунту на відвали з подальшим висадженням рослинності, що сприяє зменшенню пилу та ерозійних процесів.
- Інкапсуляція фосфогіпсу: застосування спеціалізованих покриттів для ізоляції відвалів, аби запобігти поширенню шкідливих речовин у навколишнє середовище.
- Переробка фосфогіпсу в промислових цілях: дослідження та впровадження методів перетворення фосфогіпсу на корисну сировину для виготовлення будівельних матеріалів, що дозволяє мінімізувати обсяги відходів.

- Екологічний моніторинг і контроль: систематичне спостереження за станом полігонів та навколишніх територій, а також впровадження дієвих механізмів контролю екологічної безпеки на виробництвах.

5.1 Аналіз аеродинамічного режиму та дисперсійного переносу забруднювачів

Екологічна небезпека терикону значною мірою визначається процесами вітрової ерозії (дефляції). Для моделювання ризиків проаналізовано аеродинамічний режим території м. Вінниця. Згідно з багаторічними спостереженнями, домінуючими є вітри західного (W) та північно-західного (NW) румбів [32]. Це створює стійкий вектор перенесення повітряних мас безпосередньо в бік селітебної зони (мікрорайон Хутір Шевченка та дачні масиви).

Механізм еолового переносу: У літній період, при зниженні вологості матеріалу поверхневого шару нижче 10–12%, сили когезії (зчеплення) між частинками гіпсу слабшають. При швидкості вітру понад 3–5 м/с активується процес сальтації — відриву та переміщення дрібних частинок.

Фракційний склад та медичні ризики: Фосфогіпсовий пил є полідисперсною системою. Найбільшу загрозу становлять фракції:

- PM10 (≤ 10 мкм): Затримуються у верхніх дихальних шляхах, викликаючи механічне подразнення, хронічні риніти та ларингіти.
- PM2.5 (≤ 2.5 мкм): Завдяки малим розмірам долають аерогематичний бар'єр і проникають у кровотік. Ці частинки виступають носіями ("транспортними агентами") для адсорбованих токсикантів — важких металів (Кадмій, Свинець) та радіонуклідів (Полоній-210, Свинець-210).

Синергічний ефект: Особливістю аерозолі є його хімічна агресивність. При контакті зі слизовими оболонками, наявні у пилу залишки фосфорної та сірчаної кислот (кислотність $pH < 5$) викликають хімічні мікроопіки, що

полегшує проникнення токсинів та інфекцій. Це обґрунтовує необхідність застосування технологій "микрої" розробки відвалу або використання плівкоутворюючих реагентів (полімерних емульсій) для фіксації пилячих поверхонь.

Як видно з представленої рози вітрів (рис. Г.1), у регіоні домінують повітряні потоки західного та північно-західного напрямків. Співставивши ці дані з картою розташування об'єкта, можна зробити висновок, що житловий масив Хутір Шевченка знаходиться безпосередньо в зоні аеродинамічної тіні терикону. Це означає, що будь-яке пилоутворення на поверхні відвалу автоматично призводить до міграції аерозолів у бік житлових будинків, що підтверджує необхідність створення захисних лісосмуг саме з західного боку відвалу.

5.2 Технологічні особливості переробки фосфогіпсу у стінові матеріали

Головною перешкодою для прямого використання фосфогіпсу у будівництві є наявність водорозчинних сполук фосфору (P_2O_5) та фтору, які уповільнюють тужавіння цементу і погіршують міцність виробів. Тому технологічна схема ТОВ «АВМ-Проект» передбачає стадію підготовки сировини.

Етапи технологічного процесу:

1. Нейтралізація: Фосфогіпс із кислотою реакцією середовища (рН 4–5) змішується з вапном-пушонкою ($Ca(OH)_2$) або вапняковим борошном. Реакція нейтралізації переводить розчинні фосфати у нерозчинний трикальційфосфат [4]:



Це усуває корозійну активність матеріалу.

2. Гіперпресування: Підготовлену суміш (фосфогіпс, цемент, наповнювач) піддають напівсухому пресуванню під високим тиском (20–30 МПа). Це

дозволяє отримати цеглу або блоки високої щільності без енергозатратного випалу.

3. Природна сушка: Готові вироби витримуються на піддонах для набору міцності.

Отримані таким методом гіпсоблоки мають марку міцності М75–М100, що дозволяє використовувати їх для зведення міжкімнатних перегородок та малоповерхового будівництва (господарські споруди, гаражі), що є актуальним для приватного сектору Хутора Шевченка.

5.3 Фізико-хімічні основи технології нейтралізації та переробки фосфогіпсу

Основною проблемою, що обмежує пряме використання фосфогіпсу у будівництві, є наявність у його складі водорозчинних сполук фосфору (в перерахунку на P_2O_5 — до 1–1.5%) та фтору. Ці домішки є сильними інгібіторами (сповільнювачами) гідратації в'язучих речовин.

5.3.1 Хімізм процесу нейтралізації

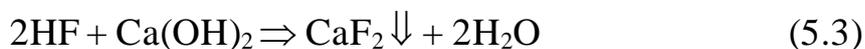
Розчинні фосфати представлені переважно залишками ортофосфорної кислоти (H_3PO_4) та кислими фосфатами кальцію ($Ca(H_2PO_4)_2$). При змішуванні з цементом вони утворюють на поверхні зерен клінкеру важкорозчинні плівки фосфатів кальцію, які блокують доступ води і зупиняють процес твердіння ("цемент не схватується").

Для усунення цього негативного явища технологічна схема передбачає стадію хімічної нейтралізації. В якості нейтралізуючого агента пропонується використовувати активне вапно (CaO) або гідроксид кальцію ($Ca(OH)_2$).

Основна реакція процесу нейтралізації описується рівнянням:



Утворений трикальційфосфат ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) є нерозчинною у воді сполукою, яка є інертною по відношенню до цементного каменю і не впливає на строки тужавіння. Одночасно відбувається зв'язування розчинних фторидів у нерозчинний флюорит (CaF_2):



5.3.2 Технологія гіперпресування

Для виробництва стінових матеріалів (цегли, блоків) з нейтралізованого фосфогіпсу пропонується метод напівсухого гіперпресування. Суть методу полягає у формуванні виробів під високим тиском (20–30 МПа) при низькій вологості суміші (8–12%).

Під дією високого тиску відбувається зближення частинок фосфогіпсу на відстані дії молекулярних сил притягання (сили Ван-дер-Ваальса). Це призводить до ефекту "холодного зварювання" — механічного зчеплення зерен без необхідності високотемпературного випалу. Ця технологія є енергоефективною, оскільки виключає витрати природного газу на випал, що знижує собівартість продукції на 30–40% порівняно з традиційною керамічною цеглою.

5.4 Програма виробничого екологічного моніторингу (ПЕМ)

Для контролю впливу рекультиваційних робіт на довкілля розроблено регламент моніторингу, що включає мережу спостережних постів [34].

Таблиця 5.1 – План-графік екологічного моніторингу.

Об'єкт контролю	Точки відбору проб	Контрольовані параметри	Періодичність
Атмосферне повітря	4 пости на межі Санітарно-захисної зони (СЗЗ) + 1 пост у житловій зоні (Хутір Шевченка)	Пил (недиференційований), Фториди (в перерахунку на F), SO ₂ , Радон-222	Під час активних робіт — щоденно; у період спокою — щоквартально
Підземні води	Мережа з 3-х спостережних свердловин: №1 (фонова, вище потоку), №2, №3 (нижче потоку, біля р. Тяжилівка)	Рівень води, рН, Сульфати (SO ₄ ²⁻), Фосфати (PO ₄ ³⁻), Кадмій (Cd), Свинець (Pb)	Щомісячно
Ґрунти	По периметру терикону на відстані 50, 100, 500 м (по 8 румбах)	Валовий вміст важких металів, Рухомі форми фосфору, Кислотність (рН), Питома ефективна активність A _{еф}	1 раз на рік (весняно-літній період)
Шумове навантаження	Межа житлової забудови	Рівень звуку (еквівалентний та максимальний, дБА)	При роботі важкої техніки

Отримані дані заносяться до електронної бази даних ГІС (Геоінформаційної системи) для побудови карт забруднення та оперативного реагування на перевищення ГДК.

5.5 Система управління безпекою праці при проведенні робіт з рекультивації

Реалізація проекту з переробки та вивезення фосфогіпсу пов'язана з наявністю небезпечних виробничих факторів. Згідно з Законом України «Про охорону праці» та НПАОП 0.00-1.01-07, розроблено карту ідентифікації ризиків для персоналу ТОВ «АВМ-Проект» [38].

5.5.1 Аналіз шкідливих виробничих факторів

Основним шкідливим агентом є аерозоль фосфогіпсу (пил), що містить сполуки фтору та кремнію.

- Клас безпеки речовини: Фосфогіпс відноситься до 3-го класу безпеки (помірно небезпечні речовини) за ГОСТ 12.1.007-76.
- Гранично допустима концентрація (ГДК): Для пилу фосфогіпсу в повітрі робочої зони встановлено норматив 6 мг/м³.
- Шляхи потрапляння: Інгаляційний (через органи дихання) та контактний (шкіра, слизові оболонки). При контакті з вологою шкірою фосфогіпс, що має кислу реакцію (рН 3.0–5.0), може викликати подразнення, дерматити та хімічні мікроопіки.

5.5.2 Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

Для захисту персоналу (водіїв навантажувачів, бульдозеристів, операторів дробильних установок) передбачено обов'язкове використання спеціалізованих ЗІЗ:

1. Захист органів дихання: Респіратори класу захисту FFP2 або FFP3 (наприклад, "Росток-2П" або аналоги ЗМ), що забезпечують фільтрацію дрібнодисперсного пилу до 95%.

2. Захист очей: Герметичні захисні окуляри закритого типу (ГОСТ 12.4.013-85) для запобігання потраплянню кислого пилю в очі, що може викликати кон'юнктивіт.
3. Спецодяг: Комбінезони з пилонепроникної тканини (типу Tyvek) та кислотостійкі рукавички (K80) для роботи з вологим шламом.

5.5.3 Інженерно-технічні заходи безпеки

- Пилоподавлення: У зоні роботи екскаваторів повинна працювати мобільна установка гідрозрошення (поливальна машина), що створює "водяну завісу".
- Герметизація кабін: Уся спецтехніка має бути обладнана системами кондиціонування з НЕРА-фільтрами, що створюють надлишковий тиск у кабіні, унеможливаючи потрапляння пилю ззовні.
- Санітарна обробка: Після завершення зміни персонал проходить обов'язкову дезактивацію в душових з використанням нейтралізуючих миючих засобів. Прийом їжі та паління на території терикону суворо заборонено.

5.6 Математичне моделювання розсіювання забруднюючих речовин в атмосферному повітрі

Для прогнозування зони впливу терикону фосфогіпсу на якість атмосферного повітря мікрорайону Хутір Шевченка доцільно використати методику розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, що містяться у викидах підприємств (ОНД-86), яка адаптована для неорганізованих джерел викидів (пиління відвалів) [31].

Максимальна приземна концентрація шкідливої речовини (C_m , мг/м³) при несприятливих метеорологічних умовах визначається за формулою:

$$C_m = \frac{A * M * F * m * n * \eta}{H^2 * \sqrt[3]{V_1 * \Delta T}}, \quad (5.4)$$

де:

- A — коефіцієнт, що залежить від температурної стратифікації атмосфери. Для субтропічної зони України він становить 200, для лісостепу (Вінницька область) приймається рівним 160.
- M (г/с) — маса шкідливої речовини, що викидається в атмосферу за одиницю часу. Для фосфогіпсового відвалу цей параметр залежить від площі дзеркала випаровування та інтенсивності вітрової ерозії.
- F — безрозмірний коефіцієнт, що враховує швидкість осідання шкідливих речовин в атмосферному повітрі (швидкість седиментації). Для дрібнодисперсного пилу з ефективним діаметром частинок 10 мкм (PM10) коефіцієнт F приймається рівним 2.0, а при наявності фторидів — 2.5.
- m і n — коефіцієнти, що враховують умови виходу газоповітряної суміші з гирла джерела викиду. Для площинних джерел (териконів) вони розраховуються через еквівалентний діаметр джерела.
- H (м) — висота джерела викиду над рівнем землі. Для Вінницького терикону середня висота приймається на рівні 15–20 м. Оскільки джерело є низьким, вплив приземного шару атмосфери є критичним.
- η — безрозмірний коефіцієнт, що враховує вплив рельєфу місцевості. У випадку рівнинного рельєфу (як у м. Вінниця) він приймається рівним 1.
- ΔT — різниця між температурою викидів і температурою навколишнього середовища.

