

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Гірничо-металургійний факультет
Кафедра гірничої справи

«Допущено до захисту»
Гарант ОПП

В'ячеслав КАМЕНЕЦЬ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання
освітньо-професійної програми
«Новітні технології розробки родовищ корисних копалин»
за спеціальністю 184 Гірництво

на тему «Дослідження технологічних параметрів
відвалоутворення розкривних порід в умовах залізородних
кар'єрів»

Керівник роботи

Ігор ГРИГОР'ЄВ

Консультант від
бази практики

Денис ВАРГАНОВ

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

Здобувач

Сергій СЛЮСАР

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Валерій СЛОБОДЯНЮК

Кривий Ріг 2024

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет	гірничо-металургійний
Кафедра	гірничої справи
Ступінь вищої освіти	магістр
Спеціальність	184 Гірництво
ОПП	Новітні технології розробки родовищ корисних копалин

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП

В'ячеслав КАМЕНЕЦЬ

«15» грудня 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Слюсара Сергія Валентиновича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Дослідження технологічних параметрів відвалоутворення розкривних порід в умовах залізорудних кар'єрів

керівник роботи Григор'єв Ігор Євгенійович, доцент, канд. техн. наук,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету від 29.08. 2023 р. №137.1/29.08.2023

2. Термін подання роботи 18.01.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Наукова література, результати власних експериментів та досліджень тощо

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Вступ. Розділ 1. Аналіз теоретичних основ проектування і досвіду виконання відвальних робіт. 1.1. Аналіз теоретичних основ проектування технологічних параметрів відвалів. 1.2. Аналіз гірничо-геологічних умов відвалоутворення залізорудних родовищ. Розділ 2. Методологічна основа магістерського дослідження. 2.1. Вибір дослідницького об'єкту та періоду дослідження. 2.2. Загальна методика та методи дослідження. 2.3. Розвиток концептуальних положень, що покладені в основу дослідження та прийняття робочих гіпотез. Розділ 3. Вплив технологічних параметрів на процеси відвалоутворення розкривних порід в умовах залізорудних кар'єрів. 3.1. Вибір місця розташування відвалів розкривних порід. 3.2. Дослідження методу багатоступеневого процесу відвалоутворення (MSDS). 3.3. Аналіз впливу гранулометричного складу на характеристики відвалів розкривних порід. Розділ 4. Аналіз процесів адаптації виробничих систем гірничо-видобувних підприємств до змін зовнішнього середовища господарювання. Розділ 5. Висновки та рекомендації. 5.1 Основні висновки дослідження. 5.2 Рекомендації щодо вдосконалення технологічних параметрів відвалоутворення. 5.3 Перспективи подальших досліджень у даній області. Список використаних джерел.

5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Технологія формування внутрішнього відвалу. Технологія формування тимчасового внутрішнього відвалу. Технологія формування постійного внутрішнього відвалу. Технологія переміщення внутрішнього відвалу

в горизонтальному напрямі. Технологія переміщення тимчасового внутрішнього відвалу у напрямі нижніх горизонтів. Вибір місця розташування відвалу. Схема основних місць навантажувально-розвантажувальних робіт. Основні етапи проектування відвалу розкритих порід. Порівняння між традиційним підходом та підходом MSDS. Графік блоків на 10-річний період і розташування виходу з кар'єру та остаточного відвалу (5 км від виходу з кар'єру), а також тимчасових полігонів для відвалів. Динаміка NPV витрат з урахуванням річного обсягу переробки та відстані від кар'єру до тимчасового звалища кар'єру до тимчасового звалища відходів. Динаміка NPV витрат на придбання вантажівки з урахуванням перевантаження річна норма та відстань від кар'єру до тимчасового звалища відходів. Поведінка результуючої NPV витрат для методу MSDS у порівнянні з базовим варіантом з базовим варіантом. Поведінка загальної вартості NPV для чотирьох різних сценаріїв відстані від кар'єру до тимчасового відвалу. Використані зразки. Реакція крупнозернистого зразку на тиск. Взаємозв'язок між опором ущільненню та пористістю, порожнистістю і проникністю. Поведінка крупних зразків під час випробовування на ущільнення. Чистий дохід від реалізації продукції гірничо-металургійними підприємствами у 2012—2017 рр. Схема до методології адаптації технологій відкритого видобутку корисних копалин з навколишнім середовищем.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
3	Варганов Д.С., головний гірник ПАТ «ЦГЗК»
4	Варганов Д.С., головний гірник ПАТ «ЦГЗК»

7. Дата видачі завдання 05.12.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Аналіз теоретичних основ проектування і досвіду виконання відвальних робіт	25.12.2023 – 28.12.2023
2	Розділ 2. Методологічна основа магістерського дослідження	25.12.2023 – 28.12.2023
3	Розділ 3. Вплив технологічних параметрів на процеси відвалоутворення розкритих порід в умовах залізородних кар'єрів	28.12.2023 – 02.01.2024
4	Розділ 4. Аналіз процесів адаптації виробничих систем гірничо-видобувних підприємств до змін зовнішнього середовища господарювання	28.12.2023 – 02.01.2024
5	Розділ 5. Висновки та рекомендації	03. 01.2024 – 07.01.2024

6	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	07.01.2024 – 08.01.2024
7	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	08.01.2024 – 10.01.2024
8	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	10.01.2024 – 16.01.2024
9	Рецензування завершеної роботи. захист	16.01.2024 – 24.01.2024

Здобувач



(Сергій СЛЮСАР)

Керівник роботи



(Ігор ГРИГОР'ЄВ)

АНОТАЦІЯ

Магістерська робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 109 сторінок, робота містить 20 рисунків, 4 таблиць. Список використаних джерел складається з 63 джерел.

Актуальність даної теми обумовлюється тим, що створення відвалів розкривних порід може в перспективі призводити до таких серйозних проблем для навколишнього середовища, як забруднення ґрунтів і водойм, а також до викидів пилу. Дослідження технологічних параметрів відвалоутворення може бути спрямоване на підвищення ефективності видобутку залізної руди та зменшення негативного впливу на екосистему.

Розробка нових технологій і методів управління відвалами має потенціал стати джерелом інновацій в гірничодобувній галузі, що, в свою чергу, може вплинути на конкурентоспроможність цієї індустрії. Вимоги до стандартів безпеки та екологічних стандартів, що не припиняють зростати останнім часом, ставлять перед гірничодобувними компаніями завдання вдосконалення технологій відвалоутворення.

Об'єктом дослідження виступають технологічні параметри відвалоутворення розкривних порід в умовах залізородних кар'єрів. **Метою** являється визначення оптимальних технологічних параметрів відвалоутворення розкривних порід в залізородних кар'єрах задля забезпечення ефективності видобутку, зниження негативного впливу на довкілля та вдосконалення стандартів безпеки. **Ідея:** удосконалити технологічні параметри відвалоутворення розкривних порід для зменшення обсягів відвалоутворення, підвищення ефективності

видобутку та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

При написанні роботи застосовані такі **методи дослідження**, як: аналіз літературних джерел, технічне моделювання, польові дослідження, екологічні вимірювання, економічний аналіз

Основні результати та їх наукова й практична новизна, галузь застосування, значення роботи, висновки полягають в тому, що в дослідженні враховано взаємодію технологічних параметрів для прогнозування динаміки відвалів. Обґрунтовані технологічні параметри зменшують обсяги відвалоутворення та надають технічні рішення для оптимізації процесу. Враховані сучасні технології для підвищення ефективності та зменшення обсягів відвалоутворення, демонструючи новизну у гірничих процесах. Враховано вплив на довкілля, звертаючи увагу на інноваційний аспект розгляду екологічної придатності процесів. Проведено аналіз теоретичних основ процесів та умов відвалоутворення розкривних порід, який виявив важливі закономірності та особливості, які необхідно враховувати в подальшому. Запропоновано нові підходи до вибору місця розташування відвалів, розглянуто метод багатоступеневого процесу відвалоутворення та проведено аналіз впливу гранулометричного складу на характеристики відвалів розкривних порід. Детально розглянуто адаптацію виробничих систем гірничо-видобувних підприємств до змін зовнішнього середовища господарювання в контексті відвалоутворення розкривних порід.

Ключові слова: ВІДВАЛОУТВОРЕННЯ РОЗКРИВНИХ ПОРІД, РОЗКРИВНІ ПОРОДИ, ВІДКРИТА РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН, ЗАЛІЗНА РУДА, ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ, ПІДВИЩЕННЯ ПРИБУТКОВОСТІ, ОПТИМІЗАЦІЯ, НАУКОВА НОВИЗНА, ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА, ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ ПРОЄКТУВАННЯ І ДОСВІДУ ВИКОНАННЯ ВІДВАЛЬНИХ РОБІТ.....	11
1.1. Аналіз теоретичних основ проектування технологічних параметрів відвалів.....	11
1.2. Аналіз гірничо-геологічних умов відвалоутворення залізородних родовищ.....	16
РОЗДІЛ 2. МЕТОДОЛОГІЧНА ОСНОВА МАГІСТЕРСЬКОГО ДОСЛІДЖЕННЯ.....	30
2.1. Вибір дослідницького об'єкту та періоду дослідження.....	30
2.2. Загальна методика та методи дослідження.....	33
2.3. Розвиток концептуальних положень, що покладені в основу дослідження та прийняття робочих гіпотез.....	42
РОЗДІЛ 3. ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ПРОЦЕСИ ВІДВАЛОУТВОРЕННЯ РОЗКРИВНИХ ПОРІД В УМОВАХ ЗАЛІЗОРУДНИХ КАР'ЄРІВ.....	47
3.1. Вибір місця розташування відвалів розкривних порід.....	47
3.2. Дослідження методу багатоступеневого процесу відвалоутворення (MSDS).....	58
3.3. Аналіз впливу гранулометричного складу на характеристики відвалів розкривних порід.....	69
РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ АДАПТАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ ГІРНИЧО-ВИДОБУВНИХ ПІДПРИЄМСТВ ДО ЗМІН ЗОВНІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ГОСПОДАРЮВАННЯ.....	76
РОЗДІЛ 5. ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	84
5.1 Основні висновки дослідження.....	84

5.2 Рекомендації щодо вдосконалення технологічних параметрів відвалоутворення.....	85
5.3 Перспективи подальших досліджень у даній області.....	89
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	94

ВСТУП

Актуальність теми роботи. Актуальність даної теми обумовлюється тим, що створення відвалів розкривних порід може в перспективі призводити до таких серйозних проблем для навколишнього середовища, як забруднення ґрунтів і водойм, а також до викидів пилу. Дослідження технологічних параметрів відвалоутворення може бути спрямоване на підвищення ефективності видобутку залізної руди та зменшення негативного впливу на екосистему. Розробка нових технологій і методів управління відвалами має потенціал стати джерелом інновацій в гірничодобувній галузі, що, в свою чергу, може вплинути на конкурентоспроможність цієї індустрії. Вимоги до стандартів безпеки та екологічних стандартів, що не припиняють зростати останнім часом, ставлять перед гірничодобувними компаніями завдання вдосконалення технологій відвалоутворення. Вивчення впливу видобутку руди на місцеві громади та життя мешканців може також стати об'єктом досліджень для забезпечення сталого розвитку та здійснення соціальної відповідальності гірничих компаній.