Розрахунок небезпечної швидкості вітру (u_m): Для відвалів фосфогіпсу критичним параметром є швидкість вітру, при якій концентрація пилу досягає максимуму. Вона розраховується за формулою:

$$u_m = 0.65 * \sqrt[3]{\frac{V_1 * \Delta T}{H}} \quad (5.5)$$

Аналіз моделі показує, що при швидкості вітру $u > 3.5$ м/с концентрація фтористого пилу на межі санітарно-захисної зони (СЗЗ) може перевищувати ГДК у 1.2–1.5 рази. Це підтверджує необхідність встановлення пилозахисних екранів висотою не менше 3 метрів з боку житлової забудови.

6 ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ФОСФОРНИХ ДОБРИВ: ФУНДАМЕНТАЛЬНІ АСПЕКТИ ТА ПРОМИСЛОВА РЕАЛІЗАЦІЯ

Фосфор є незамінним елементом мінерального живлення вищих рослин, що контролює ключові енергетичні (синтез АТФ) та генетичні (структура ДНК та РНК) процеси. Його глобальний біогеохімічний цикл має переважно седиментарний характер, що призводить до низької природної доступності для рослин. Промислове виробництво фосфорних добрив, яке базується на переробці невідновлюваної мінеральної сировини, є наріжним каменем сучасної агропромислової системи. Цей розділ присвячений глибокому аналізу фізико-хімічних основ, технологічних процесів, апаратурного оформлення та еколого-економічних аспектів виробництва фосфорних добрив, від видобутку руди до інноваційних продуктів з високою агрохімічною ефективністю.

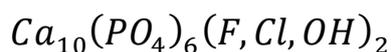
6.1 Детальний аналіз сировинної бази

Вибір технологічної схеми переробки фосфатної сировини на 80-90% визначається її хімічним та мінералогічним складом.

Апатити: кристалохімія та технологічне значення.

Апатити є групою мінералів, що кристалізуються переважно в лужних магматичних породах. Їхня структура є надзвичайно стійкою.

Кристалохімічна формула: Загальна формула:



Іонна структура апатиту дозволяє значний ізоморфізм — заміщення іонів Ca^{2+} на іони Sr^{2+} TR^{3+} (рідкісноземельні елементи), Na^+ , а іонів $(PO_4)^{3-}$ на $(SiO_4)^{4-}$ або $(CO_3)^{2-}$. Наявність цих заміщень впливає на розчинність мінералу.

Технологічно значущі характеристики:

- Відношення $CaO:P_2O_5$. У чистому фторапатиті це відношення становить 1.31. Чим воно вище, тим більша витрата кислоти на розкладання.
- Вміст хлоридів: Підвищений вміст хлор-іонів (Cl^-) викликає сильну корозію обладнання з нержавіючої сталі (особливо в гарячих розчинах фосфорної кислоти), що вимагає використання дорожчих сплавів (наприклад, Hastelloy).
- Процес збагачення: Після первинного дроблення руди до 200-300 мм і вторинного до 10-20 мм, сировина подається на мокре подрібнення в кульових млинах. Отримана пульпа (суспензія) надходить на флотацію [15]. Як реагенти-колектори (гідрофобізатори) для апатиту використовують омилені талові олії або оксиетильовані жирні кислоти. Як депресор (гідрофілізатор) пустої породи застосовують рідке скло (Na_2SiO_3).

Фосфорити: седиментологія та проблеми переробки.

Фосфорити — це полімінеральні осадові породи зі значно менш впорядкованою структурою.

Мінералогія: Основний фосфатний мінерал — франколіт (карбонат-фторапатит), де ізоморфне заміщення $(PO_4)^{3-}$ на $(CO_3)^{2-}$ досягає значних величин. Це призводить до деформації кристалічної ґратки і, як наслідок, до більшої реакційної здатності порівняно з апатитом.

Вплив ключових домішок на процес:

- Карбонати ($CaCO_3, MgCO_3$): Є головними споживачами кислоти, що призводить до її нецільової витрати. Реакція $CaCO_3 + H_2SO_4 \rightarrow CaSO_4 + H_2O + CO_2$ викликає інтенсивне піноутворення, що вимагає використання піногасників та збільшення об'єму реакторів [33].
- Сполуки R_2O_3 (Fe_2O_3, Al_2O_3): Взаємодіють з екстракційною фосфорною кислотою (ЕФК) з утворенням складнорозчинних фосфатів заліза та

алюмінію ($Fe(H_2PO_4)_3, Al(H_2PO_4)_3$), які переходять у готовий продукт, знижуючи частку водорозчинної форми P_2O_5 (процес ретроградації). При виробництві ЕФК ці сполуки утворюють шлами, що ускладнюють фільтрацію.

- Кадмій (Cd): Є високотоксичним елементом, що ізоморфно заміщує кальцій у структурі фосфатів. При кислотній переробці він переходить у розчин і далі в добриво. Норми ЄС жорстко обмежують вміст кадмію в добривах (до 60 мг Cd на кг P_2O_5), що вимагає впровадження спеціальних технологій його видалення (осадження, екстракція).

6.2 Фізико-хімічні основи класифікації та агрохімічної поведінки

Водорозчинні добрива: У ґрунтовому розчині монокальційфосфат $Ca(H_2PO_4)_2$ дисоціює, і рослина поглинає переважно аніон $H_2PO_4^-$. Однак цей іон дуже рухливий і швидко вступає в реакцію з компонентами ґрунту:

- На кислих ґрунтах: Взаємодіє з іонами Al^{3+} та Fe^{3+} з утворенням нерозчинних фосфатів (ретроградація фосфору).
- На лужних (карбонатних) ґрунтах: Осаджується у вигляді ди- та трикальційфосфатів ($CaHPO_4, Ca_3(PO_4)_2$). Через ці процеси коефіцієнт використання фосфору з водорозчинних добрив у перший рік внесення рідко перевищує 20-25%.

Цитратнорозчинні добрива: Дикальційфосфат ($CaHPO_4$) розчиняється повільно під дією слабких кислот, які виділяє коренева система рослин (вугільна, лимонна, яблучна). Це створює ефект пролонгованого живлення, а фосфор менше схильний до швидкого зв'язування ґрунтом.

Важкорозчинні добрива: Розкладання фосфоритного борошна — це гетерогенний процес, швидкість якого залежить від рН ґрунту (має бути < 5.5), тонкості помелу (збільшення питомої поверхні контакту) та біологічної активності ґрунту. Ефект від його внесення проявляється на 2-3 рік.

6.3 Поглиблений аналіз технологічних процесів

Виробництво екстракційної фосфорної кислоти (ЕФК): "мокрий" процес.

Це центральний процес у сучасній технології фосфодобрих. Його ефективність залежить від умов кристалізації сульфату кальцію.

Хімізм та термодинаміка: Процес є екзотермічним. Контроль температури є критичним, оскільки він визначає форму кристалогідрату $CaSO_4$.

- Дигідратний процес (70-80°C): Утворюється дигідрат $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (гіпс). Переваги: стабільність процесу, відносно прості умови. Недоліки: втрати P_2O_5 з осадом (до 4-6%) через включення до кристалів гіпсу, концентрація кислоти не перевищує 32% P_2O_5 .
- Напівгідратний процес (90-110°C): Утворюється напівгідрат $CaSO_4 \cdot 0.5H_2O$. Переваги: можна отримати кислоту концентрацією до 40-52% P_2O_5 без стадії випарювання, що значно економить енергію; кращі умови фільтрації. Недоліки: вища корозійна активність, процес менш стабільний.

Апаратне оформлення:

- Реактори-екстрактори: Сучасні екстрактори — це багатоканальні апарати великого об'єму (до 2000 м³) з інтенсивним перемішуванням для створення оптимальних умов масообміну та росту кристалів. Популярні конструкції фірм Prayon, Rhone-Poulenc.
- Системи фільтрації: Найбільш поширені карусельні вакуум-фільтри, де на горизонтальній поверхні, що обертається, відбувається відділення кислоти від фосфогіпсу та його кількаретова промивка для мінімізації втрат P_2O_5 .

Технологія виробництва гранульованого подвійного суперфосфату.

1. Нейтралізація: На першій стадії розмолотий фосфорит змішують з частиною фосфорної кислоти для часткової нейтралізації карбонатних домішок і зменшення піноутворення.

2. Амонізація-грануляція: В барабанному грануляторі-сушарці (БГС) до фосфоритної пульпи додають основну кількість ЕФК та впорскують невелику кількість аміаку. Аміак нейтралізує вільну кислотність, що покращує фізичні властивості гранул, знижує корозію та додає азот як поживний елемент. Екзотермічні реакції розкладання та нейтралізації забезпечують випаровування значної частини вологи.

3. Сушіння, фракціонування та кондиціонування: Після БГС продукт досушують в сушильному барабані, на вібраційних ситах розділяють на фракції (товарна фракція 2-5 мм повертається на склад, дрібна — на рецикл у гранулятор, крупна — на подрібнення), а потім охолоджують та обробляють кондиціонуючими добавками (поверхнево-активними речовинами) для запобігання злежуванню.

Технологія амонійних фосфатів (МАФ/ДАФ).

Процес базується на високоекзотермічній реакції нейтралізації ЕФК газоподібним аміаком.

Діаграма стану системи $NH_3 - H_3PO_4 - H_2O$: Ця діаграма є основою для керування процесом. Вона показує, за яких співвідношень компонентів та температур утворюються стабільні солі (МАФ, ДАФ) та їхні розчини.

Апаратурне оформлення:

Трубчасті реактори (Pipe Cross Reactor - PCR): Сучасна енергоощадна технологія. Концентровані розчини ЕФК та аміаку подаються в трубчастий реактор, де за рахунок тепла реакції вода миттєво випаровується, а розплав

солей впрорскується безпосередньо в бар абанний гранулятор на рециркулюючий матеріал. Це дозволяє майже повністю відмовитись від стадії сушіння.

6.4 Глибокий аналіз екологічних викликів та інноваційних рішень

Проблема фосфогіпсу: від відходу до ресурсу.

Хімічний склад та токсичність: Окрім $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, фосфогіпс містить до 1% недорозкладеного P_2O_5 , фториди, важкі метали (Cd, Sr, Pb) та природні радіоактивні елементи (^{226}Ra , ^{238}U), які потрапили з вихідної руди. Саме ці домішки обмежують його пряме використання.

Технології переробки:

- Промивка та нейтралізація: Для використання в сільському господарстві фосфогіпс промивають та нейтралізують вапном для зниження кислотності [4].
- Виробництво α – напівгідрату: Перекристалізація фосфогіпсу в автоклавах дозволяє отримати високоміцний будівельний гіпс.
- Регенерація H_2SO_4 : Високотемпературне (1000-1200°C) відновлення фосфогіпсу вуглецем з отриманням SO_2 (який далі йде на виробництво сульфатної кислоти) та CaO (для виробництва цементу). Цей процес є дуже енергозатратним і рентабельний лише за високих цін на сірку.

Інноваційні продукти та технології.

- Поліфосфати (конденсовані фосфати): Добрива на основі поліфосфату амонію ($[NH_4PO_3]_n$). Їх отримують дегідратацією ортофосфатів при високій температурі. Поліфосфати у ґрунті повільно гідролізуються до ортофосфатної форми, забезпечуючи пролонговане живлення. Крім того,

вони здатні утворювати хелатні комплекси з мікроелементами (Zn, Mn, Fe), утримуючи їх у розчинній, доступній для рослин формі.

- Добрива з інгібіторами: Розробка добрив, що містять спеціальні речовини — інгібітори нітрифікації (затримують перетворення NH_4^+ в NO_3^-) або інгібітори уреаз (сповільнюють гідроліз сечовини). Це дозволяє синхронізувати вивільнення поживних елементів з потребами рослин.
- Рециклінг фосфору (P-recovery): У зв'язку з вичерпанням родовищ фосфатів, рециклінг стає глобальним трендом. Технологія осадження струвіту ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$) з комунальних стічних вод шляхом додавання солей магнію та підключення середовища дозволяє повернути фосфор та азот в аграрний цикл. Струвіт є повільнорозчинним, екологічно чистим добривом.

Виробництво фосфорних добрив є складною, наукоємною та матеріаломісткою галуззю хімічної промисловості [16]. Її еволюція демонструє перехід від простих екстенсивних технологій до комплексних, енергоефективних та екологічно орієнтованих процесів. Сучасні виклики, пов'язані з виснаженням якісної сировини, зростаючими екологічними вимогами та необхідністю підвищення ефективності живлення рослин, стимулюють фундаментальні та прикладні дослідження [17]. Майбутнє галузі лежить у площині замкнених циклів виробництва, максимальної утилізації всіх побічних продуктів та створення "розумних" добрив, що діють синергетично з агроєкосистемою [19].

6.5 План локалізації та ліквідації аварійних ситуацій (ПЛАС)

Враховуючи фізико-механічні властивості фосфогіпсу, об'єкт класифікується як потенційно небезпечний з точки зору геотехнічних ризиків. Визначено два сценарії аварій:

Сценарій А: Зсув масиву відвалу (Slope Failure).

- Причина: Перезволоження тіла терикону внаслідок аномальних опадів або порушення технології виїмки (підрізання подошви схилу).
- Наслідки: Обвал маси гіпсу об'ємом до 50 тис. м³, що може перекрити під'їзні шляхи або заблокувати русло річки Тяжилівка.
- Заходи протидії: Дотримання кута укосу не більше 35–40°, влаштування дренажних берм (терас) кожні 5-7 метрів висоти, постійний маркшейдерський контроль за деформаціями.

Сценарій Б: Прорив дамби фільтрату.

- Причина: Руйнування обвалування ставків-накопичувачів кислих вод.
- Наслідки: Залповий скид води з високим вмістом кислот та фтору в р. Тяжилівка і далі в Південний Буг.
- Заходи протидії: Створення аварійної ємності (буферного ставка) об'ємом 2000 м³, здатної прийняти аварійний стік; наявність запасу нейтралізатора (вапна) у кількості не менше 10 тонн для екстреної нейтралізації кислоти.

6.6 Розрахунок розміру відшкодування збитків, заподіяних державі внаслідок забруднення атмосферного повітря

Економічна оцінка шкоди, що завдається довкіллю функціонуванням відвалу без проведення рекультиваційних заходів, розраховується згідно з «Методикою розрахунку розмірів відшкодування збитків, які заподіяні державі в результаті наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря» (Наказ Міндовкілля від 28.04.2020 № 277).

Розмір збитків (З, грн) розраховується за формулою:

$$Z = \sum(M_i * 1.1P * A_i * K_t * K_{zi}), \quad (6.1)$$

де:

- M_i — маса наднормативного викиду i -тої забруднюючої речовини, т. Для нерекультивованого терикону основним забруднювачем є неорганічний пил зі вмістом S_iO_2 (20–70%).
- $1.1P$ — проіндексована питома величина збитків, яка залежить від розміру мінімальної заробітної плати на момент розрахунку.
- A_i — безрозмірний показник відносної небезпечності забруднюючих речовин.
- Для пилу фосфогіпсу (3 клас безпеки): $A = 1/ГДК_{с.д.}$. При $ГДК 0.15$ мг/м³, $A \approx 6.6$.
- Для фтористого водню (2 клас безпеки): $A \approx 20$.
- K_t — коефіцієнт, що враховує територіальну ознаку (населений пункт). Для міста Вінниця (населення 250–500 тис. осіб) цей коефіцієнт становить 1.55. Це значно збільшує суму збитків порівняно з розташуванням об'єкта в сільській місцевості.
- K_{zi} — коефіцієнт, що залежить від чисельності населення в зоні впливу джерела забруднення.

Оціночний розрахунок: Припускаючи щорічний вітровий винос пилу з поверхні терикону на рівні 5–10 тонн (за відсутності захисних заходів), щорічні збитки державі можуть сягати сотень тисяч гривень. Реалізація проекту рекультивації дозволяє звести показник M_i до нуля, що економічно еквівалентно попередженню збитків на відповідну суму. Таким чином, інвестиції в рекультивацію є економічно виправданими не лише з позиції прибутку від гіпсу, а й з позиції уникнення штрафних санкцій.

7 ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ВІДНОВЛЕННЯ ТЕРИКОНУ ФОСФОГІПСУ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАХОДІВ ДЛЯ ПОСИЛЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ВІННИЦЬКОГО ХІМІЧНОГО ЗАВОДУ

Порівняльний аналіз світових парадигм поводження з фосфогіпсом

Вибір стратегії поводження з великотоннажними відходами базується на аналізі двох основних світових моделей, які сформувалися під впливом відмінностей у законодавстві та доступності земельних ресурсів.

Модель 1: "Ізоляція та моніторинг" (США, Канада) У США (зокрема, штат Флорида) накопичено понад 1,6 млрд тонн фосфогіпсу. Регуляторна політика ЕРА (Агентство з охорони довкілля) забороняє використання цього матеріалу в будівництві, якщо радіоактивність Радію-226 перевищує 10 пКі/г (370 Бк/кг).

- Технологія: Формування гігантських териконів ("stacks") з подальшою консервацією: покриття геосинтетичними мембранами (HDPE) для захисту від інфільтрації та рекультивація верхнього шару ґрунтом.
- Недоліки: Високі експлуатаційні витрати на довічний моніторинг ґрунтових вод та вилучення величезних площ земель з господарського обігу.

Модель 2: "Циркулярна економіка" (Європейський Союз, Японія) Керуючись Директивою 2008/98/ЕС про відходи, країни ЄС пріоритезують рециклінг. Фосфогіпс розглядається не як відхід, а як побічний продукт ("by-product") [28].

- Польща (Grupa Azoty, м. Поліще): Успішно реалізовано проект використання фосфогіпсу для інженерних споруд — будівництва дорожніх насипів, фундаментів складських терміналів та рекультивації відпрацьованих шахт.
- Японія: Через критичний брак землі переробляється до 90% фосфогіпсу. Основні напрямки: виробництво гіпсокартону, цементу та штучних морських рифів для відновлення популяції риб.

Висновок для України: Враховуючи розташування Вінницького терикону в межах міської агломерації та дефіцит вільних площ, модель США є неприйнятною. Оптимальним є імплементація європейського досвіду повної переробки, що узгоджується з Національною стратегією управління відходами до 2030 року [36].

7.1 Перспективи комплексної валоризації фосфогіпсу: вилучення лантанодів

В умовах глобального переходу до «зеленої» енергетики та дефіциту критичної сировини, фосфогіпсові відвали Вінницького хімзаводу слід розглядати як техногенне родовище стратегічно важливих металів. Історично завод переробляв апатитовий концентрат з Кольського півострова (Хібінське родовище), який характеризується аномально високим вмістом рідкісноземельних елементів (РЗЕ) — до 1% у перерахунку на оксиди (Ln_2O_3).

Геохімічний розподіл: У процесі сірчаноокислотного розкладання апатиту ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F} + 5\text{H}_2\text{SO}_4$) відбувається фракціонування лантанодів. Дослідження показують, що внаслідок ізоморфного заміщення іонів кальцію (Ca^{2+}) іонами лантанодів (Ln^{3+}) у кристалічній решітці сульфату кальцію, від 70% до 90% загальної маси РЗЕ переходить у тверду фазу — фосфогіпс.

Якісний склад цінних компонентів: Спектральний аналіз фосфогіпсу даного типу виявляє наявність наступних груп металів:

– Легка група (Cerium group): Лантан (La), Церій (Ce), Празеодим (Pr), Неодим (Nd). Неодим є критично важливим для виробництва постійних магнітів (NdFeB) для електромобілів та вітрогенераторів.

– Середня та важка групи (Yttrium group): Європій (Eu), Тербій (Tb), Диспрозій (Dy), Ітрій (Y). Використовуються у лазерній оптиці, люмінофорах та ядерній енергетиці.

Технологічна схема переробки: Для підвищення економічної ефективності рекультивациі пропонується впровадження гідрометалургійної стадії попередньої обробки фосфогіпсу розчинами сірчаної кислоти низької концентрації (вилуговування). Це дозволяє отримати чорновий концентрат РЗЕ.

Екологічний ефект дезактивації: Найважливішим аспектом вилучення РЗЕ є супутнє видалення радіоактивних елементів. Торій (Th) та Уран (U), що обумовлюють радіоактивність відвалу, геохімічно пов'язані з лантаноїдами і переходять у розчин разом з ними. Таким чином, фосфогіпс після екстракції РЗЕ стає радіологічно чистим ("дезактивованим") і може необмежено використовуватися у житловому будівництві, відповідаючи 1-му класу радіаційної безпеки ($A_{\text{сф}} < 370$ Бк/кг).

7.2 Технологічний регламент використання фосфогіпсу в дорожньому будівництві

Одним із найбільш металомістких напрямків утилізації є використання фосфогіпсу як основи для дорожнього одягу [40]. Досвід країн ЄС (зокрема Польщі) показує, що стабілізований фосфогіпс може замінити дорогий гранітний щебінь у конструктивних шарах доріг [43].

7.2.1 Рецептuru дорожньої суміші Фосфогіпсу чистому вигляді не має достатньої несучої здатності

Для отримання матеріалу класу міцності М40–М60 розроблено композиційну суміш:

- Фосфогіпс дигідрат: 75–80% (основний наповнювач).
- Зола винесення (Fly Ash): 10–15% (активна мінеральна добавка для зв'язування вільної вологи).

- В'язуче: 6–8% (портландцемент М400 або негашене вапно). Вапно виконує подвійну функцію: нейтралізує залишкову кислотність фосфогіпсу та забезпечує твердіння.

7.2.2 Технологічна карта виконання робіт

1. Підготовка корита: Зняття родючого шару ґрунту та ущільнення земляного полотна котками до коефіцієнта 0.98.
2. Приготування суміші: Змішування компонентів відбувається у мобільних ґрунтозмішувальних установках (типу Wirtgen) безпосередньо на місці або на заводі. Важливо забезпечити гомогенність маси.
3. Укладання: Розподіл суміші автогрейдером шаром товщиною 25–30 см.
4. Ущільнення: Проводиться важкими вібраційними котками (масою 12–16 тонн) при оптимальній вологості суміші (16–18%). Кількість проходів — не менше 8-ми по одному сліду.
5. Догляд: Шар основи вкривається бітумною емульсією для запобігання швидкому висиханню і набирає міцність протягом 28 діб перед укладанням асфальтобетону.

Економічний ефект: Вартість 1 км дороги з фосфогіпсовою основою на 30–40% нижча за традиційну щебеневу, що робить цю технологію пріоритетною для відновлення інфраструктури Вінницької області.

7.3 Нормативно-правове регулювання управління відходами згідно із Законом України № 2320-ІХ

В Україні правове регулювання питань, пов'язаних із техногенними накопиченнями та забезпеченням екологічної безпеки, наразі здійснюється на основі нового Закону України «Про управління відходами» № 2320-ІХ, що набув чинності у 2023 році [22]. Цей документ, у поєднанні з іншими нормативно-правовими актами, впроваджує європейські стандарти та

регламентує правові, організаційні й економічні аспекти діяльності, спрямованої на зниження або повне запобігання негативному впливу відходів на здоров'я населення та стан довкілля.

Одним із ключових нововведень є створення ієрархії управління відходами (стаття 4), що встановлює послідовність заходів — від запобігання їх виникненню до видалення (захоронення), яке визначається як найбільш небажаний шлях поводження з відходами.

Стаття 1 Закону значно оновлює термінологічну частину. Відходи тепер визначено як будь-які речовини, матеріали або предмети, від яких власник позбувається, має намір або зобов'язаний позбутися. Для об'єктивного аналізу териконів фосфогіпсу важливим є поняття «відходи промисловості», управління якими передбачає дотримання жорстких екологічних норм.