Постановка проблеми. У сучасних умовах експлуатації залізрудних кар'єрів актуальною є проблема відвалоутворення розкривних порід. З урахуванням швидкого розвитку гірничо-металургійного комплексу та збільшення обсягів видобутку залізних руд, виникає необхідність глибокого аналізу та оптимізації технологічних параметрів, які впливають на процес відвалоутворення. Збільшення обсягів видобутку, неефективне управління та відсутність науково-обґрунтованих підходів до вирішення проблеми відвалоутворення можуть призвести до серйозних наслідків для навколишнього середовища та призводити до зниження ефективності

видобутку. Робота спрямована на визначення оптимальних стратегій та технологій для зменшення обсягів відвалоутворення, підвищення ефективності видобутку та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

Мета дослідження. Визначення оптимальних технологічних параметрів відвалоутворення розкривних порід в залізородних кар'єрах з метою забезпечення ефективності видобутку, зниження негативного впливу на довкілля та вдосконалення стандартів безпеки.

Задачі дослідження:

- здійснити аналіз поточного стану технологічних процесів відвалоутворення розкривних порід у залізородних кар'єрах, включаючи вивчення та оцінку використовуваних методів та обладнання;
- проаналізувати вплив технологічних параметрів на формування відвалів розкривних порід;
- побудувати математичні моделі відвалоутворення, враховуючи різні технологічні параметри, для прогнозування динаміки відвалів у залежності від умов експлуатації;
- обґрунтувати оптимальні стратегії та підходи до управління технологічними параметрами з метою мінімізації відвалоутворення, підвищення рентабельності та оптимізації процесу видобутку;
- розробити рекомендації щодо впровадження нових технологій та методів управління для підвищення ефективності відвалоутворення та зменшення негативного впливу на довкілля;
- здійснити порівняльний аналіз зарубіжних та вітчизняних підходів до проблеми відвалоутворення розкривних порід з метою використання кращих практик та інновацій;
- вивчити можливості використання сучасних технологій, для оптимізації технологічних процесів відвалоутворення;

- здійснити моніторинг та оцінку впливу запропонованих технологічних змін на екологічну ситуацію у зоні кар'єру.

Об'єктом дослідження є процес відвалоутворення в залізорудних кар'єрах. Це включає в себе всі аспекти, пов'язані зі зберіганням відходів, які виникають під час видобутку залізної руди.

Предметом дослідження є технологічні параметри відвалоутворення відвалів розкривних порід в умовах залізорудних кар'єрів.

Результати та обґрунтування їх новизни / інноваційності. Досліджені математичні моделі враховують комплексність та взаємодію різних технологічних параметрів, що є новаторським підходом для прогнозування динаміки відвалів. Обґрунтовані оптимальні стратегії та підходи до управління технологічними параметрами, спрямовані на зменшення відвалоутворення, надають конкретні технічні рішення для оптимізації процесу. Враховані можливості використання сучасних технологій, спрямованих на підвищення ефективності та зменшення відвалоутворення, демонструючи елементи новизни в інтеграції передових технологій у гірничі процеси. Проаналізовано вплив запропонованих технологій на довкілля, звертаючи увагу на інноваційний аспект розгляду екологічної придатності процесів, не обмежуючись лише їх ефективністю.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ ПРОЕКТУВАННЯ І ДОСВІДУ ВИКОНАННЯ ВІДВАЛЬНИХ РОБІТ

1.1 Аналіз теоретичних основ проектування технологічних параметрів відвалів

Проектування технологічних параметрів відвалів розкривних порід у гірничодобувній галузі є складним і багатогранним завданням, яке базується на теоретичних основах і практичних знаннях.

Геотехнічні аспекти в проектуванні технологічних параметрів відвалів відіграють важливу роль у забезпеченні стійкості, безпеки та оптимального використання гірських ресурсів. Одним із ключових елементів є розуміння механіки гірських порід, оскільки властивості цих порід визначають, як ефективно можна розташувати та управляти відвалами [1].

Врахування механічних властивостей порід дозволяє визначити оптимальні рішення для конструкції відвалів, враховуючи міцність та стійкість гірських масивів. Важливо враховувати не лише сучасні техніки проектування, але й враховувати можливі зміни в механічних властивостях порід у зв'язку з експлуатацією гірських родовищ.

Додатково, важливим аспектом є аналіз стійкості схилів відвалів, щоб запобігти зсувам та обвалам, які можуть мати серйозні наслідки для безпеки працівників та місцевих мешканців. Цей аналіз передбачає врахування різних факторів, таких як кут схилу, властивості ґрунту та геологічні умови. Зокрема, гідрогеологія відіграє ключову роль у проектуванні систем водовідведення для забезпечення стійкості відвалів. Розуміння впливу ґрунтових вод на стійкість відвалів та розробка ефективних систем для виведення води

допомагають уникнути проблем, пов'язаних із зсувом та просіданням ґрунту [2].

Узгодження геотехнічних аспектів із соціальними, екологічними та економічними вимогами дозволяє створити інтегровані технологічні параметри відвалів, які ефективно виконують завдання видобутку ресурсів, забезпечують безпеку та мінімізують негативний вплив на довкілля та суспільство.

Екологічні аспекти в проектуванні технологічних параметрів відвалів відіграють важливу роль у забезпеченні екологічної безпеки та сталого розвитку гірничодобувної галузі. Однією з ключових цілей є розробка технологій та параметрів, спрямованих на захист від забруднення ґрунту, води та повітря.

Важливо враховувати весь цикл гірничодобувних операцій, починаючи від етапу видобутку та закінчуючи обробкою відходів, щоб уникнути негативного впливу на природні ресурси. Розробка ефективних технологій обробки та очищення відходів дозволяє мінімізувати викиди та забруднення, що можуть мати шкідливий вплив на ґрунтові ресурси та водні системи. Додатково, розгляд варіантів відновлення природного середовища стає необхідним етапом в проектуванні відвалів. Після завершення видобутку важливо передбачити та реалізувати заходи для відновлення природних екосистем. Це може включати в себе висадження рослин, створення природних резерватів та відновлення гідрологічного режиму у районах, які були піддані гірничому впливу [3].

Враховуючи екологічні аспекти в проектуванні технологічних параметрів відвалів, гірничодобувні компанії можуть досягти балансу між виробництвом та збереженням природного середовища. Це допомагає не лише забезпечити екологічну безпеку, але і зберегти біорізноманіття та екосистеми для майбутніх поколінь.

Безпека є визначальним аспектом у проектуванні технологічних параметрів відвалів у гірничодобувній галузі. Забезпечення безпеки охоплює різні аспекти, включаючи стандарти безпеки та розробку систем для моніторингу та контролю.

Застосування та постійне вдосконалення стандартів безпеки є критичним завданням. Це включає в себе розробку та впровадження найновіших технологічних та інженерних рішень для мінімізації ризиків, пов'язаних із відвалоутворенням. Врахування кращих практик у сфері безпеки праці, а також відповідність міжнародним та місцевим нормативам дозволяє гарантувати безпеку працівників та зберігати довкілля в найкращому стані [4].

Для забезпечення безпеки на всіх етапах експлуатації відвалів важливо розробляти і впроваджувати системи моніторингу та контролю. Ці системи дозволяють вчасно виявляти будь-які аномалії або зміни в технічному стані відвалів, що дозволяє оперативно реагувати на потенційні загрози та мінімізувати ризики аварій та надзвичайних ситуацій. Моніторинг також дозволяє гарантувати виконання зобов'язань у сфері безпеки та підтримувати високий стандарт безпеки протягом всього терміну служби відвалу. Забезпечення безпеки в гірничодобувній галузі є пріоритетним завданням, і технологічні параметри відвалів грають ключову роль у створенні умов для ефективної та безпечної роботи, яка враховує як працівників, так і місцевих мешканців [5].

Соціальна відповідальність у контексті проектування технологічних параметрів відвалів у гірничодобувній галузі визначається взаємодією з місцевими спільнотами та спрямована на створення позитивного соціального впливу на регіон.

Взаємодія з місцевими громадами: Один із ключових аспектів соціальної відповідальності включає взаємодію з місцевими громадами. Це передбачає залучення місцевих мешканців до

процесів прийняття рішень та врахування їхніх інтересів. Ініціювання діалогу, проведення громадських слухань та консультацій дозволяє створювати прозорі умови ведення гірничих операцій та розвивати взаємодію на основі взаєморозуміння та взаємовигоди. Ще одним аспектом соціальної відповідальності є створення робочих місць та сприяння соціальному розвитку регіонів. Розробка технологій повинна враховувати можливості створення стійких робочих місць для місцевого населення. Це може включати навчання та розвиток навичок, що сприяють залученню місцевих працівників у гірничу промисловість. Загальна мета полягає в тому, щоб гірнича діяльність не лише приносила користь компаніям, але і позитивно впливала на соціальні аспекти регіонів. Соціальна відповідальність, враховуючи потреби та думку місцевих громад, стає важливим фактором у створенні взаємовигідних відносин та сприяє сталому розвитку як галузі, так і місцевих громад [6].

У контексті видобутку корисних копалин та відвалоутворення, економічні аспекти визначають ефективність використання ресурсів, оптимізацію витрат та стабільність виробництва. Однією з ключових задач є розробка технологій, спрямованих на ефективне використання ресурсів та зменшення (оптимізацію) економічних витрат. Це може включати в себе впровадження передових технологій видобутку, оптимізацію ланцюгів постачання, а також розробку енергоефективних методів обробки і використання відходів. Іншим важливим аспектом є визначення технологічних параметрів, які забезпечують сталість та стійкість виробництва. Це включає в себе впровадження рішень, які гарантують неперервність видобутку та обробки, а також управління витратами на обладнання та утримання [7].

Збалансований підхід до економічних аспектів включає в себе стратегії, спрямовані на забезпечення ефективності виробництва та

одночасне зменшення впливу на довкілля. Технологічні параметри відвалів повинні бути орієнтовані на створення стійкої та конкурентоспроможної економічної моделі видобутку корисних копалин, що забезпечує якісне збереження природних ресурсів та соціальний прогрес у регіонах.

Ці теоретичні аспекти допомагають визначити оптимальні технологічні параметри відвалів, забезпечуючи баланс між ефективністю видобутку корисних копалин, екологічною безпекою, соціальною відповідальністю та економічною стійкістю.

Роботи, спрямовані на створення нормальних та безпечних умов для виконання основних виробничих процесів на кар'єрі, визначаються як допоміжні. До цих робіт відносяться переміщення залізничних шляхів, ліній зв'язку та електропостачання, ремонт транспортних комунікацій, постачання матеріалів та запасних частин, а також очищення розкритих корисних копалин і інші супутні процеси. Всі вищезазначені виробничі процеси взаємодіють між собою та складають ланки єдиного технологічного комплексу відкритих гірничих робіт, який функціонує неперервно. В певних умовах можуть бути відсутні окремі ланки цього комплексу. Наприклад, при видобутку рихлих невологих порід може бути відсутнім процес підготовки гірських порід до видобутку, або в разі розробки горизонтальних родовищ з перевалкою розкриву в утворений простір може бути відсутнім процес транспортування розкритих порід [8].

1.2 Аналіз гірничо-геологічних умов відвалоутворення залізорудних родовищ

Геологічні особливості розробки родовищ залізних руд грають ключову роль у плануванні та виконанні гірничих операцій. Залежно від структури та властивостей ґрунтового відкладу, можна розрізнити різні типи залізних рудних формацій.

Залізні руди, що є основним джерелом заліза для промисловості, представлені різними типами, що включають магнетит, гематит, сідерит, лімонит та інші. Кожен з цих типів руд має унікальні фізичні та хімічні властивості, що визначають способи їх видобутку та технології подальшої обробки. Магнетит, наприклад, є магнітним залізним мінералом, що часто дозволяє використовувати магнітні методи для його видобутку. Гематит, найбільш розповсюджений вид залізних руд, має червоний колір і може використовуватися як сировина для виробництва сталі. Сідерит характеризується вмістом вуглецю та може вимагати спеціальних методів зневуглецювання під час обробки. Лімонит представляє собою залізистий оксид, який може бути важко відокремити від інших мінералів.