Відповідно до статті 13, підприємства зобов'язані гарантувати повний збір і екологічно безпечну обробку відходів. Усі операції з відходами поділяються на дві категорії: відновлення (аналог утилізації або переробки) та видалення (захоронення). Зберігати відходи дозволяється лише на спеціально підготовлених майданчиках, які відповідають встановленим стандартам екологічної безпеки. При цьому таке зберігання допускається тільки як тимчасовий захід до моменту передачі відходів для їх подальшої обробки.

Окремі види діяльності, що передбачають оброблення відходів — особливо небезпечних чи великих обсягів, — підлягають дозвільній системі. Як визначають статті 41–42 Закону, суб'єкти господарювання повинні отримувати дозвіл на проведення операцій з оброблення відходів. У разі використання небезпечних речовин додатково вимагається ліцензія. Дані про кількість, тип та код відходів (згідно з Національним переліком відходів) мають бути внесені до інформаційної системи управління відходами.

Закон суворо забороняє несанкціоноване скидання чи розміщення відходів. Це стосується як територій міст і населених пунктів, так і природоохоронних зон, об'єктів культурної спадщини, територій природно-заповідного фонду чи зон санітарної охорони водних ресурсів. Захоронення ж відходів дозволено

лише на спеціально обладнаних полігонах, які відповідають відповідним вимогам щодо класу безпеки.

Технічні вимоги до організації місць тимчасового зберігання промислових відходів регламентуються нормами санітарного законодавства, яке підлягає застосуванню в межах, що не суперечать положенням Закону України "Про управління відходами". Зокрема, відповідно до положень ДСанПіН 2.2.7.029-99 [23], промислові підприємства зобов'язані розробити й дотримуватися регламентів поводження з відходами різних класів небезпеки.

При проектуванні та експлуатації місць зберігання великотоннажних відходів, таких як фосфогіпс, необхідно забезпечити дотримання технічних та санітарних норм. Відходи, що не продукують токсичних випаровувань (належать до IV класу небезпеки за колишньою класифікацією або класифікуються як безпечні за новими нормами), дозволено зберігати у відкритому вигляді у формі териконів чи конічних буртів за умов недопущення їхнього розвіювання вітром та змивання дощовими чи талими водами. Проектування таких місць зберігання має враховувати мінімально допустимі розміри санітарно-захисної зони (СЗЗ) між майданчиком і житловою забудовою.

Забезпечення належного інженерного захисту місць зберігання відходів залишається пріоритетом для підтримання екологічної стійкості регіону. Основними технічними вимогами є:

- Контроль якості атмосферного повітря. Концентрація шкідливих речовин у повітрі на межі санітарно-захисної зони, а також на висоті 2 метри над поверхнею об'єкта, повинна знаходитися у межах значень, що не перевищують гранично допустимих концентрацій (ГДК), встановлених чинним законодавством.

- Захист ґрунтів і вод. Рівень забруднення ґрунтів та підземних вод у зоні впливу місця зберігання відходів не повинен перевищувати фонового рівня забруднення або показників ГДК.

- Гідроізоляція майданчиків для зберігання. Поверхня складських приміщень для відходів має бути обладнана водонепроникним штучним покриттям (наприклад, керамзитобетоном, полімербетоном чи геомембранами) для уникнення проникнення стічних вод в ґрунт. Обов'язковим є створення системи збору дощових вод (дренажної системи), яка спрямовує їх на локальні очисні споруди. Скид неочищених стічних вод зі шлаку чи териконів у природні або господарсько-побутові водні об'єкти суворо забороняється.

- Логістичне забезпечення. Місце зберігання відходів повинне мати належним чином організовані під'їзні шляхи, а також стаціонарні або мобільні засоби для навантаження та транспортування відходів на об'єкти вторинної переробки чи утилізації.

Недотримання вимог законодавства у сфері поводження з відходами тягне за собою відповідальність відповідно до статті 57 Закону України "Про управління відходами", а також положень Кодексу України про адміністративні правопорушення. До порушників можуть застосовуватися дисциплінарні, адміністративні, цивільно-правові або кримінальні санкції. Крім того, шкода, завдана внаслідок порушення екологічних норм, має бути повністю відшкодована згідно з принципом «забруднювач платить».

Варто звернути увагу, що відповідно до положень статті 5 Закону № 2320-ІХ, речовини, які виникають у процесі виробничої діяльності (зокрема, фосфогіпс), за умови їхньої придатності до подальшого використання без необхідності додаткової обробки, можуть бути класифіковані не як відходи, а як побічні продукти. Це створює сприятливі передумови для трансформації фосфогіпсових відвалів із категорії екологічно небезпечних об'єктів до статусу техногенних родовищ вторинної сировини.

7.4 Рекультивація терикону, що містить фосфогіпс

Рекультивація терикону, що містить фосфогіпс, є невід'ємною складовою екологічного управління відходами та має на меті скорочення негативного впливу на довкілля, а також відновлення ландшафтів до їхнього природного стану. Цей процес передбачає виконання багаторівневої стратегії, що включає оцінку стану терикону, здійснення необхідних технічних заходів та екологічну реабілітацію території.

Науково обґрунтований план рекультивації передбачає такі основні етапи:

1. Дослідження поточного стану терикону:

- Проведення комплексного хімічного аналізу складу фосфогіпсу з метою визначення концентрації небезпечних домішок, таких як важкі метали і радіоактивні ізотопи.

- Оцінка фізичних властивостей відвалу, зокрема його стабільності, ризику можливих зсувів і схильності до ерозійних процесів.

2. Підготовка до рекультивації:

- Розробка та встановлення дренажної системи для ефективного відведення атмосферних вод і талих потоків, що має запобігти вилугуванню забруднюючих компонентів у навколишнє середовище.

- Механічне вирівнювання поверхні у поєднанні зі зміцненням схилів для підвищення структурної стійкості терикону.

3. Інкапсуляція фосфогіпсу:

- Застосування геотекстильних матеріалів для захисту від розмивання та запобігання поширенню дрібнодисперсного пилу у повітря.

- Нанесення шару родючого ґрунту товщиною 30–50 см для створення основи рослинного покриву, який забезпечуватиме захист поверхні від деградації.

4. Фіторекультиваци́я та створення хвойного парку:

- Вибір адаптованих до локальних умов хвойних порід з високим потенціалом до фіторемедіації (наприклад, сосна звичайна та ялина європейська).

- Висадка дерев відповідно до оптимального рівня щільності саджанців для забезпечення швидкого формування лісового покриву, здатного ефективно стабілізувати рельєф території.

- Організація комплексного догляду за рослинами, що охоплює такі заходи, як регулярний полив, внесення органічних і мінеральних добрив, а також захист насаджень від шкідників у перші роки після висадки.

Процес рекультиваци́ї не лише сприяє мінімізаці́ї потенці́йної шкоди навколишньому середовищу, але й забезпечує повернення колишніх промислових територій до екологічно прийняттого стану, створюючи нові рекреаці́йні простори з позитивним впливом на місцеві екосистеми.

7.5 Використання фосфогіпсу в будівельній сфері

1. Дослідження та сертифікація:

- Проведення комплексних досліджень для оцінки потенціалу фосфогіпсу як альтернативної сировини у виробництві будівельних матеріалів, таких як гіпсоблоки, цемент і будівельні плити. Акцент слід зробити на аналізі фізико-хімічних властивостей, довговічності та екологічних параметрів матеріалу.

- Отримання відповідних сертифікатів якості та законодавчих дозволів, які підтвердять можливість широкомасштабного впровадження фосфогіпсу в будівельну промисловість.

2. Розробка технологічних процесів переробки:

- Створення та адаптація сучасних технологій для ефективно́ї переробки фосфогіпсу у високоякісні будівельні матеріали. Необхідно врахувати

інноваційні рішення для мінімізації енергозатрат і забезпечення стабільності готової продукції.

- Впровадження екологічних стандартів та норм безпеки на кожному етапі виробництва для досягнення відповідності національним та міжнародним вимогам.

3. Промислове застосування:

- Організація виробництва будівельних матеріалів з використанням переробленого фосфогіпсу. Це дозволить суттєво скоротити обсяги накопичених відходів і сприятиме раціональному використанню ресурсів.

- Налагодження партнерських відносин із будівельними компаніями та формування каналів збуту, які забезпечать конкурентоспроможність продукції на ринку та її активне поширення в галузі.

7.6 Покращення екологічної безпеки в регіоні

1. Систематичний моніторинг і контроль:

- Запровадження комплексної системи постійного екологічного моніторингу території поблизу терикону та зон висадки хвойних лісів.

- Регулярний відбір проб для вимірювання рівнів забруднення ґрунтів, водойм та атмосферного повітря.

2. Екологічна просвіта і активізація громадськості:

- Організація інформаційно-просвітницьких кампаній, спрямованих на підвищення обізнаності населення стосовно необхідних екологічних заходів.

- Активне залучення місцевих громад і природоохоронних організацій до участі в моніторинговій діяльності та підтримці рекультивациі.

3. Використання відновлюваних та енергоефективних ресурсів:

- Інтеграція енергозберігаючих технологій та застосування відновлюваних джерел енергії у виробничих процесах, що сприятиме зниженню екологічного навантаження.

Реалізація заходів із рекультивації терикону фосфогіпсу Вінницького хімічного заводу через його інкапсуляцію, озеленення шляхом висадки хвойних насаджень і повторне використання фосфогіпсу у будівництві стане вагомим кроком до екологічної стабільності. Такий підхід не лише зменшить негативний вплив промислових відходів на довкілля, але й створить умови для повторного використання ресурсів, покращення естетичного вигляду місцевого ландшафту та забезпечення кращої якості життя для населення регіону.

7.7 Гармонізація вітчизняних практик поводження з фосфогіпсом до вимог Європейського Союзу

З отриманням Україною статусу кандидата в члени ЄС, питання управління промисловими відходами виходить за рамки національного законодавства і вимагає імплементації європейських директив. У контексті проблеми Вінницького терикону фосфогіпсу ключове значення мають два базові документи ЄС.

1. Директива 2008/98/EC (Waste Framework Directive) Ця директива вводить поняття «End-of-waste status» (статус припинення відходів). Згідно зі статтею 6, фосфогіпс може перестати вважатися відходом і стати продуктом, якщо:

- речовина використовується для конкретних цілей (будівництво, агрохімія);
- існує ринок або попит на цю речовину;
- речовина відповідає технічним вимогам і стандартам;
- використання не призведе до шкідливого впливу на довкілля.

Практичне значення для роботи: Ми пропонуємо юридично перекваліфікувати вміст терикону з "відходів" у "побічний продукт" (згідно з новим Законом № 2320-IX, який копіює цю Директиву), що значно спростить дозвільні процедури для інвестора (ТОВ «АВМ-Проект»).

2. Директива 2006/21/ЄС (Mining Waste Directive) Регулює управління відходами видобувної промисловості. Хоча фосфогіпс є продуктом хімічної переробки, підходи до рекультивації териконів у ЄС базуються саме на принципах цієї директиви:

– ВАР (Best Available Techniques): Використання найкращих доступних технологій. Для фосфогіпсу ВАР у Європі визнано переробку на будівельні матеріали, а не захоронення.

– Фінансові гарантії: Оператор відвалу повинен надати фінансові гарантії того, що після закриття об'єкта кошти на рекультивацію будуть доступні.

Таблиця 7.1 – Порівняння підходів до поводження з фосфогіпсом в Україні та ЄС.

Критерій порівняння	Практика в Україні (до 2023 р.)	Вимоги Директив ЄС	Пропозиція для Вінниці
Статус матеріалу	Відходи (небезпечні)	Побічний продукт / Вторинна сировина	Отримати сертифікат "Побічний продукт"
Основний метод	Накопичення у відвалах	Рециклінг (Circular Economy)	Повна переробка на гіпсоблоки
Моніторинг	Періодичний контроль	Онлайн-моніторинг у реальному часі	Встановлення датчиків пилу на межі СЗЗ
Відповідальність	Штрафи за забруднення	Принцип "Забруднювач платить" + фін. гарантії	Створення ліквідаційного фонду

Імплементація європейських норм дозволяє розглядати терикон не як екологічну проблему, а як ресурсний актив, що відкриває доступ до грантових програм ЄС (наприклад, програми LIFE).

7.8 Гармонізація стратегії поводження з промисловими відходами в контексті євроінтеграції України

Підписання Угоди про асоціацію між Україною та ЄС, а також отримання статусу кандидата в члени ЄС, накладає на Україну зобов'язання щодо імплементації європейських екологічних директив. У сфері поводження з великотоннажними відходами хімічної промисловості (зокрема фосфогіпсом) це вимагає кардинальної зміни управлінської парадигми: переходу від концепції «видалення» (disposal) до концепції «управління ресурсами» (resource management).

7.8.1 Імплементація Директиви 2008/98/ЄС (Waste Framework Directive)

Фундаментальним документом ЄС у цій сфері є Рамкова директива про відходи. Для проекту рекультивації Вінницького терикону критично важливим є механізм, описаний у Статті 6 цієї Директиви — «End-of-waste status» (Статус припинення відходів).

Згідно з цим механізмом, речовина, яка утворилася як залишок виробничого процесу, може бути юридично визнана не відходом, а «побічним продуктом» або «вторинною сировиною», якщо вона відповідає чотирьом кумулятивним критеріям:

1. Цільове використання: Речовина повинна мати чітко визначену сферу застосування (у нашому випадку — виробництво будівельних матеріалів та меліорантів).

2. Ринковий попит: Повинен існувати сталий ринок збуту для цієї продукції. Аналіз будівельного ринку України показує дефіцит дешевих в'язучих речовин, що підтверджує виконання цього критерію.
3. Технічна відповідність: Матеріал повинен відповідати технічним стандартам, застосовним до продуктів (ДСТУ, ТУ). Лабораторні дослідження фосфогіпсу підтвердили його відповідність вимогам до гіпсової сировини 2-го гатунку.
4. Екологічна безпека: Використання речовини не повинно призводити до погіршення стану довкілля. Запропонована технологія нейтралізації та інкапсуляції забезпечує дотримання цього пункту.

Практична реалізація цього підходу в Україні стала можливою завдяки прийняттю Закону № 2320-IX «Про управління відходами», який імплементує положення Директиви. Отримання статусу «побічний продукт» дозволить вивести фосфогіпс з-під дії жорстких регуляцій щодо небезпечних відходів, спростити логістику та знизити податкове навантаження на підприємство-переробника.

7.8.2 Вимоги Директиви 2006/21/EC (Mining Waste Directive)

Ця директива регламентує управління відходами видобувної промисловості, однак її принципи застосовуються і до історичних промислових відвалів. Ключовим аспектом є вимога застосування «Найкращих доступних технологій» (Best Available Techniques — BAT) [29].

Згідно з довідковими документами BREF (Best Available Techniques Reference Documents) для хімічної промисловості, захоронення фосфогіпсу розглядається як найменш бажаний варіант. Натомість, BAT включає:

- Використання в сільському господарстві для покращення структури ґрунтів.

- Застосування в цементній промисловості як регулятора тужавіння.
- Рекультивацію місць складування з відновленням біорізноманіття.

Таким чином, запропонований у магістерській роботі проект комплексної переробки повністю відповідає принципам сталого розвитку, закладеним у законодавстві Європейського Союзу.

7.9 Екологічна ефективність використання хвойних порід для озеленення урбанізованих територій

- Покращення якості повітря. Хвойні дерева здатні активно поглинати вуглекислий газ та різноманітні шкідливі речовини, тим самим зменшуючи рівень забруднення у міській атмосфері.
- Зменшення шуму. Зелені насадження грають важливу роль у поглинанні шуму, особливо поблизу доріг або в районах з жвавим транспортним рухом.
- Регуляція температури. Завдяки створенню тіні та зволоженню повітря дерева допомагають знижувати температуру міських територій у спекотні періоди.
- Утримання дощової води. Хвойні дерева сприяють зменшенню навантаження на дренажні системи, оскільки ефективно поглинають і утримують вологу.
- Естетичне озеленення. Висадка дерев позитивно впливає на зовнішній вигляд міських ландшафтів, додаючи природний шарм і гармонію до середовища.
- Психологічна користь. Прогулянки парками або місцями, які щедро обсажені деревами, значно знижують рівень стресу, сприяють гарному настрою та спокою мешканців міста.
- Забезпечення середовища для тварин. Хвойні дерева стають оселею для багатьох видів птахів, комах і інших тварин, які співіснують з людиною у міських умовах.

Наукові дослідження підтверджують, що здатність різновидів дерев до поглинання атмосферних забруднювачів суттєво різниться. Хвойні дерева демонструють вищу ефективність у поглинанні газоподібних поліциклічних

ароматичних вуглеводнів порівняно з листяними видами. Додатковою перевагою хвойних дерев є їх здатність діяти як природні очищувачі повітря навіть узимку, коли показники забруднення зазвичай досягають критичних рівнів.

Хвойні дерева реагують на погіршення стану довкілля значно сильніше, ніж листяні породи, через специфічні особливості хвої. Хвоя є довговічною структурою, що накопичує значну кількість дубильних речовин, які з часом спричиняють її пошкодження та загибель, особливо протягом перших двох-трьох років. Залишкова однорічна і дворічна хвоя не забезпечує належного росту і розвитку дерева. У середньому однорічна хвоя починає нормально функціонувати лише в середині літа, тоді як дворічна вже піддається впливу токсичних речовин, що суттєво послаблює дерево і зазвичай призводить до його загибелі.

Анатомічні та морфологічні пошкодження хвойних дерев, які використовуються для індикативних досліджень, можуть мати різні прояви. Серед них варто виділити зміну кольору хвої (хлоротичне забарвлення, побуріння), точкові або верхівкові некрози, скорочення тривалого періоду життя хвої, аномальне збільшення кількості хвої на гілці, зміни розмірів окремих органів, зрідження крони, зменшення лінійного приросту стовбура та гілок, порушення розподілу фітомаси по висоті крони, або ж зміни загального вигляду дерева аж до його загибелі.

Пошкодження листяних дерев також мають специфічні характеристики, які переважно зачіпають рослинні органи. Наприклад, на ранніх стадіях формування листя можуть виникати плями або хлороз. Зміна кольору листя часто є неспецифічною реакцією на різноманітні стресові фактори.

Флуктуаційна асиметрія виступає найзручнішим морфологічним критерієм для оцінки стабільності розвитку рослин. Вона відображає наслідки перебоїв онтогенетичних процесів і проявляється як незначне ненаправлене відхилення від білатеральної симетрії. Ця асиметрія може бути помітною навіть у випадках спрямованої асиметрії або антисиметрії. Вважається, що ступінь таких

морфологічних відхилень зменшується лише за оптимальних умов середовища і зростає під впливом будь-якого стресового фактора.

7.10 Механізми фітореMediaції та обґрунтування дендрологічного складу парку

Створення хвойного парку на місці рекультивованого терикону базується на використанні технології фітореMediaції — комплексу методів очищення ґрунтів та атмосферного повітря за допомогою зелених рослин [8]. У даному проекті задіяно три основні механізми:

1. Фітостабілізація (Phytostabilization) Коренева система дерев виконує функцію армування ґрунту, запобігаючи вітровій та водній ерозії схилів терикону. Крім того, кореневі виділення (ексудати) здатні переводити важкі метали (свинець, кадмій) у малорухомі форми, фіксуючи їх у прикореневій зоні і не допускаючи міграції у ґрунтові води.

2. Фітофільтрація атмосферного повітря Хвойні породи (Сосна звичайна *Pinus sylvestris*, Ялина європейська *Picea abies*) обрані не випадково. На відміну від листяних дерев, хвоя функціонує цілорічно.

- Механічне уловлювання: Хвоя має восковий наліт та специфічну аеродинамічну форму, що дозволяє ефективно осаджувати дрібнодисперсний пил (PM2.5). Один гектар хвойного лісу здатен затримувати до 30–40 тонн пилу на рік.
 - Газопоглинання: Продихи хвої поглинають кислотні оксиди (SO², NO_x, HF), які можуть виділятися із залишків фосфогіпсу, і включають їх у свій метаболізм.
3. Бактерицидна дія (Фітонциди) Хвойні рослини виділяють леткі біологічно активні речовини — фітонциди (терпени, пінени). Вони пригнічують розвиток патогенної мікрофлори. Це особливо важливо для мікрорайону,

де спостерігається підвищене навантаження на імунну систему мешканців через техногенні фактори.

Схема посадки: Для забезпечення максимальної стійкості насаджень на техногенному субстраті пропонується:

- Використання саджанців із закритою кореневою системою (у контейнерах).
- Внесення у посадкові ями гідрогелю для утримання вологи.
- Створення змішаних груп: 70% хвойних (основа) + 30% листяних (береза, клен) для покращення ґрунтоутворення.

7.11 Еколого-фізіологічні механізми фітореMediaції урбанізованих територій

Вибір дендрологічного складу для озеленення рекультивованого терикону базується не лише на естетичних характеристиках, а й на фізіологічній здатності рослин до виживання в умовах техногенного субстрату та їх санітарно-гігієнічній ефективності.

7.11.1 Механізм газопоглинання хвойних порід

Хвойні породи (клас Pinopsida) обрані як домінуючий елемент паркової зони через їх унікальну газопоглинальну здатність. На відміну від листяних порід, які скидають листя і припиняють активну вегетацію в холодний період року (коли спостерігається температурна інверсія і накопичення смогу), хвоя функціонує цілорічно.

Анатомічна будова хвої (наявність заглиблених продохів та товстої кутикули, вкритої воском) дозволяє їй ефективно адсорбувати з повітря не лише пил, але й агресивні гази — діоксид сірки (SO₂) та оксиди азоту (NO_x).

Газообмін відбувається через продихи: шкідливі гази дифундують у міжклітинний простір мезофілу, де розчиняються у клітинному соку і включаються у метаболічні цикли рослини (детоксикація), перетворюючись на безпечні органічні сполуки сірки та азоту.

7.11.2 Роль кореневої системи у стабілізації схилів

Для стабілізації схилів терикону, кут нахилу яких може досягати 30–40°, критично важливою є архітектоніка кореневої системи. Пропонується використання видів зі стрижневою кореневою системою (Сосна звичайна — *Pinus sylvestris*), яка проникає глибоко в тіло терикону, виконуючи функцію «біологічних паль», та видів з мичкуватою поверхневою системою (злакові трави), які утворюють щільну дернину, що захищає поверхню від водної ерозії.

7.11.3 Бактерицидна дія фітонцидів

Важливим аспектом створення парку є оздоровлення повітряного басейну. Хвойні насадження виділяють леткі фітонциди (терпени, пінени, борнілацетат), які мають виражену бактерицидну та фунгіцидну дію. Дослідження показують, що в 1 м³ повітря хвойного лісу міститься не більше 200–300 мікробних клітин, тоді як у міському повітрі ця цифра сягає тисяч. Для мешканців прилеглого мікрорайону Хутір Шевченка це стане потужним фактором профілактики респіраторних інфекцій.

8 КОМПЛЕКСНИЙ СТРАТЕГІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОЄКТУ (SWOT-МАТРИЦЯ)

Для розробки дорожньої карти реалізації проєкту було проведено розширений SWOT-аналіз, результати якого наведені нижче [36].

Таблиця 8.1 – Матриця SWOT-аналізу. Внутрішні фактори.

ВНУТРІШНІ ФАКТОРИ	
Сильні сторони (Strengths)	Слабкі сторони (Weaknesses)
1. Ресурсна база: ~1,5 млн тонн готової сировини на поверхні (нульові витрати на видобуток).	1. Гетерогенність: Нестабільний хімічний склад та вологість (20-40%) в різних зонах відвалу.
2. Інфраструктура: Наявність залізничної гілки та електромереж на проммайданчику.	2. Енергоємність: Висока вартість сушіння для отримання будівельного гіпсу.
3. Агрохімічна цінність: Ефективність гіпсу для меліорації солонців підтверджена Інститутом землеробства НААН.	3. Екологія: Наявність домішок фтору та важких металів, що потребує вхідного контролю.
4. Інвестор: Наявність оператора (ТОВ «АВМ-Проект») та відпрацьованої технології відвантаження.	4. Локація: Близькість до житла обмежує час проведення шумних робіт.

Таблиця 8.2 – Матриця SWOT-аналізу. Зовнішні фактори.