Кожен тип руди вимагає індивідуального підходу до технологій видобутку та обробки. Наприклад, для магнетиту можуть використовуватися магнітні сепаратори, тоді як для гематиту можуть бути застосовані мокрі або сухі методи подрібнення та збагачення. Знання типу руди є важливим для ефективного використання ресурсів, забезпечення економічної ефективності та мінімізації впливу на навколишнє середовище у процесі розробки та обробки залізних руд [9].

Родовища залізних руд відрізняються за своїм розташуванням, і ця особливість визначає методи їхнього видобутку. Розташування може бути як у поверхневих шарах, так і в глибоких шарах землі, кожен з цих варіантів вимагає використання різних технологій та методів видобутку. Поверхневі родовища є різноманітними в їхній геометрії і можуть бути експлуатовані за допомогою відкритих кар'єрів або відкритих розрізів. Цей метод вигідний, коли руда розташована недалеко від земельної поверхні і не вимагає глибокого видобутку. Поверхневий видобуток може включати видалення надлишкових шарів ґрунту та вибухові роботи для зруйнування кам'янистих матеріалів.

З іншого боку, глибинні родовища вимагають більш складних методів видобутку, таких як шахтний видобуток. Глибинні залізні родовища знаходяться на значній глибині, і їх видобуток включає в себе створення шахт та тунелів для доступу до рудної маси. Цей метод може бути більш витратним та таким, що займає багато часу, але він дозволяє видобувати руду, розташовану на великій глибині.

Розташування родовищ є важливим фактором у виборі оптимального методу видобутку та визначенні технологічних параметрів для забезпечення ефективності та стійкості видобутку залізних руд.

Геологічна будова земної кори визначає склад та структуру рудних залізних відкладів у конкретному регіоні. Це вивчення включає аналіз різноманітних факторів, які можуть впливати на розташування та доступність залізних руд. Вивчення розташування шарів є ключовим аспектом геологічної будови. Шари, які містять залізні руди, можуть розташовуватися на різних глибинах та мати різну товщину. Розуміння цього параметра допомагає планувати оптимальні технології для видобутку.

Наявність розломів, або тріщин в земній корі, може впливати на розподіл та концентрацію рудних відкладів. Розуміння розломів є важливим для уникнення можливих труднощів під час видобутку та для розробки ефективних стратегій видобутку.

Аналіз складу ґрунтових масивів, таких як тип ґрунту, його текстура та пористість, важливий для визначення методів видобутку та обробки руд. Різні типи ґрунту можуть вимагати різних технологій обробки. Геологічна будова є основою для розуміння структури рудних залізних відкладів, і це знання використовується при проектуванні технологічних параметрів для оптимального видобутку та обробки залізних руд. Аналіз геологічної будови також сприяє зниженню впливу гірничодобувної діяльності на природні ресурси та навколишнє середовище.

Концентрація залізних руд у родовищах може варіюватися, і ця нерівномірність визначає ефективність та витрати видобутку. Вивчення гравітаційних властивостей руди виступає ключовим фактором при визначенні технік та методів видобутку. Аналіз концентрації залізних руд у родовищах допомагає гірничодобувним компаніям визначити економічну придатність та потенційну вартість видобутку цих руд. Також він дозволяє прогнозувати технічні аспекти добування, обробки та використання руд для виробництва заліза [10].

Гравітаційні властивості, такі як густини руди, грають важливу роль у визначенні можливостей використання різних технік видобутку. Наприклад, методи гравітаційного видобутку можуть бути застосовані для відділення важких руд від легших некорисних матеріалів. Розуміння концентрації та гравітаційних властивостей руди є важливим для визначення оптимальних технологій обробки та видобутку. Ці дані дозволяють ефективно використовувати обладнання та ресурси, зменшуючи витрати та мінімізуючи вплив на

довкілля. Такий підхід є ключовим у забезпеченні сталості та ефективності гірничих операцій.

Наявність супутніх мінералів та домішок в рудних відкладах є важливим фактором, який впливає на технологічний процес видобутку та подальшу обробку залізних руд. Кожен з цих додаткових компонентів може створювати унікальні виклики та вимагати спеціальних методів обробки. Супутні мінерали та домішки можуть впливати на ефективність та швидкість видобутку залізних руд. Деякі з цих компонентів можуть бути пов'язані з рудою у такий спосіб, що їх відділення може вимагати додаткових зусиль та ресурсів.

Супутні мінерали можуть важко відділятися від залізної руди звичайними методами. Це може бути викликом для технологічних процесів обробки, іноді вимагаючи використання спеціальних методів сепарації чи хімічних процесів. Наявність певних супутніх мінералів може вимагати впровадження та вдосконалення спеціальних технологій обробки. Наприклад, якщо руда містить супутні мінерали, які мають хімічні властивості, відмінні від заліза, то можуть бути використані хімічні методи відділення [11].

Врахування супутніх мінералів та домішок у геологічних формаціях є обов'язковим при розробці технологій видобутку та обробки. Це дозволяє не тільки оптимізувати процеси, але й забезпечує ефективне використання ресурсів та мінімізацію впливу на навколишнє середовище під час видобутку корисних копалин.

Гідрогеологічні умови в родовищі залізних руд відіграють ключову роль у плануванні та реалізації гірничих операцій. Вивчення таких умов є важливим етапом геологічних досліджень і має кілька аспектів, що впливають на стабільність відвалів та ефективність видобутку. Вплив води може серйозно впливати на стабільність відвалів: Ґрунтові та породні масиви можуть взаємодіяти з водою, що призводить до змін у їхній структурі та стабільності. Наявність води

може спричиняти ерозію та руйнування відвалів, тому важливо враховувати гідрогеологічні аспекти при проектуванні та управлінні відвалами. Водні умови також можуть впливати на видобуток та подальшу обробку залізних руд. Наявність ґрунтових вод або водних потоків може вимагати використання спеціальних технологій для забезпечення сухого видобутку та подальшої обробки руди.

Вивчення гідрогеологічних умов дозволяє розробляти такі системи водовідведення, які забезпечуватимуть ефективне відведення зайвої води з робочих зон та уникнення негативних впливів на довкілля.

Гідрогеологічні умови також враховують ризики пов'язані з підтопленням гірничих об'єктів та гірничих виробок. Постійний контроль за рівнем ґрунтових вод та їхнім рухом допомагає уникнути можливих негативних наслідків.

Урахування гідрогеологічних умов є критичним для забезпечення безпеки гірничодобувних робіт, стійкості відвалів та оптимальної ефективності технологічних процесів в видобутку та обробці залізних руд. Геологічні особливості родовищ залізних руд мають велике значення для раціонального та економічно ефективного видобутку. Вивчення цих особливостей дозволяє розробляти технології та методи, що оптимізують процеси видобутку та обробки залізних руд.

У сучасний період розробка крутоспадних родовищ, головним чином, виконується за допомогою зовнішнього відвалоутворення, що призводить до великих витрат та необоротної втрати цінних земельних ресурсів. Через недосконалість теоретичних основ, технологія внутрішнього відвалоутворення на крутоспадних родовищах на практиці використовується несистематично.

Вибір методів внутрішнього відвалоутворення базується на розроблених взаємопов'язаних класифікаціях, включаючи

класифікацію способів формування відвалів у виробленому просторі глибоких кар'єрів. Особливість цієї класифікації полягає в розподілі за двома ознаками: часом (початком) застосування способу та зоною виробленого простору, в якій відсипають розкривні породи.

Окрема група включає способи формування відвалу на обмежених ділянках, розташованих по всій поверхні виробленого простору. З цього погляду розроблено класифікацію локальних формувань із розкривних порід та визначено зони виробленого простору за їх функціональним призначенням.

Основні закономірності формування робочої зони внутрішнього відвалу виявлені в динаміці розвитку гірничих робіт в існуючих кар'єрах.

Стійкість первинного відвалу може бути гарантована, якщо загальна ширина робочих площадок, що відсипаються з розкривних порід, не менша, ніж різниця між проекціями на горизонтальну площину укосу відвалу при стійкому результуючому куті укосу та при природному куті укосу даної категорії порід.

Також численними спостереженнями виявлено, що час формування первинного відвалу при глибині кар'єру 600 м, що є типовою для Криворізького залізрудного басейну, становить 3,67-4,42 роки. Протягом цього періоду 48,0-50,3% розкривних порід потрібно розмістити у зовнішньому відвалі для забезпечення проектної продуктивності кар'єру. Відмова від зовнішнього відвалоутворення призводить до скорочення продуктивності кар'єру не менше, ніж на 46,7% [12].

Вперше вивчені взаємозв'язки, що виникають при застосуванні запропонованої технології відвалоутворення в зоні виробленого простору, визначеної як "основний відвал". Особливість цієї технології полягає в тому, що фронт відвальних робіт рухається паралельно напрямку розвитку гірничих робіт у кар'єрі.

На ділянках західки біля бортів кар'єру висота ярусу, що відсипається, змінюється, і тому швидкості переміщення нижньої і верхньої брівки відвальної західки різні та залежать від обсягів відвалоутворення.

Досліджено взаємозв'язки між параметрами гірничих робіт при локальному тимчасовому відвалоутворенні на поверхні рудного покладу. При наявності внутрішнього відвалу рекомендується підвищувати інтенсивність гірничих робіт шляхом скорочення довжини екскаваторного блока та використання високопродуктивних технологічних комплексів.

Визначено раціональні області застосування технологічних схем із внутрішнім відвалоутворенням на крутоспадних родовищах. Доведено, що при горизонтальній потужності покладу більше 300 м і кінцевій глибині кар'єру до 300 м включно, технологія внутрішнього відвалоутворення одним етапом з двома транспортними виходами з кар'єру є раціональною, незалежно від довжини кар'єру по підшві.

У випадку горизонтальної потужності покладу більше 300 м і кінцевої глибини кар'єру більше 300 м, рекомендується застосовувати технологію внутрішнього відвалоутворення одним етапом з двома транспортними виходами лише при кінцевій довжині кар'єру по підшві до 4 км, а при більшій довжині - застосовувати технологію відвалоутворення двома етапами (шарами) з двома транспортними виходами з кар'єру.

Відкритий видобуток родовищ передбачає комплекс заходів, що включають підготовку поверхні землі (вилучення родючого шару та виведення поверхневих вод), необхідне осушення родовища, його розкриття (за допомогою будівництва траншей), проведення розкривних робіт (у тому числі відвальних робіт) і видобувних робіт (відокремлення корисних копалин від гірського масиву). Цей процес реалізується шляхом використання комплексу відкритих гірничих

виробок, таких як кар'єри. Ключовими гірничими виробками у відкритому видобутку родовищ є капітальні траншеї, які надають доступ до корисних копалин, та розрізні траншеї, що готують кар'єрне поле до розкривних і видобувних робіт. Відкрита розробка корисних копалин широко використовується в різних країнах, таких як Україна, США, Австралія, Росія, Канада, Китай, а також в кількох країнах Європи, зокрема Німеччині, Польщі, Чехії [13].

Система відкритої розробки родовищ корисних копалин - це сукупність технологічних та технічних засобів, які забезпечують ефективність розробки родовища кар'єром. Установлений порядок проведення робіт у просторі та часі визначається гірничотранспортною системою, яка включає підготовчі, нарізні та очисні роботи.

Класифікація систем розробки родовищ враховує розвиток та механізацію гірничотранспортних робіт, визначаючи їх як єдину гірничотранспортну систему. Така класифікація поділяє системи на три групи: циклічні, циклічно-потоківі та безперервної дії.

Група заглиблювальних систем визначається особливістю використання лише для крутих, крутопохилих і похилих родовищ. Ці системи характеризуються розвитком робочої зони углиб кар'єрного поля, при цьому вироблений простір залишається несформованим. Змішана група систем застосовується в основному для розробки розосереджених покладів складної будови або для виділення кар'єру першої черги з частковим утворенням виробленого простору.