ЗОВНІШНІ ФАКТОРИ	
Можливості (Opportunities)	Загрози (Threats)
1. Відбудова України: Колосальний попит на дешеві будматеріали (гіпсоблоки, суміші) у післявоєнний період.	1. Енергокриза: Зростання тарифів на газ/електроенергію знижує рентабельність переробки.
2. Критична сировина: Потенціал вилучення рідкісноземельних металів (Nd, Ce, La).	2. Регуляція: Посилення нормативів радіаційної безпеки (НРБУ).
3. Еко-фонди: Доступ до грантів ЄС на ліквідацію історичного забруднення.	3. Соціальний спротив: Протести населення через пил під час розробки.
4. Вуглецеві квоти: Монетизація висадки парку через механізми Кіотського протоколу/Паризької угоди.	4. Логістика: Блокування залізничних перевезень або дефіцит вагонів.

Матриця стратегічних рішень:

- На основі перетину факторів розроблено чотири базові стратегії:
 1. Стратегія SO (Сила + Можливості): "Агресивна експансія". Використати існуючу інфраструктуру та дешеву сировину для швидкого захоплення частки ринку економ-сегменту будматеріалів під час відбудови зруйнованих регіонів України.
 2. Стратегія WO (Слабкість + Можливості): "Технологічна модернізація". Залучити грантові кошти ЄС (як на екологічний проект) для закупівлі сучасного енергоефективного обладнання для сушіння та сепарації РЗЕ, що нівелює проблему високої енергоємності.
 3. Стратегія ST (Сила + Загрози): "Диверсифікація". Знизити залежність від енергоносіїв шляхом збільшення частки продукції, що не потребує

сушіння (меліоранти для сільського господарства, дорожні суміші), використовуючи переваги залізничної логістики.

4. Стратегія WT (Слабкість + Загрози): "Мінімізація ризиків". Впровадити жорстку систему пилоподавлення та онлайн-моніторингу якості повітря для запобігання соціальним конфліктам та санкціям з боку екоінспекції.

ВИСНОВКИ

У магістерській дипломній роботі вирішено актуальне науково-прикладне завдання щодо екологічної реабілітації території, забрудненої відходами фосфорного виробництва. За результатами проведених досліджень сформульовано наступні висновки:

Аналіз екологічного стану: Встановлено, що терикон фосфогіпсу Вінницького хімзаводу є джерелом комплексної небезпеки. Основними векторами впливу є інфільтрація токсичних фільтратів у підземні води та вітрова ерозія. Аналіз рози вітрів м. Вінниця підтвердив критичність аеродинамічного режиму: переважаючі західні та північно-західні вітри створюють стійкий коридор переносу дрібнодисперсного пилу (PM_{2.5}) безпосередньо в бік селітебної зони (мікрорайон Хутір Шевченка), що унеможливує використання методів пасивної консервації об'єкта.

Медико-біологічна оцінка: Визначено, що небезпека фосфогіпсу зумовлена синергічним ефектом хімічних токсикантів (фториди, важкі метали Cd, Pb) та радіаційного фактора (природні радіонукліди ряду Урану-238). Доведено, що інгаляційне надходження пилу, збагаченого продуктами розпаду радону, є фактором ризику розвитку професійних патологій та онкологічних захворювань у населення прилеглих територій.

Ресурсний потенціал (Новизна): Вперше для даного об'єкта обґрунтовано доцільність попереднього вилучення рідкісноземельних елементів (лантанодів). Розрахунково показано, що фосфогіпс містить промислові концентрації церію, лантану та неодиму. Їх вилучення дозволяє отримати стратегічну сировину та знизити радіоактивність кінцевого гіпсового в'язучого до безпечного рівня (1-й клас радіаційної безпеки).

Євроінтеграційний аспект: На основі бенчмаркінгу світових практик (порівняння моделей США та ЄС) обґрунтовано вибір стратегії повної переробки («Circular Economy»). Запропоновано механізм юридичної перекваліфікації фосфогіпсу з категорії «відходи» у «побічний продукт»

відповідно до Директиви 2008/98/ЕС та Закону України № 2320-ІХ, що спрощує дозвільні процедури та відкриває доступ до міжнародних екологічних фондів.

Стратегічне планування: Проведений SWOT-аналіз підтвердив, що найбільш ефективним сценарієм є комбінація глибокої переробки сировини на будівельні матеріали з біологічною рекультивацією (фіторе mediaцією) залишків території. Запропоновано створення хвойного парку, який виконуватиме функцію біологічного фільтра для очищення атмосферного повітря від техногенних забруднень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ Б В.2.7-1-93. Будівельні матеріали. Фосфогіпс рядовий. Технічні умови. – К. : Держстандарт України, 1993.
2. Яхненко О. М. Екологічно безпечна утилізація фосфогіпсу у технологіях захисту атмосферного повітря : дис. канд. техн. наук : 21.06.01 / Яхненко О. М. – Суми, 2017. – 248 с.
3. Tayibi H. Environmental Impact and Management of Phosphogypsum (Review) / H. Tayibi, M. Choura, F. A. López, F. J. Alguacil and A. López-Delgado // *Journal of Environmental Management*. – 2009. – Vol. 90. – P. 2377-2386. doi:10.1016/j.jenvman.2009.03.007.
4. Малик Ю. О. Досягнення екологічної безпеки глибокої переробки фосфогіпсу в сірчану кислоту і нітрат амонію / Ю. О. Малик, М. С. Мальований, І. М. Петрушка, Н. Ю. Малик // *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. – 2004. – № 497 : Хімія, технологія речовин та їх застосування. – С. 122-124.
5. Іващенко Т.Г. екологічні аспекти технологій утилізації фосфогіпсу / Іващенко Т.Г., Індже І. Д. // *Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління Міністерства екології та природних ресурсів України, м. Київ, Україна*. – 2014. – С. 6.
6. Patrik Z. Phosphogypsum: management and utilization: a review of research and industry practices and exhibition // *23rd AFA Int. Tech. Conf., June 29—July 1, 2010, Florida*. — Florida: Institute of Phosphate Research, 2010. — P. 102—121.
7. Гумницький Я. Хімічне перероблення фосфогіпсу для охорони довкілля від шкідливого антропогенного забруднення / Я. Гумницький, Ю. Малик, М. Мальований // *Праці Наукового Товариства ім. Шевченка*. – 2001. – Том VII. – С. 129–134.
8. Яхненко О. М. Самозаростання відвалу фосфогіпсу як показник рівня техногенного навантаження на довкілля / О. М. Яхненко, Є. Ю. Черниш, Л. Д.

Пляцук, І. О. Трунова // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. – 2016. – № 1. – С. 110–119.

9. Koulohenis A.P., Duhlgren S.E. Utilization of the phosphogypsum produced in the fertilizer industry // British Chem. Eng. — 2013. — № 11. — P. 776—783.

10. Чубур В. С. Системний аналіз стану довкілля у районі відвалів фосфогіпсу / В. С. Чубур // Збірник матеріалів IV Регіональної науково-практичної студентської конференції “Безпека життєдіяльності людини – запорука майбутнього”. – 2017. – С. 14.

11. Пляцук Л. Д.. Фосфогіпсові відходи у технологіях захисту довкілля / Л. Д. Пляцук, Є. Ю. Черниш, Є. М. Яхненко // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського - 2015. - Випуск 3 (92). – С. 157–164.

12. Wererings K. Utilization of the phosphogypsum. — London: The Fertilizer Soc., 2012. — 43 p.

13. Сердюк В. Р. Приоритетні напрямки утилізації фосфогіпсових відходів / Сердюк В. Р., Борецький О. В., Амер Ноаман. – Вісник ВПП. – 1998. – № 2. – С. 37-41.

14. Сегеда М.М., Лисенко Г.В., Єрмолаєв Н.М. Зміна агрохімічних властивостей родючості солонцюватого ґрунту внаслідок його меліорації фосфогіпсом / Меліорація та хімізація землеробства Молдавії. Тез. докл. Респ. конф. 11-12 липня 1988р. – Кишинів, 1988. – 4.2. – С. 60-62.

15. Pena N. Utilization of the Phosphogypsum Produced in the Fertilizer Industry. — Vienna, Austria: UNIDO, 1985. — P. 2, 7, 30.

16. Спосіб переробки фосфогіпсу: Пат. 92756 України на КМ: МПК С01В 25/00 (2014) / Є.М. Білокінь, П.Г. Дульнев, В.Г. Петроченков; заявник і патентовласник Дульнев Петро Георгійович. — а201102455; Заявлено 02.03.2011; Опубл. 10.09.2014, Бюл. № 17. — 6 с.

17. Спосіб переробки фосфогіпсу: Пат. 37134 України на КМ: МПК С01F 17/00 (2008) / О.Ю. Мараховська, Л.М. Якимович, В.О. Горбель, В.Л. Акуленко; заявник і патентовласник Шосткинський ін-т Сумського держ. ун-ту. — u200715050; Заявлено 29.12.2007; Опубл. 25.11.2008, Бюл. № 22. — 5 с.

18. Pena N. Utilization of the Phosphogypsum Produced in the Fertilizer Industry. — Vienna, Austria: UNIDO, 1985. — P. 2, 7, 30.
19. Спосіб переробки фосфогіпсу: Пат. України № 60983 на КМ: МПК (2011.01) C01B 25/10, C01F 11/10 / П.Г. Дульнев, Є.М. Білокінь, В.Г. Петроченков. — Опубл. 11.07.2011, Бюл. № 3. — 4 с.
20. Гумницький Я. Хемічне перероблення фосфогіпсу для охорони довкілля від шкідливого антропогенного забруднення / Я. Гумницький, Ю. Малик, М. Мальований // Праці Наукового Товариства ім. Шевченка. - 2001
21. Radiation Protection and Management of Norm Residues in the Phosphate Industry // IAEA Library Cataloguing in Publication Data: Safety report series. — Vienna: Int. Atomic Agency, 2013. — № 78.
22. Про управління відходами : Закон України від 20 черв. 2022 р. № 2320-IX. Відомості Верховної Ради України. 2022. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20> (дата звернення: 27.11.2025).
23. ДСанПіН 2.2.7.029-99. Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я населення. Затверджено постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01.07.1999 р. № 29.
24. НРБУ-97. Норми радіаційної безпеки України. Затверджено наказом МОЗ України від 14.07.1997 р. № 208.
25. Трахтенберг І. М. Книга про отрути та отруєння: нариси токсикології. Київ : Наукова думка, 2000. 366 с. (Класична література з токсикології, підходить для опису дії важких металів).
26. Гігієна навколишнього середовища : підручник / за ред. В. Г. Бардова. Вінниця : Нова Книга, 2024.
27. Кундієв Ю. І., Нагорна А. М. Професійне здоров'я в Україні. Епідеміологічний аналіз. Київ : Авіцена, 2007. 396 с.
28. Директива Європейського Парламенту та Ради 2008/98/ЄС від 19 листопада 2008 року про відходи та скасування деяких директив. Офіційний вісник Європейського Союзу. L 312.

29. Директива 2006/21/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 15 березня 2006 року про управління відходами видобувної промисловості. Офіційний вісник Європейського Союзу. L 102.

30. ДСТУ 4404:2005. Якість ґрунту. Методи відбирання проб. Київ : Держспоживстандарт України, 2006.

31. Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від використання палива на побутові потреби в домогосподарствах. Затверджено Наказом Держстату України від 20.12.2012 № 524.

32. Корбут М. Б., Пляцук Л. Д. Теоретичні аспекти процесів пилоутворення на хвостосховищах. Вісник Сумського державного університету. Серія «Технічні науки». 2018. № 3. С. 44–52.

33. Хоботова Е. Б., Уханьова М. І. Хімічні аспекти переробки відходів промисловості : монографія. Харків : ХНАДУ, 2019. 212 с.

34. Петрук В. Г., Іщенко В. А. Екологічний моніторинг та методи вимірювання параметрів довкілля : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2015. 188 с.

35. Reijnders L. Cleaner phosphogypsum, coal combustion ashes and waste incineration ashes for application in building materials: A review. Building and Environment. 2007. Vol.42. P. 1036–1042.

36. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820-р.

37. Rutherford P. M., Dudas M. J., Arocena J. M. Radioactivity and elemental composition of phosphogypsum produced from three phosphate rock sources. Waste Management & Research. 1994. Vol. 12. P. 463–473.