У цих групах гірничий транспорт використовується широко для переміщення як корисних копалин, так і порід розкриву. Глибина кар'єру стає ключовою для класифікації гірничотранспортних систем за видом транспорту. Залежно від щільності гірських порід, глибини видобутку і площі кар'єру використовуються різні види транспорту, як самостійно, так і в комбінаціях.

Так, автомобільний і залізничний транспорт може використовуватися прямо по трасі на верхніх горизонтах, а стрічкові конвеєри чи скіпові підйомники - на глибоких горизонтах. Форма траси може бути складною для автомобільного і залізничного транспорту на глибині до 200-350 м, а також для стрічкових конвеєрів у зигзагоподібних траншеях. При поглибленні фронту гірничих робіт траса розкривних виробок у верхній частині кар'єру залишається незмінною або реконструюється з розвитком у глибинній частині.

Введені терміни та поняття стосовно систем відкритої розробки родовищ корисних копалин були успішно впроваджені при проектуванні і експлуатації вітчизняних залізрудних, і отримали схвалення Міністерства промислової політики України.

Методика ведення відкритої розробки родовищ, при якій розкривні породи переміщуються у внутрішній відвал за допомогою екскаваторів зазвичай використовується при розробці горизонтальних і пологих (до 12 градусів) пластових (зазвичай товщина до 30 м) покладів. Спосіб розрізняє два варіанти: класичний (основний), коли розкривні та виїмкові роботи технологічно, технічно та організаційно відокремлені, і "екскаватор-кар'єр", де вони об'єднуються. Цей метод широко використовується в США.

Структура витрат на експлуатацію включає вартість основних технологічних процесів: буропідривних робіт (10-15%), екскавації (15-25%), транспортування (40-60%) та утворення відвалів (15-20%). Загальні витрати на будівництво кар'єру складають 30-40% на гірничо-капітальні роботи і 20-30% на обладнання [14].

Термін окупності капітальних витрат у відкритій розробці родовищ становить приблизно 7-10 років. Перспективи відкритої розробки родовищ пов'язані з оптимізацією параметрів гірничих робіт і обладнання, використанням техніки безперервної дії, комплексним використанням видобутої гірничої маси, переходом на великі глибини,

широким впровадженням автоматизованих систем і методів керування, а також використанням маловідходних і ресурсозберігаючих технологій.

Техніка розробки шарів з внутрішнім відвалоутворенням включає створення тимчасового внутрішнього відвалу на економічній глибині, його періодичне переміщення до кінцевої глибини та формування постійного внутрішнього відвалу.

Процес виконується через декілька етапів, що включають підготовку майданчика, розробку в напрямку наступних етапів та створення тимчасового внутрішнього відвалу. Кожен наступний етап передбачає зменшення глибини розробки та підготовку для формування нового тимчасового внутрішнього відвалу шляхом переєкскавації попереднього. Кількість етапів визначається згідно формули (1.1), яка враховує економічні аспекти процесу [15].

$$N_{\text{пер}}^{\text{max}} = \frac{H_{\text{к}} - H_{\text{вн відв}}^{\text{min}}}{H_{\text{е}}} \quad (1.1)$$

де $H_{\text{к}}$ представляє кінцеву глибину кар'єру у метрах;

$\text{min } H_{\text{вн відв}}$ визначає мінімальну глибину для початку внутрішнього відвалоутворення;

$H_{\text{е}}$ - глибину кожного окремого етапу.

Мінімальна глибина для старту внутрішнього відвалоутворення враховує збереження продуктивності кар'єру по видобутку руди при утриманні деяких частин рудних потоків під час становлення тимчасового внутрішнього відвалу. Глибина кожного етапу враховує використання гірничотранспортного обладнання для переміщення відходів від тимчасового внутрішнього відвалу. У випадку комбінованого (з використанням транспорту та без нього) методу перенесення матеріалів від тимчасового внутрішнього відвалу згідно формули (1.2), глибина кожного етапу визначається максимальним

обсягом матеріалу, що може бути переміщений драглайном за один цикл [15].

$$V_{\text{Т ВН В}} = \frac{V_{\text{пер}}^{\text{max}} * H_e}{H_k - H_{\text{ВН відВ}}} \quad (1.2)$$

де $V_{\text{пер}}^{\text{max}}$ – допустимий об'єм перееккавації розкривних порід, м³;

$H_{\text{ВН відВ}}$ вказує на глибину, з якої починається процес внутрішнього відвалоутворення.

Ліміт перееккавації розкривних порід встановлюється з урахуванням обмеження вартості виробництва концентрату з руди під час використання технології внутрішнього відвалоутворення. Оптимальна глибина початку внутрішнього відвалоутворення та обсяги зберігання розкривних порід визначаються за допомогою економіко-математичного моделювання.

Тимчасовий внутрішній відвал може бути одно- або багаторівневим в залежності від методу його переміщення: однорівневим при використанні безтранспортного способу за допомогою драглайнів або багаторівневим, коли застосовуються транспортні та безтранспортні методи переміщення.

Технологія формування однорівневого тимчасового внутрішнього відвалу при роботі з мультіподібними покладами виконується наступним чином: коли кар'єр досягає глибини, коли стає економічно доцільним формувати внутрішній відвал (рисунок 1.1), розташовують тимчасовий внутрішній відвал у місці, яке залишають тимчасово неактивним, після чого починають його формувати (рисунок 1.2). Транспортна берма залишається на рівні, з якого планується формувати відвал, для забезпечення зв'язку між рівнями розробки та тимчасовим внутрішнім відвалом. Формування тимчасового внутрішнього відвалу виконується бульдозерами у

вигляді сектору, при цьому його висота обмежується висотою уступу і максимальною глибиною добування порід драглайнами.

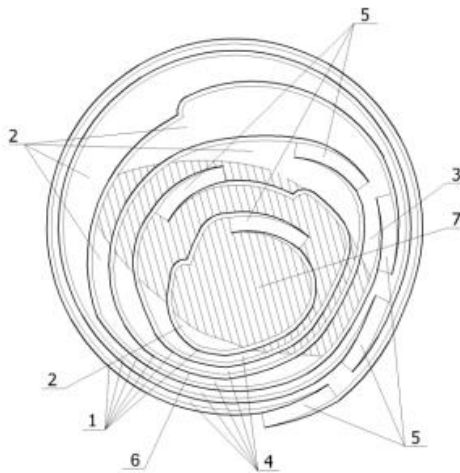


Рисунок 1.1 – Технологія формування внутрішнього відвалу: 1 – уступ; 2 – робоча площадка; 3 – транспортна берма; 4 – запобіжна берма; 5 – з'їзд; 6 – ділянка борту, з якої починають формування тимчасового внутрішнього відвалу; 7 – контур рудного тіла

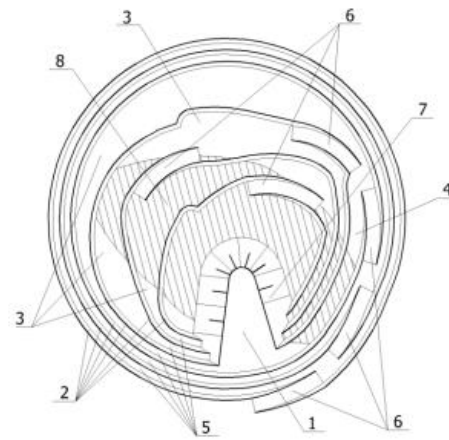


Рисунок 1.2 – Технологія формування тимчасового внутрішнього відвалу: 1 – відвальна площадка; 2 – уступ; 3 – робоча площадка; 4 – транспортна берма; 5 – запобіжна берма; 6 – з'їзд; 7 – тимчасовий внутрішній відвал; 8 – контур рудного тіла

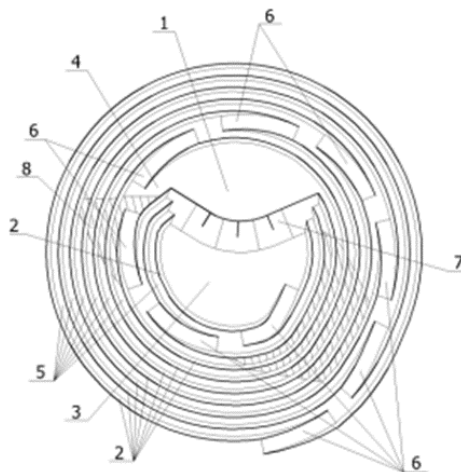


Рисунок 1.3 – Технологія формування постійного внутрішнього відвалу: 1 – відвальна площадка; 2 – уступ; 3 – дно кар'єру; 4 – транспортна берма; 5 – запобіжна берма; 6 – з'їзд; 7 – постійний внутрішній відвал; 8 – контур рудного тіла

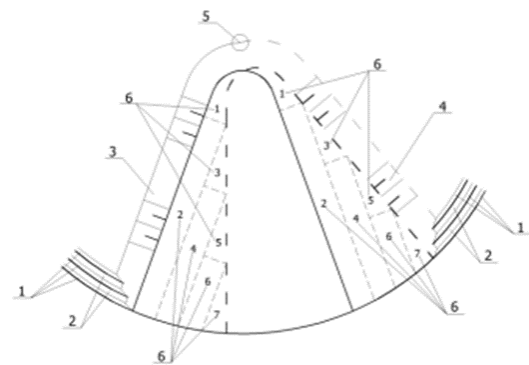


Рисунок 1.4 – Технологія переміщення внутрішнього відвалу в горизонтальному напрямі: 1 – уступ; 2 – запобіжна берма; 3 – тимчасовий внутрішній відвал до переміщення; 4 – тимчасовий внутрішній відвал після переміщення; 5 – вісь обертання відвалу; 6 – номери відвальних заходок.

Тимчасовий внутрішній відвал послідовно переміщується на нижчі рівні, а при досягненні кінцевої глибини формується постійний внутрішній відвал (рис. 1.3).

Залежно від виконання певних гірничих операцій та з метою забезпечення потрібної продуктивності видобутку корисних копалин може знадобитися переміщення тимчасового внутрішнього відвалу в горизонтальному напрямі (рис. 1.4) або у напрямі нижніх горизонтів (рис. 1.5) у випадках поглиблення місця проведення гірничих робіт.

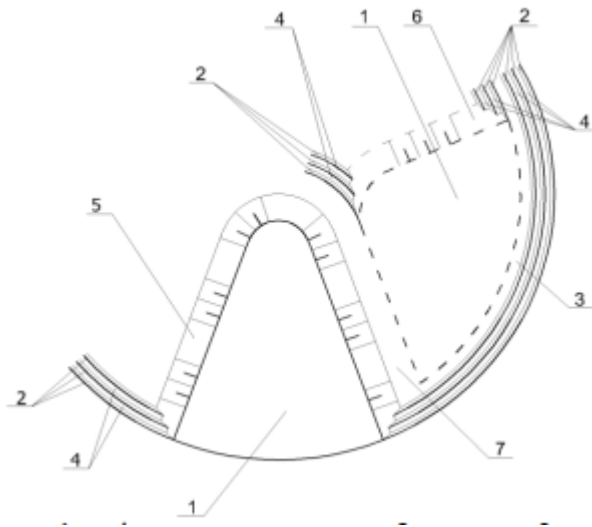


Рисунок 1.5 – Технологія переміщення тимчасового внутрішнього відвалу у напрямі нижніх горизонтів: 1 – відвальна площадка; 2 – уступ; 3 – транспортна берма; 4 – запобіжна берма; 5, 6 – тимчасовий внутрішній відвал відповідно до та після переміщення; 7 – відвальна берма

Тимчасовий внутрішній відвал рухається як уздовж осі обертання, так і на більш нижні рівні, використовуючи драглайни за допомогою лінійних та трикутних методів на однаковій відстані. Для забезпечення рівномірного просування відвального фронту та максимальної ефективності драглайнів важливе використання драглайнів однакового розміру. Для максимізації об'єму відвалу у вигляді насипання рекомендується використовувати драглайни з довгою стрілою.

При переміщенні тимчасового внутрішнього відвалу навколо осі обертання робоча зона драглайнів, тобто зона, де відбувається переміщення відсипаних порід, зміщується від центральної частини кар'єру до його країв. При переміщенні ж внутрішнього відвалу на нижні рівні, робоча зона рухається перпендикулярно одній зі сторін сектора [16].

РОЗДІЛ 2. МЕТОДОЛОГІЧНА ОСНОВА МАГІСТЕРСЬКОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Вибір дослідницького об'єкта та періоду дослідження

Вибір конкретного залізорудного кар'єру є важливою стратегічною вирішальною точкою у проведенні дослідження технологічних параметрів відвалоутворення. Це рішення необхідно здійснювати з урахуванням ряду ключових аспектів, що визначають об'єкт дослідження та визначають його репрезентативність та значущість. Перш за все, геологічні умови вибраного кар'єру визначають склад залізорудних родовищ, їхню структуру та особливості видобутку. Різні регіони можуть мати різний геологічний склад, що впливає на технології видобутку та утворення відвалів. Кліматичні умови грають ключову роль у формуванні відвалів та їхньому впливі на довкілля. Вибір кар'єру в регіоні з певним кліматом дозволяє здійснити дослідження, що враховує сезонні зміни, погодні умови та інші фактори, які можуть впливати на технологічні параметри та процеси відвалоутворення. Технічні умови вибраного кар'єру також мають важливе значення. Властивості обладнання, яке використовується для видобутку, транспортування та обробки залізорудних порід, можуть впливати на технологічні параметри відвалоутворення та методи їхнього управління. Обираючи конкретний залізорудний кар'єр для дослідження, дослідники можуть забезпечити адекватну репрезентативність отриманих результатів, що дозволить глибше розуміти та ефективно управляти процесами відвалоутворення в умовах розкритих порід [17].

Визначення періоду дослідження для аналізу технологічних параметрів відвалоутворення в залізорудних кар'єрах - це ключовий аспект, який визначає рамки часу для вивчення та оцінки процесів

утворення відвалів. Враховуючи різноманітність впливів технологічних факторів, це рішення включає в себе ретроспективний погляд, оцінку сучасних умов та врахування майбутніх перспектив. Історичний підхід дозволяє зрозуміти еволюцію технологій у видобутку та відвалоутворенні, враховуючи зміни у підходах та практиках. Сучасний період дослідження дозволяє оцінити актуальні технології та їхні впливи. Аналіз майбутніх перспектив важливий для визначення можливих напрямків розвитку та адаптації технологій у майбутньому. Обрання оптимального періоду дослідження стає стратегічним вибором, який забезпечує повноту та актуальність отриманих результатів. Такий підхід дозволяє вивчати вплив технологічних параметрів на відвалоутворення з урахуванням історичного контексту, поточних реалій та майбутніх можливостей розвитку.

Врахування геологічних та кліматичних умов регіону, де розташований залізорудний кар'єр, є критичним аспектом дослідження технологічних параметрів відвалоутворення. Геологічні особливості, такі як геологічна структура та склад порід, визначають характеристики родовища та технічні вимоги видобутку. Кліматичні умови, такі як сезонні зміни, температурні режими та кількість опадів, впливають на технологічні рішення та екологічну стійкість процесів видобутку та утворення відвалів. Взаємозв'язок між цими факторами визначає оптимальні стратегії управління відвалами та адаптацію технологій для забезпечення ефективності та сталості в умовах конкретного кар'єру. Аналіз цих умов дозволяє розробляти науково-обґрунтовані підходи до оптимізації видобутку та управління відвалами з урахуванням унікальних характеристик геологічного та кліматичного середовища [18].

Вивчення технічних характеристик видобувного обладнання є важливою складовою дослідження технологічних параметрів

відвалоутворення в залізорудних кар'єрах. Ретельний аналіз робочих параметрів, таких як потужність, продуктивність, швидкість та глибина видобутку, надає можливість глибше розуміти технологічні процеси та їх взаємозв'язок із відвалоутворенням. Це сприяє розробці науково-обґрунтованих стратегій для оптимізації видобутку, управління відвалами та забезпечення сталості екологічних аспектів. Також важливо враховувати ефективність та безпеку обладнання, оцінюючи його можливості та обмеження. Розуміння технічних характеристик дозволяє врахувати взаємодію обладнання з гірськими породами та оцінити потенційний вплив на екосистему. Взагалі, це комплексний підхід, що враховує технічні аспекти для забезпечення ефективного та сталого управління відвалами в залізорудних кар'єрах.

Розгляд актуальності дослідження технологічних параметрів відвалоутворення в залізорудних кар'єрах та їх значення в соціально-економічному контексті регіону є невід'ємною частиною наукового підходу до проблеми. Передовсім, актуальність визначається потребами сучасного суспільства у збалансованому використанні природних ресурсів та збереженні навколишнього середовища.

В умовах зростаючого попиту на залізну руду із забезпеченням економічної стійкості регіону, дослідження технологічних параметрів стає критично важливим для оптимізації видобутку та управління відвалами. Соціальний аспект полягає в забезпеченні робочих місць, розвитку економіки та впливі на соціальні структури у регіоні. Врахування соціально-економічного контексту також відкриває можливості для розвитку нових технологій та стратегій, спрямованих на збереження навколишнього середовища та зменшення відвалоутворення. Успішні результати дослідження можуть мати важливий вплив на сталість видобутку ресурсів, конкурентоспроможність регіону та його спроможність вирішувати соціально-екологічні виклики. Таким чином, аналіз актуальності та

соціально-економічного контексту створює наукові передумови для ефективного розв'язання проблеми відвалоутворення в залізорудних кар'єрах, враховуючи потреби суспільства та збереження природних ресурсів [19].

Обираючи дослідницький об'єкт та період, дослідники повинні дбати про врахування різноманітних факторів, щоб забезпечити високу репрезентативність та значущість отриманих результатів.

2.2. Загальна методика та методи дослідження

Дослідження технологічних параметрів відвалоутворення відвалів розкривних порід в умовах залізорудних кар'єрів є важливим завданням, оскільки воно дозволяє оптимізувати процес видобутку корисних копалин та мінімізувати вплив на довкілля. Таке дослідження включає в себе ряд ключових етапів, починаючи з обґрунтування та визначення мети дослідження. Однією з основних цілей є оптимізація технологічних процесів видобутку залізної руди з мінімізацією негативного впливу на природне середовище. Для досягнення цього завдання важливо провести докладний аналіз літературних джерел та існуючих даних, пов'язаних з технологічними аспектами відвалоутворення та його впливом на екологію.

На цьому етапі дослідження необхідно розглядати різні методи видобутку, обладнання, яке використовується, і технологічні параметри, що можуть впливати на процес відвалоутворення. Аналіз літературних джерел дозволяє визначити поточний стан досліджень у даній області, виявити основні виклики та можливості, а також визначити прогалини в знаннях, які потребують подальших досліджень.

Під час обґрунтування дослідження також слід враховувати соціально-економічні та екологічні вимоги, які ставляться перед видобувними підприємствами та загальним суспільством. Метою дослідження може бути, наприклад, розробка нових технологій або вдосконалення існуючих з метою зменшення обсягів утворення відвалів та мінімізації негативного впливу на довкілля.

Після обґрунтування мети дослідження і ознайомлення з літературою проводиться детальний аналіз технологічних параметрів відвалоутворення в умовах залізорудних кар'єрів. Цей аналіз може включати в себе вивчення процесів видобутку, характеристик порід, які видобуваються, та технічних характеристик використовуваного обладнання. Дані параметри є ключовими для розуміння взаємозв'язків між технологічними процесами та утворенням відвалів.

Іншим важливим етапом дослідження технологічних параметрів відвалоутворення відвалів розкривних порід є визначення об'єкта та конкретної області, яку буде охоплювати дослідження.

Для проведення ефективного дослідження слід вибрати конкретний залізорудний кар'єр, який є об'єктом вивчення. Вибір об'єкта повинен базуватися на його представництві за рядом параметрів, таких як розмір, глибина видобутку, характеристики гірничорудних пластів, географічне розташування та інші фактори, що можуть впливати на технологічні параметри відвалоутворення.

Далі, слід провести детальний аналіз характеристик гірничорудних порід, які видобуваються в обраному кар'єрі. Це включає в себе вивчення їх складу, фізичних та хімічних властивостей, мінералогічного складу, твердості та інших факторів, що впливають на технологічні процеси видобутку та утворення відвалів.

Визначення характеристик порід дозволяє зрозуміти їх поведінку під час видобутку, а також визначити оптимальні технологічні

параметри для забезпечення ефективності та мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище. Цей етап дослідження є важливим для точного аналізу технологічних параметрів, оскільки вибір конкретного об'єкта та вивчення характеристик порід є основою для подальших висновків і рекомендацій щодо оптимізації процесів видобутку та управління відвалами [20].

Третім етапом дослідження є визначення ключових технологічних параметрів, які включають в себе вивчення процесів видобутку та відвалоутворення, а також визначення технічних характеристик використовуваного обладнання. Цей аспект дослідження передбачає ретельне вивчення технологічних процесів, які застосовуються в залізорудному кар'єрі для видобутку корисних копалин. Сюди входить аналіз використовуваних методів видобутку, технологічних схем обробки руди, специфікації технічного обладнання та систем управління процесами. Оцінка цих параметрів дозволяє ідентифікувати можливі покращення та оптимізації, спрямовані на зменшення відвалоутворення та покращення ефективності видобутку. Для досягнення оптимальних технологічних параметрів важливо докладно вивчити технічні характеристики використовуваного обладнання. Це може включати в себе огляд характеристик бурових верстатів, екскаваторів і іншого виймально-навантажувального обладнання, транспортних засобів для перевезення руди, розкривних порід та іншого обладнання, яке задіяне у видобутку. Ретельний аналіз цих характеристик дозволяє визначити технічні параметри, які можуть бути оптимізовані для зменшення утворення відвалів та впливу на довкілля. Загальний висновок з цього етапу дослідження полягає в тому, щоб отримати повний огляд технологічних процесів та визначити фактори, які можуть бути покращені для досягнення оптимальних результатів. Враховуючи технічні особливості обладнання та процесів, можна розробити конкретні рекомендації

щодо покращення технологічних параметрів та безпечної експлуатації відвалів з меншим екологічним впливом на навколишнє середовище [21].

Четвертим етапом дослідження є розробка експериментального плану, який включає в себе вибір методів вимірювань та аналізу, а також розробку експериментальних сценаріїв та умов проведення досліджень. Цей етап передбачає визначення конкретних методів та засобів вимірювань для отримання об'єктивних даних про технологічні параметри відвалоутворення. До можливих методів відносять вимірювання розмірів відвалів, складу ґрунтів, концентрації шкідливих речовин у воді та повітрі, температурних та гідродинамічних параметрів. Аналіз здійснюється з використанням спеціалізованих лабораторних методів та програмного забезпечення для обробки даних. На цьому етапі формується конкретний план проведення експериментів, в якому визначаються умови, в яких буде здійснюватися вимірювання, та експериментальні сценарії. Враховуються такі параметри, як час проведення досліджень, обсяг зони вивчення, вибір представницьких ділянок для вимірювань, та інші фактори, що можуть впливати на точність та об'єктивність результатів [22].