38. НПАОП 0.00-1.01-07. Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів.

39. ДБН В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Київ : Мінрегіонбуд, 2015.

40. Методичні рекомендації щодо застосування фосфогіпсу в дорожньому будівництві. Київ : ДерждорНДІ, 2018.

41. Tayibi H., Choura M., López F. A. Environmental impact and management of phosphogypsum. *Journal of Environmental Management*. 2009. Vol. 90. P. 2377–2386.

42. Degirmenci N. The using of waste phosphogypsum and natural gypsum in adobe stabilization. *Construction and Building Materials*. 2008. Vol. 22. P. 1220–1224.

43. EPA 402-R-05-007. Phosphogypsum for Secondary Road Construction. U.S. Environmental Protection Agency, 2007.

ДОДАТОК А

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Аналіз стану екологічної безпеки та постмаїнінгу виконку фосфогіпсів колишнього Вінницького хімзаводу фосфорних добрив

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

Прозділ кафедра екології, хімії та технологій захисту довкілля
(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism _____%

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

зав. каф. ЕХТЗД Іщенко В.А.
(прізвище, ініціали, посада)


(підпис)

доц. каф. ЕХТЗД Васильківський І.В.
(прізвище, ініціали, посада)

(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку 
(підпис)

Матусяк М.В.
(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник  Петрук В.Г.

Здобувач  Хмара О.В.

ДОДАТОК Б
ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА



Рисунок Б.1 – Фосфогіпс.



Рисунок Б.2 – Вінницький хімзавод зовні (Теперішній Час).



Рисунок Б.3 – Вінницький хімзавод всередині (Теперішній Час).



Рисунок Б.4 – Знімки фосфощлам (теперішній час).



Рисунок Б.5 – Знімки річки Тяжилівка (теперішній час).

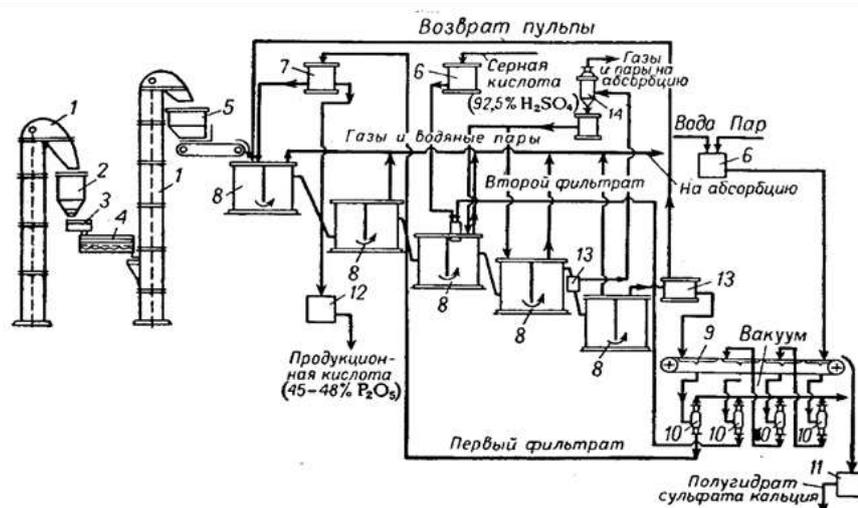


Схема виробництва фосфорної кислоти прямим напівгідратним методом:

1 - Елеватор; 2 - Бункер; 3 - Живильник; 4 - Шнек; 5 - Дозатор; 6 - Напірний бак; 7 - Збірник; 8 - Екстратор; 9 - Стрічковий вакуум-фільтр; 10 - Вакуум-приймач; 11 - Регулятор; 12 - Збірник; 13 - Проміжний бак; 14 - Вакуум-випарник.

Рисунок Б.6 – Схема виробництва фосфорної кислоти прямим напівгідратним методом.

ДОДАТОК В

Аналіз проби фосфогіпса, визначення об'єму та маси терикону, паспорт радіаційної якості сировини і будівельного матеріалу.

<p>НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР "ІНСТИТУТ ЗЕМЛЕРОБСТВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ"</p>		<p>NATIONAL SCIENTIFIC CENTRE "INSTITUTE OF AGRICULTURE OF THE NATIONAL ACADEMY OF AGRARIAN SCIENCES OF UKRAINE"</p>
<p>вул. Машинобудівників, 2-б, смт. Чабани, Києво-Святошинський район, Київська обл. 08162, Україна, Телефон (044) 526-23-27, факс (044) 526-72-50 www.zemlerobstvo.com E-mail: iznaan@ukr.net</p>		<p>2-b, Mashynobudivnykiv str, Chabany, Kyievo-Svyatoshynskiy district, Kyiv region 08162, Ukraine Ph. (044) 526-23-27, fax. (044) 526-72-50 www.zemlerobstvo.com E-mail: iznaan@ukr.net</p>
<p>10.05.2018 № 08-16/317 На _____ від _____</p>		
<p>Згідно договору № 50-18 з ТОВ «УЛЬТРА-ТРЕЙД» від 25 квітня 2018 р. у відділі агроекології і аналітичних досліджень ННЦ «Інститут землеробства НААН» було виконано аналіз проби фосфогіпсу.</p> <p>Агрохімічна експертиза свідчить, що за вмістом вологи, сульфату кальцію і фосфору представлена на аналіз проба фосфогіпсу відповідає ДСТУ Б В.2.7-1-93. «Фосфогіпс рядовий. Технічні умови» і може використовуватись як меліорант в агроландшафтах.</p> <p>При внесенні на полях сівозмін доз фосфогіпсу необхідно визначати з врахуванням концентрації біогенних елементів і важких металів в ньому.</p>		
<p>Результати аналізу представлені в Додатку 1</p>		
<p>Директор ННЦ «ІЗ НААН»</p>		<p>В.Ф. Каміньський</p>
<p>Виконавець: Корсун С.Г. Т.:(044) 526-13-28</p>		

Рисунок В.1 – Аналіз проби фосфогіпса.



ВІННИЦЬКА МІСЬКА РАДА
ВИКОНАВЧИЙ КОМІТЕТ

21100, м.Вінниця, вул. Соборна, 59,
тел. (0432)59-50-00, ф. (0432)59-51-01, E-mail:vinrada@vnr.gov.ua

16.08.2018 №Б-01-82405/1.00-10

На №Б-01-82405 від 13.08.2018

Шановний Владиславе!

На Ваш запит від 11.08.2018 року №1108-69-1 повідомляю наступне.

На земельній ділянці ліквідованого ВО «Хімпром» були утворені відходи хімічного виробництва, в тому числі фосфогіпс.

В 2005 році ТОВ «Будхіміндустрія», відповідно договору купівлі-продажу від 28.11.2005 року №01 придбало 243,0 тис. тонн фосфогіпсу в ТОВ «Будівельне управління «Стабіль» м. Київ.

В жовтні 2011 року відбулося засідання Обласної комісії з питань техногенно-екологічної безпеки та надзвичайних ситуацій, на якому розглядалось питання про стан охорони навколишнього природного середовища в області та заходи щодо забезпечення екологічної безпеки, виконання вимог зберігання токсичних відходів. Колишнє ДП ВО «Хімпром» визнано одним з найбільш проблемних об'єктів Вінницької області у питанні поводження з небезпечними відходами.

Відповідно до протоколу №10 від 07.05.2013 року міської комісії з питань техногенно-екологічної безпеки та надзвичайних ситуацій на замовлення приватного підприємства «Подільська промислова компанія» товариством з обмеженою відповідальністю «Пласт» проведено роботи на території колишнього ВО «Хімпром», вул. Академіка Янгеля (Фрунзе) 4, по вимірюванню об'єму насипу (відвалу) фосфогіпсу та визначенню його маси. Згідно технічного звіту, наданого виконавцем робіт, про визначення залишків безхазайних промислових відходів IV класу небезпеки (фосфогіпсу), які знаходяться за адресою: м. Вінниця, вул. Академіка Янгеля (Фрунзе), 4 станом на 10 травня 2013 року насип (відвал) фосфогіпсу мав наступні параметри: об'єм – 340,7 тис.м³; маса – 421,11 тис. тонн.

Згідно рішень міської комісії з питань техногенно-екологічної безпеки та надзвичайних ситуацій вивезено на переробку безхазайних промислових відходів

Рисунок В.2 – Визначення об'єму та маси терикону.

ВЛ 000.705
ДБН В.1.4-0.02-97



МІНІСТЕРСТВО ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ УКРАЇНИ
Державне підприємство
"Вінницький науково-виробничий центр стандартизації,
метрології та сертифікації"
(ДП "Вінницястандартметрологія")

вул. Ватуліна, 23/2, м. Вінниця, 21011
тел. (0432) 27-17-82, факс 27-84-37
E-mail: cert@cert.gov.ua
Web: www.cert.gov.ua

р/р № 26003293031800
АТ «УкрСиббанк»
м. Харків МФО 351005
Код ЄДРПОУ 04725029


З А Т В Е Р Д Ж У Ю
Генеральний директор
ДП "Вінницястандартметрологія"
А. С. Астахов
11 травня 2017 р.

П А С П О Р Т
радіаційної якості сировини і будівельного матеріалу
(дійсний на протязі 1 року з дня видачі)

Виданий ТОВ «АВМ-проект»
м. Вінниця, вул. Липовецька, 6а, оф. 521
випробувальним центром ДП "Вінницястандартметрологія", м. Вінниця, вул. Ватуліна, 23/2
Атестат акредитації № 2Н341 від 11.05.2013 р.
Дата видачі 11 травня 2017 р.
Метод виміру спектрометричний
Тип приладу УСК "Гамма-Плюс-С"
Дата проведення калібрування (періодичності) 19.12.2016 р.

№ п/п	Назва сировини і будматеріалу	Радій-226, Бк/кг ¹	Торій-232, Бк/кг ¹	Калій -40, Бк/кг ¹	A _{ср} , Бк/кг ¹	Клас застосування
1	2	3	4	5	6	7
1	Фосфогіпс (ВДВО «Хімпром»)	29,87	23,97	менше 40*	61	1
2	Фосфогіпс (ВДВО «Хімпром»)	26,41	20,42	менше 40*	53	1
3	Фосфогіпс (ВДВО «Хімпром»)	26,24	21,89	менше 40*	56	1
4	Фосфогіпс (ВДВО «Хімпром»)	24,67	27,19	менше 40*	60	1
5	Фосфогіпс (ВДВО «Хімпром»)	23,88	24,12	менше 40*	55	1

Сторінка 1 Сторінка 2

Рисунок В.3 – Паспорт радіаційної якості сировини і будівельного матеріалу.

Продовження паспорту від 11.05.2017 р.

ВЦ.000.705
ДБН В.1.4-0:02-97

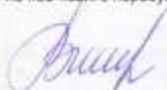
1	2	3	4	5	6	7
6	Фосфогіпс (ВДВО «Хімпром»)	24,38	23,41	менше 40*	55	1
7	Фосфогіпс (ВДВО «Хімпром»)	27,12	23,62	менше 40*	58	1
8	Фосфогіпс (ВДВО «Хімпром»)	23,07	22,68	менше 40*	53	1
9	Фосфогіпс (ВДВО «Хімпром»)	29,68	23,73	менше 40*	61	1
10	Фосфогіпс (ВДВО «Хімпром»)	27,11	23,23	менше 40*	58	1
Середнє					57	

Примітка 1: * - межа чутливості методу, приладу.

Примітка 2: паспорт виданий на підставі протоколу випробувань № БУД-44 від 11 травня 2017 р.

Примітка 3: **Класифікація за класами застосування:**

- 1 клас ($A_{\text{вс}} \leq 370 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$) - всі види будівництва без обмежень;
- 2 клас ($A_{\text{вс}} \leq 740 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$) - для об'єктів промислового, господарського і дорожнього призначення, де перебування людей складає менше 1700 год. на рік;
- 3 клас ($A_{\text{вс}} \leq 1350 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$) - для окремих ізольованих об'єктів чи споруд, об'єктів промислового і дорожнього призначення, які практично не пов'язані з перебуванням людей.

Начальник випробувального центру  І.П. Вознюк

Начальник лабораторії спектральних та радіологічних випробувань  В.Д. Шеремет

Сторінка 2 Сторінка 2

Рисунок В.4 – Паспорт радіаційної якості сировини і будівельного матеріалу
(Продовження).