Розробка експериментального плану є критичним етапом, оскільки від правильності його створення залежить якість та значущість отриманих даних. Під час вибору методів і сценаріїв важливо враховувати специфіку обраного об'єкта та його технічних параметрів. Після розробки експериментального плану можна переходити до виконання досліджень та збору даних, які в подальшому використовуються для аналізу впливу технологічних параметрів на відвалоутворення.

П'ятий та шостий етапи дослідження включають в себе збір даних та їх аналіз. Здійснюється збір даних на місці проведення

експериментів з використанням обраного набору методів вимірювань. Це може включати в себе вимірювання розмірів відвалів, характеристик ґрунтів, концентрації шкідливих речовин у воді та повітрі, температурних та гідродинамічних параметрів, згідно з розробленим експериментальним планом.

Також здійснюються моніторинг та фіксація технологічних процесів в залізородному кар'єрі. Важливо враховувати режими видобутку, обсяги робіт, характеристики використовуваного обладнання, технічні параметри та інші фактори, що впливають на утворення відвалів.

Зібрані дані піддаються обробці та статистичному аналізу. Використовуються методи статистики, графічного аналізу та інші підходи для визначення основних тенденцій та варіацій у даних.

Під час аналізу даних вивчається взаємозв'язок між різними технологічними параметрами та обсягами відвалів. Це дозволяє встановити, як певні параметри впливають на утворення відвалів та які можливі зміни можна внести для їхньої оптимізації. Збір та аналіз даних виступають як ключові компоненти дослідження, оскільки вони надають об'єктивні та кількісні результати, на основі яких можна робити висновки та розробляти рекомендації щодо оптимізації технологічних процесів та зменшення впливу на довкілля.

Сьомий та завершальний етап дослідження передбачає формулювання висновків та рекомендацій на основі отриманих даних та аналізу.

На цьому етапі проводиться комплексний аналіз отриманих даних для визначення, як конкретні технологічні параметри впливають на процес відвалоутворення. Враховуються взаємодії між різними факторами, ідентифікуються основні впливові чинники та їхні взаємозв'язки. На основі визначених впливів розробляються конкретні рекомендації для оптимізації технологічних процесів з метою

зменшення відвалоутворення та мінімізації негативного впливу на довкілля. Ці рекомендації можуть включати в себе впровадження нових технологій, модифікації існуючого обладнання, зміни в технологічних схемах, вдосконалення систем управління та інші заходи [23].

Формулювання висновків та рекомендацій є важливим завершальним кроком дослідження, оскільки вони надають зрозумілу та конкретну інформацію для вирішення проблем в галузі відвалоутворення в залізородних кар'єрах. Ці висновки можуть бути використані для вдосконалення технологій та практик відвалоутворення, що призведе до ефективнішого та більш екологічно стійкого виробництва.

Для проведення дослідження технологічних параметрів відвалоутворення в залізородних кар'єрах використовуються різноманітні методи, серед яких особливе значення мають вимірювання, які надають оперативну інформацію, що є ключовою для реагування на зміни в умовах довкілля та визначення ефективних стратегій управління відвалами. Отримані дані використовуються для аналізу впливу технологічних параметрів на формування відвалів та розробки рекомендацій з метою покращення ефективності та екологічної стійкості видобувальних процесів.

Крім вищезазначених вимірювань, важливим елементом методології дослідження технологічних параметрів відвалоутворення є геолого-гідродинамічні дослідження. Ці дослідження охоплюють вивчення геологічних та гідродинамічних характеристик порід, що видобуваються, та аналіз гідрогеологічного режиму в районі кар'єру.

Вивчення геологічних характеристик порід має на меті розкрити їхню структуру, склад, твердість та інші властивості. Ці дані є важливими для визначення оптимальних методів видобутку та

прогнозування можливих геологічних аномалій, які можуть впливати на утворення відвалів.

Гідродинамічні дослідження спрямовані на вивчення режиму руху підземних вод в районі кар'єру. Аналіз гідрогеологічного режиму дозволяє зрозуміти, які підземні води можуть бути задіяні в технологічних процесах, а також визначити можливість змін у рівні ґрунтових вод, що може впливати на стійкість відвалів та якість ґрунтових вод в околиці. Геолого-гідродинамічні дослідження взаємодіють з іншими методами та надають комплексну інформацію для розуміння геологічного та гідродинамічного контексту, в якому відбувається видобуток порід та утворення відвалів.

Третім важливим методом дослідження технологічних параметрів відвалоутворення в залізорудних кар'єрах є моделювання технологічних процесів. Цей підхід включає в себе використання математичних моделей для аналізу впливу різних технологічних параметрів на утворення відвалів.

Моделювання дозволяє виробити теоретичні сценарії та прогнози розвитку подій на основі заданих параметрів. Математичні моделі включають у себе різні аспекти технологічних процесів, такі як видобуток руди, транспортування матеріалів, обробка та утворення відвалів. Аналіз математичних моделей дозволяє визначити оптимальні значення технологічних параметрів для максимальної ефективності видобутку та мінімізації відвалоутворення. Це може включати в себе розробку стратегій оптимізації видобутку, удосконалення технологій обробки руди, та регулювання режимів роботи обладнання. Моделювання технологічних процесів є інструментом прогнозування та оптимізації, що допомагає розробити конкретні рекомендації для покращення ефективності виробництва та зниження впливу на довкілля.

Четвертим методом дослідження технологічних параметрів відвалоутворення є літологічні та геофізичні дослідження. Ці дослідження включають в себе вивчення літологічного складу порід та їх геофізичних властивостей [24].

Літологічні дослідження спрямовані на аналіз хімічного та мінерального складу порід, які видобуваються в залізорудному кар'єрі. Ці дані важливі для розуміння фізичних та хімічних властивостей матеріалів, які можуть впливати на процеси відвалоутворення. Знання літології також може допомогти визначити оптимальні методи видобутку та обробки руди.

Геофізичні дослідження включають в себе вимірювання фізичних властивостей порід за допомогою різних методів, таких як сейсмічні вимірювання, вимірювання електричного опору, магнітні дослідження тощо. Ці дані дозволяють отримати інформацію про структуру та властивості порід на різних глибинах, що важливо для визначення оптимальних умов видобутку та уникнення небажаних геотехнічних проблем. Літологічні та геофізичні дослідження спільно надають детальний огляд геологічної структури об'єкта видобутку, що важливо для адекватного управління технологічними процесами та мінімізації впливу на навколишнє середовище.

П'ятим важливим методом дослідження технологічних параметрів відвалоутворення є моніторинг забруднення. Цей метод включає в себе аналіз складу та концентрації забруднюючих речовин у воді, ґрунті та атмосферному повітрі в районі залізорудного кар'єру. Моніторинг водних ресурсів включає в себе визначення концентрації різних хімічних речовин у воді, яка використовується під час видобутку та обробки руди. Це може включати металеві елементи, хімічні реагенти, та інші речовини, які можуть потрапити до водоймищ та вплинути на якість води та екосистему. Моніторинг ґрунту полягає в аналізі його складу та концентрації забруднюючих речовин. Це

важливо для визначення, чи відбувається втікання токсичних речовин у ґрунтові води та як це може впливати на здоров'я рослин та екосистему. Моніторинг атмосферного повітря охоплює вимірювання концентрації шкідливих речовин у повітрі, які можуть виникати під час технологічних процесів та відвалоутворення. Це може включати в себе викиди пилу, газів та інших забруднюючих речовин, які можуть мати негативний вплив на якість повітря та здоров'я людей. Моніторинг забруднення є необхідною складовою для визначення впливу на навколишнє середовище та для прийняття заходів щодо зменшення негативного екологічного впливу [25].

Шостим методом дослідження технологічних параметрів відвалоутворення є екологічні дослідження. Ці дослідження охоплюють вивчення впливу видобутку на екосистему кар'єру та його навколишню територію.

Екологічні дослідження дозволяють оцінити зміни в екосистемі, що можуть бути спричинені технологічними процесами та утворенням відвалів. Екологічні дослідження дозволяють визначити рівень забруднення води та ґрунту токсичними речовинами, ефективність заходів щодо екологічного контролю та виявлення потенційних ризиків для екосистеми. Ці дослідження також можуть включати моніторинг змін у популяціях рослин та тварин, вивчення біорізноманіття та оцінку стійкості екосистеми до технологічних втручань. Екологічні дослідження є ключовим елементом для забезпечення сталого та екологічно стійкого ведення гірничодобувної діяльності та допомагають в прийнятті заходів для збереження та відновлення природних екосистем.

Ця методика та методи дослідження допоможуть отримати комплексні дані щодо технологічних параметрів відвалоутворення в залізородних кар'єрах, а також розробити рекомендації для оптимізації процесів та зменшення негативного впливу на довкілля.

2.3. Розвиток концептуальних положень, що покладені в основу дослідження та прийняття робочих гіпотез

Для дослідження є важливим узагальнення та систематизація наявних знань з питань технологічних параметрів відвалоутворення в залізородних кар'єрах. Цей етап є ключовим у визначенні широкого спектру даних та інформації, яка вже є в науковому обігу. В процесі узагальнення дослідницька група оцінює доступні джерела, включаючи наукові публікації, технічні звіти, патенти, а також результати попередніх досліджень. Аналіз літератури допомагає визначити вже встановлені та перевірені наукові концепції, методології та висновки, пов'язані з технологічними аспектами відвалоутворення.

Забезпечуючи глибоке розуміння вже наявних знань, дослідницька група може ідентифікувати та визначити прогалини, аспекти, які вимагають додаткового дослідження, та потенційні напрямки для вдосконалення та розвитку даного наукового напрямку. Узагальнення існуючих знань є необхідною передумовою для розробки ефективних стратегій дослідження, а також формулювання точних питань, що цікавлять, які є відповідальним кроком у визначенні напрямку подальших наукових зусиль.

Ідентифікація ключових факторів є центральною частиною робочої гіпотези, яка передбачає глибокий аналіз технологічних параметрів процесів видобутку та утворення відвалів в залізородних кар'єрах.

Робоча гіпотеза передбачає, що систематичне вивчення та ідентифікація цих ключових технологічних параметрів дозволить зрозуміти, як саме вони взаємодіють з екосистемою та впливають на

процес відвалоутворення. Це включає в себе аспекти, такі як методи видобутку, обробка руди, управління відходами, технічні характеристики обладнання тощо.

Попередня ідентифікація цих ключових факторів є важливою для ефективного визначення причин та наслідків технологічних втручань у природне середовище. Результати цього етапу дозволяють зосередити увагу досліджень на найбільш важливих аспектах, сприяючи точнішому розумінню та керуванню технологічними процесами для забезпечення стійкості екосистем та мінімізації негативного впливу.

Вивчення ефективності технологій становить істотну частину дослідження, орієнтованого на визначення того, наскільки сучасні технології впливають на процеси відвалоутворення в залізорудних кар'єрах. Цей етап дослідження передбачає об'єктивне оцінювання та вимірювання результативності технологічних підходів з метою розробки стратегій для їх покращення.

Дослідження ефективності включає в себе визначення впливу сучасних технологій на параметри відвалоутворення, такі як обсяг та структура відходів, їхні фізико-хімічні властивості та інші параметри, які можуть впливати на довкілля. Для цього проводяться вимірювання, аналіз та порівняльна оцінка результатів різних технологічних підходів. Основною метою цього етапу є виявлення та підкреслення тих технологічних рішень, які дозволяють досягти максимальної ефективності в управлінні відвалами та мінімізації негативного впливу на екосистему. Результати дослідження слугують основою для розробки стратегій оптимізації технологічних підходів, а також для формулювання рекомендацій для галузевих практик та нормативно-правового регулювання. Цей етап є критичним для забезпечення сталого господарювання природними ресурсами та збереження екологічної рівноваги в залізорудних кар'єрах.