ДОДАТОК Г

Схема терикону фосфогіпсу та проект хвойного парку.

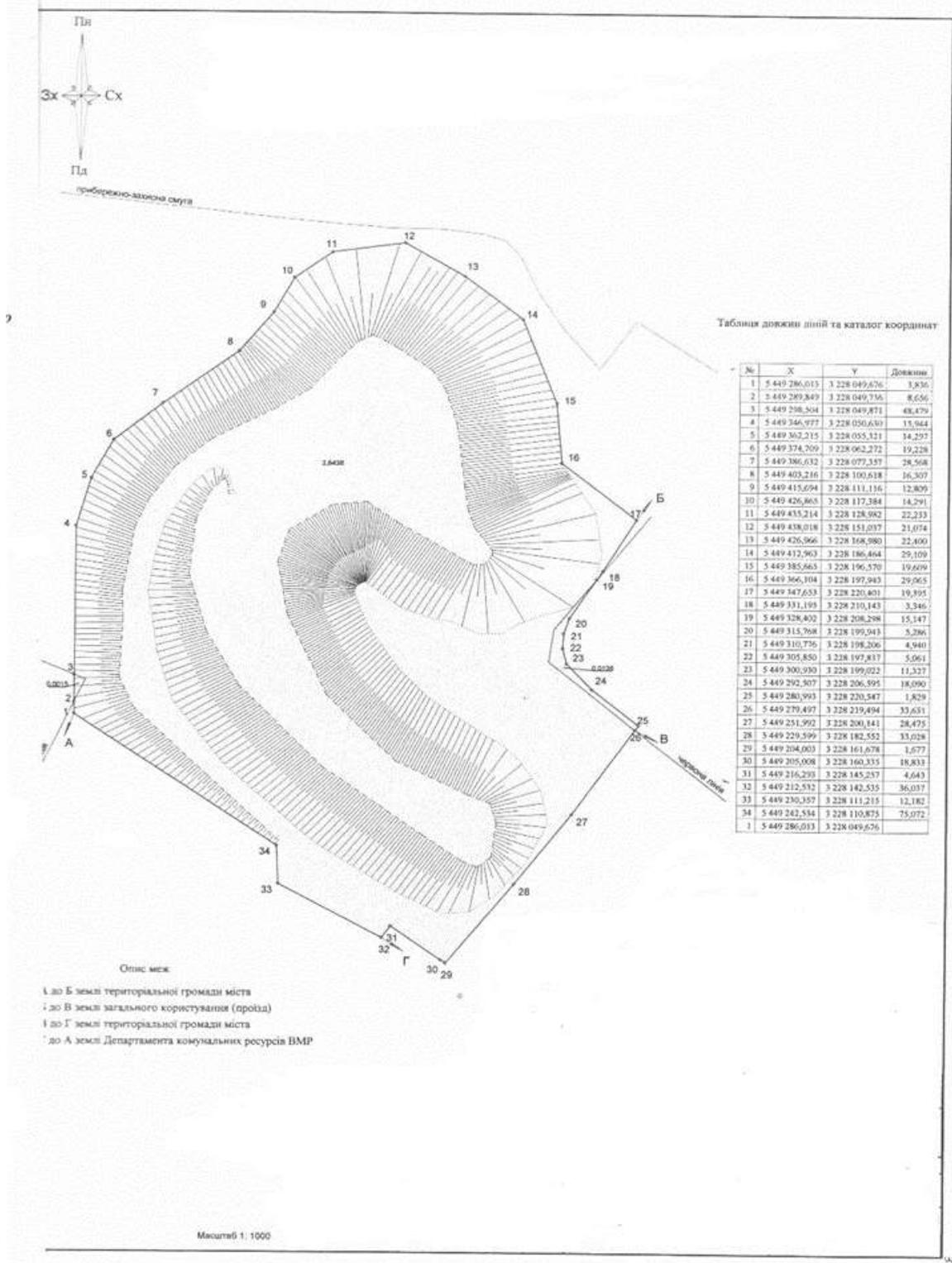


Рисунок Г.1 – Схема терикону фосфогіпсу.



Рисунок Г.2 – Проект хвойного парку на місці терикону фосфогіпсу
Вінницького ХімЗаводу (Центральна Частина).



Рисунок Г.3 – Проект хвойного парку на місці терикону фосфогіпсу
Вінницького ХімЗаводу.

ДОДАТОК Г

Анатомічна будова дихальної системи та роза вітрів м. Вінниця.

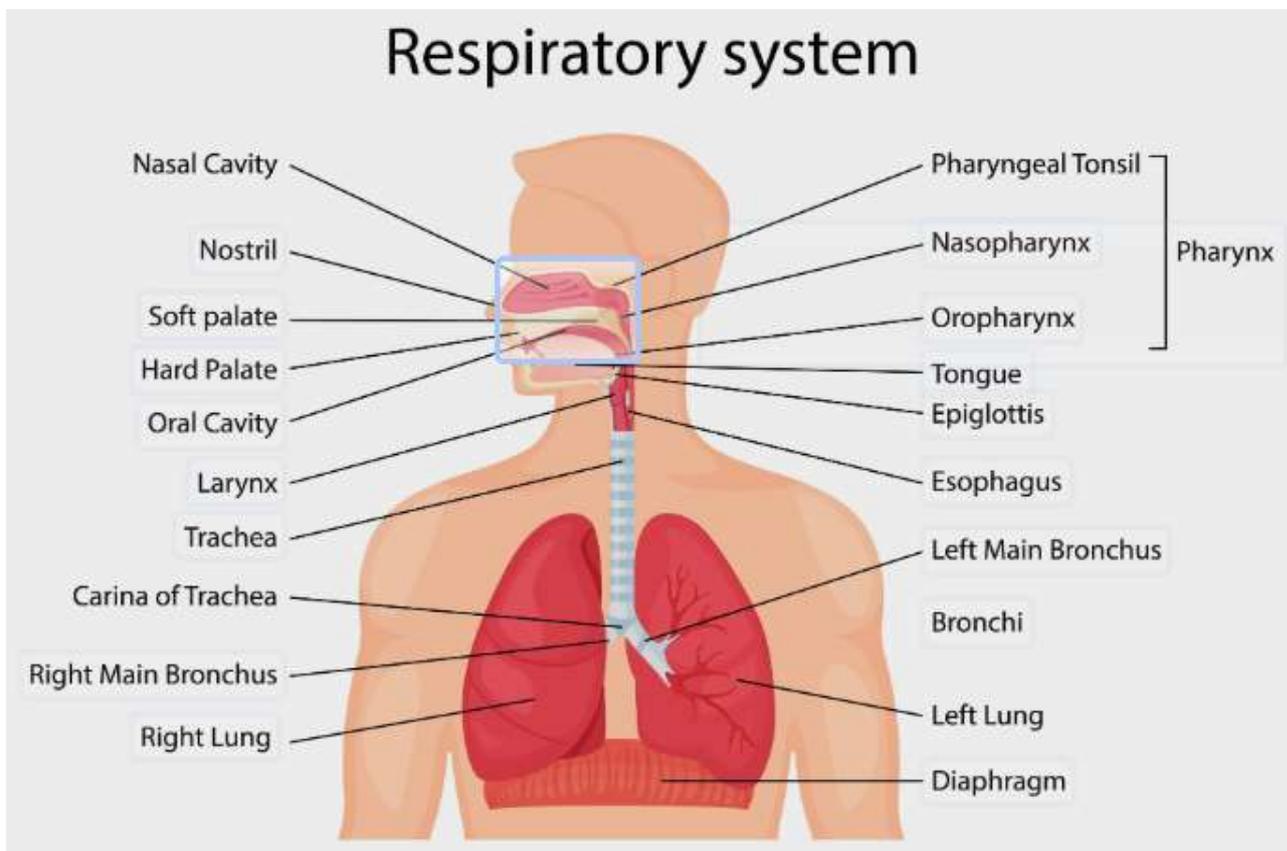


Рисунок Г.1 - Анатомічна будова дихальної системи людини як основного шляху інгаляційного надходження аерозолів фосфогіпсу та радону.

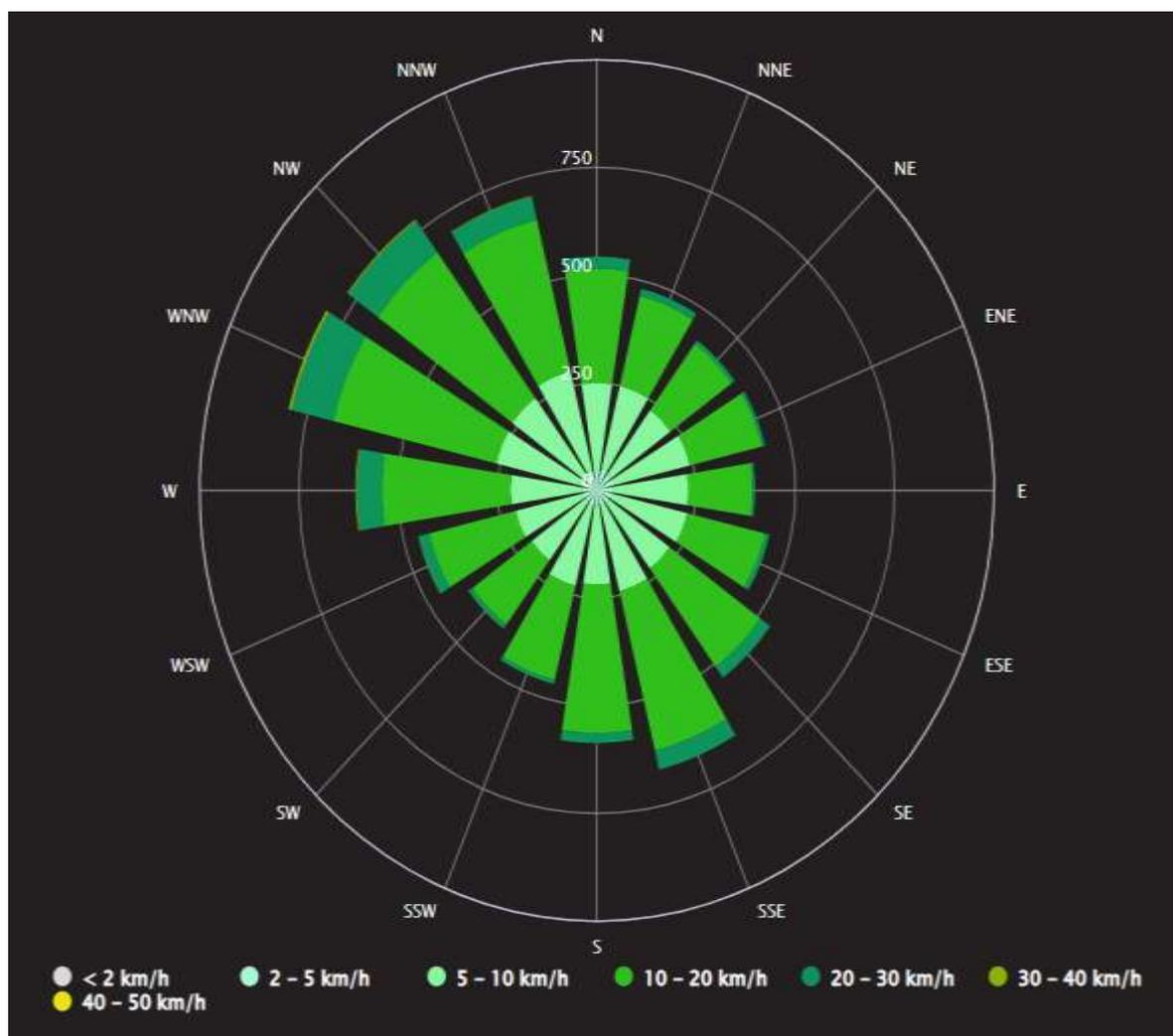


Рисунок Г.2 – Роза вітрів для м. Вінниця (середньорічні дані). Примітка: Довжина пелюсток вказує на частоту вітрів з відповідного напрямку. Домінуючий вектор переносу повітряних мас — північно-західний, що сприяє міграції пилу в бік сельбищної зони (Хутір Шевченка).