Гіпотеза про розвиток екологічних сценаріїв є ключовим етапом дослідження технологічних параметрів відвалоутворення в залізорудних кар'єрах. Цей етап передбачає систематичний аналіз та прогнозування різних технологічних варіантів та їхнього впливу на навколишнє середовище, з метою визначення оптимальних стратегій для збереження біорізноманіття та мінімізації негативного впливу [26].

Під час розробки екологічних сценаріїв дослідницька група аналізує різні технологічні альтернативи, враховуючи їхні можливі наслідки для природного середовища. Це може включати оцінку впливу на водні ресурси, якість повітря, ґрунтову покрівлю, та взаємодію з екосистемою. Врахування різних сценаріїв дозволяє прогнозувати можливі наслідки і визначати найбільш дієві заходи для збереження природи. Головною метою цього етапу є визначення технологічних шляхів, які найбільше сприятимуть сталому розвитку та збереженню природи. Розробка екологічних сценаріїв є важливою для прогнозування впливу гірничодобувних технологій та вибору оптимальних рішень, які сприятимуть збереженню природи та забезпеченню сталого господарювання природними ресурсами. Цей етап дослідження є критичним у визначенні балансу між господарськими і екологічними аспектами в залізорудних кар'єрах та сприяє формуванню сталих технологічних стратегій.

Формулювання оптимальних рішень є ключовим етапом дослідження, орієнтованого на розробку технологічних стратегій, спрямованих на мінімізацію відвалоутворення та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище в залізорудних кар'єрах. Основна ідея полягає у створенні оптимальних технологічних рішень, які б дозволяли забезпечити стійке та ефективне виробництво, з мінімальним впливом на природне середовище. Це включає в себе розробку інноваційних методів видобутку, оптимізацію технологічних процесів та управління

відходами, а також впровадження нових технологічних рішень, спрямованих на покращення екологічної стійкості гірничодобувної діяльності. Цей етап вимагає комплексного підходу до аналізу зібраних даних та результатів досліджень, а також врахування різних факторів, таких як економічні обмеження, соціальні вимоги та стандарти безпеки. Формулювання оптимальних рішень також передбачає консультації зі зацікавленими сторонами, включаючи галузевих представників, екологів, владні органи та громадські організації. Остаточною метою цього етапу є розробка та впровадження технологічних стратегій, що сприятимуть сталому використанню природних ресурсів, збереженню біорізноманіття та максимізації позитивного впливу на довкілля в контексті гірничодобувної діяльності.

Визначення перспектив в контексті робочої гіпотези передбачає проведення аналізу та оцінки технологічних параметрів відвалоутворення в залізородних кар'єрах з метою визначення можливостей для впровадження нових, більш сталих та ефективних методів управління відвалами.

Дослідження технологічних параметрів спрямоване на визначення переваг та недоліків існуючих методів управління відвалами та визначення областей для подальшого вдосконалення. Аналіз технологічних параметрів дозволяє розглядати сучасні та перспективні методи обробки відходів, використання нових технологій та технік, що можуть значно поліпшити сталість та ефективність управління відвалами. Робоча гіпотеза передбачає, що результати дослідження дозволять визначити не лише поточний стан використання технологій в гірничодобувній галузі, але й визначити перспективи для впровадження нових рішень. Це може включати розробку та тестування інноваційних технік, застосування передових матеріалів чи впровадження технологій з узгодженням із засобами

захисту навколишнього середовища. В цілому, визначення перспектив є важливим кроком у створенні сталого підходу до управління відвалами в гірничодобувній галузі, сприяючи розвитку більш екологічно-орієнтованих та сталих методів обробки відходів.

РОЗДІЛ 3. ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ПРОЦЕСИ ВІДВАЛОУТВОРЕННЯ РОЗКРИВНИХ ПОРІД В УМОВАХ ЗАЛІЗОРУДНИХ КАР'ЄРІВ.

3.1 Вибір місця розташування відвалів розкривних порід

Протягом життєвого циклу кар'єру, мільйони тон матеріалів, включаючи розкривні породи та руду, переміщуються кар'єрним транспортом. Через характер відкритого видобутку корисних копалин, обсяги гірничих відходів є значними та зазвичай є найбільш помітними формами рельєфу, що залишаються після видобутку корисних копалин відкритим способом.

У випадку неглибокого залягання руди, що знаходиться на глибині до 300 метрів від поверхні землі, залежно від попереднього розміру та потужності обладнання, може знадобитися від трьох до п'яти років, щоб видалення розкривних і пустих порід для оголення рудного тіла. У цей період основним місцем складування відходів гірничої добичі буде використовуватися відвал розкривних порід.

Окрім врахування характеристик відвалу, таких як геологічні та геотехнічні властивості, основними факторами, що впливають на процес транспортування, є рельєф місцевості, протяжність перевезення та вартість будівництва дороги.

Вартість перевезення кар'єрним автотранспортом, залежно від специфіки кожного кар'єру, становить від 45 до 60% вартості видобутку однієї тони руди. Таким чином, вдалий вибір місця розташування породного відвалу призводить до значної економії економічних ресурсів. Тому, при визначенні факторів, які впливають на вибір місця розташування відвалів, слід завжди розробляти ефективну модель для пошуку оптимального місця для розміщення відвалів з урахуванням мінімізації витрат, в тому числі транспортних

витрат на будівництво під'їзної дороги та враховуючи можливі економічні, технічні та екологічні проблеми.

Зростаюче занепокоєння громадськості щодо токсичності та забрудненості відходів гірничодобувної промисловості, що змушує зважати на екологічний аспект під час складування розкритих порід.

Екологічні обмеження, закони або правила, а також розташування точки виходу з кар'єру обмежує ділянку для будівництва дороги, що веде з кар'єру до відвалу розкритих порід.

Наприклад, якщо кар'єр має два транспортні виїзди, то місце розташування відвалу повинно бути збалансованим для обох виїздів. Якщо ж кар'єр має лише одну точку виходу на дорогу, то відповідно до напрямку розширення кар'єру, можна розглянути інші точки виїзду. У цьому випадку це можна розглядати як проблему розміщення об'єктів [27].

Місце розташування відвалу розкритих порід у зв'язку з цим, має бути субструктурно стійким, враховуючи технічні та економічні питання, наприклад, близькість до кар'єру.

Властивості дороги, наприклад, відстань, мають особливе значення між іншими, такими як геотехнічні характеристики, кінцева межа кар'єру, рельєф місцевості через їхній довгостроковий і непрямий вплив на продуктивність кар'єрного транспорту. Цілком зрозуміло, що тривалість циклу пересування кар'єрного транспорту нерозривно пов'язана з відстанню пересування.

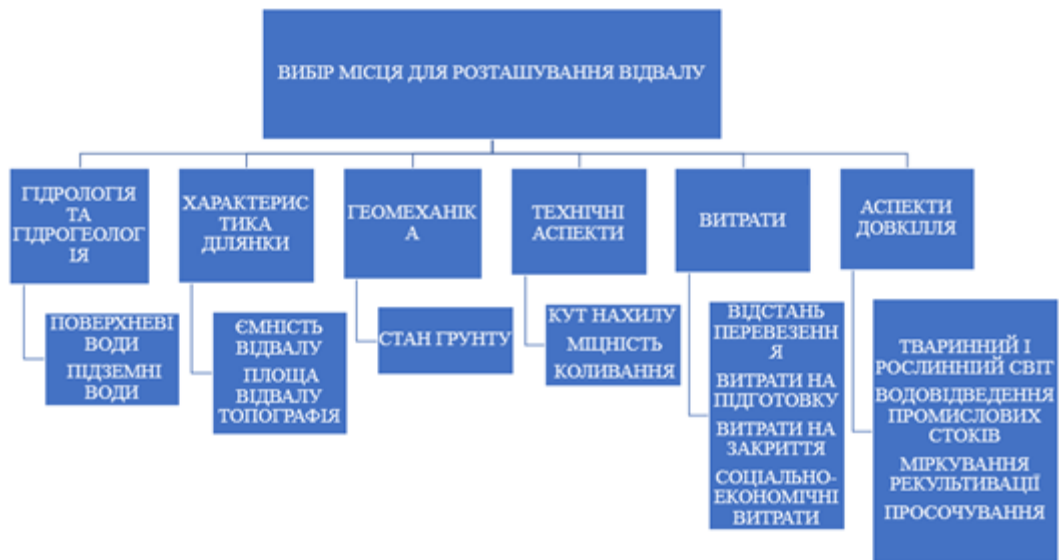


Рисунок 3.1 - Вибір місця розташування відвалу.

Відповідно до типової класифікації кар'єрних транспортних комунікацій, основними відстанями транспортування є відстані від видобувного забою кар'єру до (в середньому за перші п'ять років) дробильної фабрики та збагачувальної фабрики [28]. На рисунку 3.2 схематично показано довжину шляху руху вантажівки за основними напрямками всередині кар'єру та за його межами.

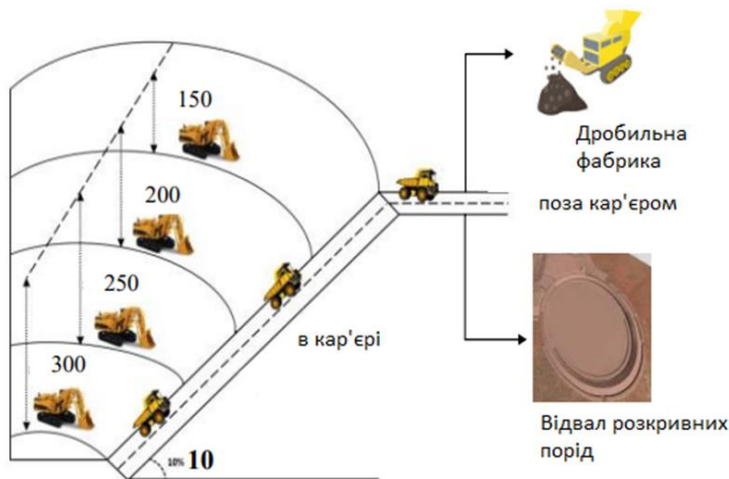


Рисунок 3.2 - Схема основних місць навантажувально-розвантажувальних робіт

Зазвичай, одним з основних місць для транспортування матеріалів після видобутку з кар'єру, є відвал. Чим коротша довжина маршруту, тим більше скорочується час на транспортування,

зменшуються відповідні фактори, таких як витрата палива, витрати на технічне обслуговування, а продуктивність техніки в свою чергу зростає. Щоб мати уявлення про основні маршрути пересування кар'єрного автотранспорту, вони класифіковані в таблиці 3.1, відповідно до початкових і кінцевих пунктів. Визначені етапи, для спрощення, відповідають відстані перевезення, наразі для наочності проігноровані інші стадії, що стосуються циклу роботи кар'єрного автотранспорту.

Таблиця 3.1 - Основні маршрути перевезень кар'єрного автотранспорту

Розташування	Призначення	Відповідний час встановлення
Місце в'їзду автотранспорту в кар'єр	Відстань від місця в'їзду автотранспорту в кар'єр до місця видобутку руди	Час, що минув від місця в'їзду автотранспорту в кар'єр до місця видобутку руди
Місце спуску між горизонтами	Відстань від горизонту до горизонту	Час, що минув до досягнення наступного горизонту
Місце завантаження автотранспорту	Відстань від точки вивантаження до точки завантаження	Час, що минув від точки вивантаження до точки завантаження
Виїзд з кар'єру	Відстань від місця завантаження до місця виїзду з кар'єру	Час від місця завантаження до місця виїзду з кар'єру
Переробний комплекс	Відстань від точки виїзду з кар'єру до переробного комплексу з обробки руди	Час від точки виїзду з кар'єру до переробного комплексу з обробки руди
Кар'єр	Відстань до кар'єру	Час у дорозі до кар'єру
Відвал розкривних порід	Відстань до відвалу розкривних порід	Час у дорозі до відвалу розкривних порід

Пошук шляхів підвищення ефективності видобутку корисних копалин має багато складових. Одним з аспектів є перевезення

породи/розкривних порід за найкоротший час до місця призначення. Тому вартість видобутку корисних копалин може бути визначена, виходячи з формула (3.1).

$$C_B = \frac{C_b + C_{вр} + C_з + C_т}{\Pi} \quad (3.1)$$

де C_B – вартість видобутку, грн/т;

C_b – вартість буріння, грн/т;

$C_{вр}$ – вибухових робіт, грн/т;

$C_з$ – завантаження, грн/т;

$C_т$ – транспортування, грн/т;

Π – продуктивність тон/год.

Очевидно, що чим менші витрати на транспортування, тим менша собівартість видобутку. Одним з найбільш відвідуваних місць при відкритому видобутку руди є відвал розкривних порід.

Основні етапи виділення місця для відвалу відходів повинні слідувати схемі, наведеній на Рисунку 3.3 і в Таблиці 3.2.

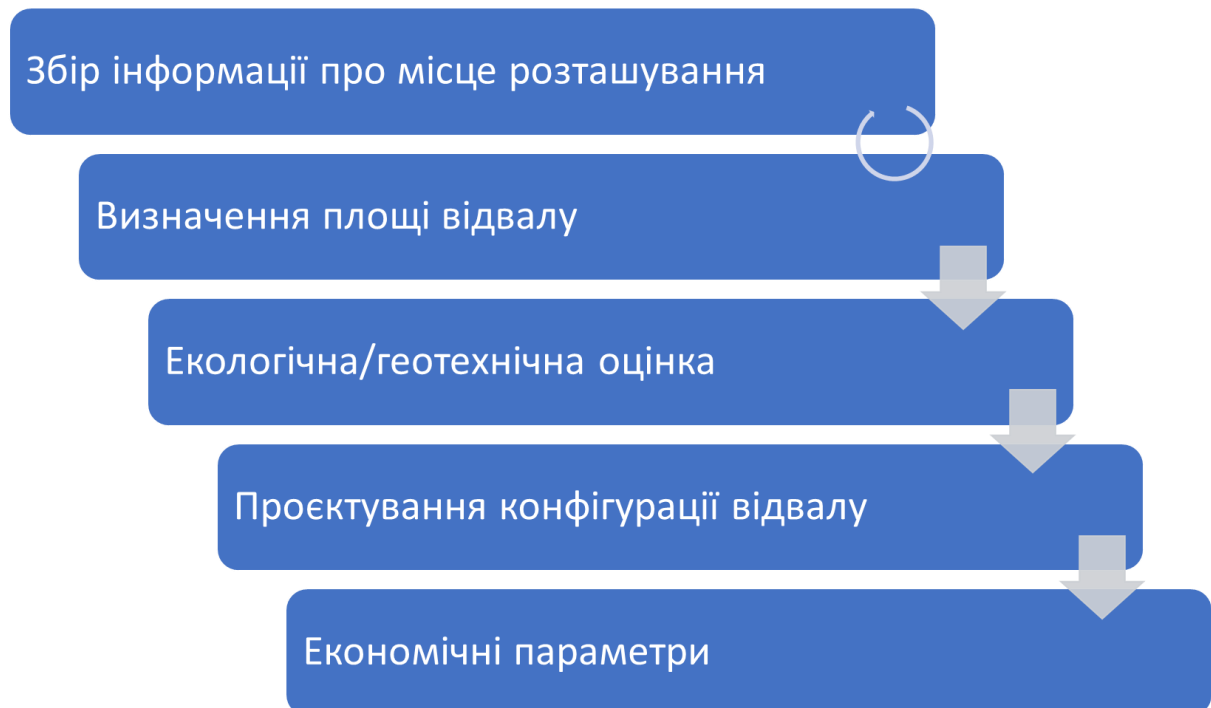


Рисунок 3.3 - Основні етапи проектування відвалу розкривних порід.

Таблиця 3.2. Основні етапи проектування відвалу розкривних порід

Етап	Опис
Збір інформації про місце розташування відвалу розкривних порід	Тип транспортного засобу, інтенсивність руху, собівартість перевезення, термін служби дороги, наявність будівельних матеріалів, обсяг відходів
Визначення параметрів розташування відвалу розкривних порід	Врахування розташування кар'єру, точка виїзду, мінімальна відстань, мінімальні витрати на утримання дороги, близькість до водного об'єкту, межі кар'єру
Оцінка екологічних та геотехнічних параметрів відвалу розкривних порід	Міцність пластів, гранулометричний склад, екологічні обмеження, просочування, затоплення
Проектування конфігурації відвалу розкривних порід	Місткість відвалу, рельєф, кут природного укосу, форма
Економічні параметри	Капітальні витрати, експлуатаційні витрати

Фактори, що впливають на вибір місця для відвалу:

- (а) об'єм пустої породи, видаленої за період експлуатації
- (б) місткість відвалу
- (в) горизонтальна і вертикальна відстань між джерелом і місцем розташування відвалу

(г) вартість і тип транспортування пустої породи від джерела до місця відвалу

(ґ) вплив розміщення пустих порід на навколишнє середовище

(д) остаточні межі кар'єру та методи видобутку руди

(є) стан ґрунту на місці відвалу

(ж) хімічні та фізичні властивості порожньої породи

(з) час, методи і вартість підготовки місця відвалу

(і) потреба у рекультивації гірничих виробок

(ї) фільтраційний ефект поверхневих і підземних вод.

За рівних умов вибору місця розташування відвалу перевага надається тим ділянкам, які забезпечують мінімальні витрати на транспортування і зберігання порожніх порід та найменший негативний вплив на навколишнє середовище [29]. Через довгостроковий характер забруднення та впливу відходів на навколишнє середовище, обраний майданчик та його інженерне облаштування повинні слугувати ефективним сховищем не лише в короткостроковій, але й у довгостроковій перспективі. Така довгострокова стабільність є надзвичайно складним завданням для інженерного проектування об'єкта, що піддається повільним, але перпендикулярним геологічним процесам, таким як вітрова і водна ерозія, хімічне і фізичне вивітрювання, просочування і вилуговування [30].

На сьогоднішній день практика склалася так, що вибір найкращого місця для розташування відвалу розкривних порід базується на багатоаспектних методах прийняття рішень (MADM), однак, дуже мало якісних, математично обґрунтованих досліджень було проведено щодо вибору місця розташування відвалів.

Різні методи MADM часто дають різні результати. Для прийняття найкращого рішення щодо вибору місця відвалу, результати суб'єктивних і об'єктивних методів MADM розглядаються для

прийняття остаточного рішення. Об'єктивні підходи, такі як метод простого адитивного зважування (SAW) та метод впорядкування за подібністю до ідеального рішення (TOPSIS), обирають шляхом математичних розрахунків, які нехтують суб'єктивними судженнями осіб, які приймають рішення.

Методи MADM можна розділити на дві групи: метод відсіювання та метод ранжування. Методи відсіювання виключають альтернативи, які не задовольняють заздалегідь обраним умовам для отримання можливого і бажаного рішення. Методи ранжування, такі як SAW, АНР та TOPSIS, впорядковують всі альтернативи від найкращої до найгіршої [31].

SAW, який відомий як метод зваженої лінійної комбінації або метод бальної оцінки, є простим і найчастіше використовуваним методом прийняття рішень за багатьма атрибутами. TOPSIS заснований на основі концепції, що обрана альтернатива повинна мати найкоротшу відстань від ідеального рішення і найвіддаленішу від негативного ідеального рішення [32]. АНР являє собою потенційно потужний і гнучкий процес прийняття рішень процес, який допомагає визначити пріоритети і прийняти найкраще рішення, коли необхідно врахувати як якісні, так і кількісні аспекти рішення.

Суб'єктивні підходи, такі, наприклад, як метод аналізу ієрархій (MAI), обирають можливі варіанти лише відповідно до уподобань особи, яка приймає рішення, тоді як об'єктивних підходах, варіанти розраховуються на основі математичних методів автоматично, без урахування уподобань особи, яка приймає рішення [33].

Оскільки як суб'єктивні, так і об'єктивні підходи мають свої переваги та недоліки, інтегрований метод видається більш доцільним при визначенні відповідного місця для відвалів. Ранжування альтернативних варіантів слід здійснювати шляхом поєднання результатів цих методів. За допомогою цього підходу можна

систематично аналізувати конкретні критерії відбору і вибрати найкраще місце з більшою точністю.

Визначення оптимального маршруту від місця видобутку корисної копалини в кар'єрі до місця розташування відвалу розкривних порід та/або переробного комплексу, повинно враховувати наступні фактори: розташування інших об'єктів відносно один одного; мінімальний обсяг земляних робіт; навколишнє середовище, геометрія, контроль стійкості, обмеження; фіксовані витрати, такі як ремонт та утримання доріг, будівництво мостів та тунелів (у разі необхідності).

Залежно від типу кар'єру, вартість транспортування сильно варіюється. Більшість витрат, пов'язаних з будівництвом доріг включає в себе такі витрати залежно від етапу:

1. При підготовці до будівництва дороги практично завжди необхідне риття каналів, оскільки під час відпрацювання кар'єру потрапляння води до дорожньо-будівельного матеріалу і основи повинно бути зведена до мінімуму.

2. При будівництві кар'єрних доріг витрати включають підготовку земляного полотна, укладання та підготовку матеріалів основи, укладання та підготовку матеріалів для покриття, влаштування берм та кюветів.

3. Витрати, пов'язані з демонтажем дороги, яка втратила свою необхідність.

Якість побудованої дороги матиме подальший прямий вплив на опір коченню, який в свою чергу матиме прямий вплив на швидкість вантажівок і, отже, на продуктивність кар'єрного автотранспорту. Тимчасові дороги, як правило, мають гіршу якість і створюють більший опір коченню, ніж інші дороги [34]. Протягом останнього десятиліття деякі дослідники розробили моделі управління породними відвалами, спрямовані на зменшення витрат, пов'язаних з транспортуванням

пустої породи з кар'єру до запропонованих пунктів призначення [35-37].

На основі попередніх досліджень, різні кількісні та якісні фактори беруть участь у виборі місця розташування відвалів гірничих порід (див. Таблицю 3.3).

Таблиця 3.3. Фактори, що впливають на вибір місця відвалів розкривних порід

Головний критерій	Додаткові критерії	Пропозиції
Топографічні умови	Форма майданчика для відвалу, місткість, відстань транспортування	Поєднувати управління відвальними роботами з напрямком розширення кар'єру
Гідрологічні та метеорологічні умови	Кількість опадів, швидкість і напрямок вітру, водовідведення вод з підвищеною кислотністю, регіональний водний режим, якість поверхневих вод	
Геологічні та геомеханічні умови	Стан земляної основи, пустотність та просочування, розломи, міцність, стійкість до вібрація внаслідок вибухів	Враховувати породи, з яких складаються шари відвалу розкривних порід
Технічні аспекти	Спосіб видобутку, межі кар'єру, система транспортування, обсяг розкривних порід	
Екологічні аспекти	Фізичні та хімічні властивості порід, рекультивация	Приділяти увагу питанням сталого розвитку, майбутнього землекористування
Економічні параметри	Капітальні та експлуатаційні витрати	Врахувати вартість земляних робіт та утримання доріг

В цілому можна зазначити, що хоча дослідженням вибору та методів вибору місця розташування відвалів вченими в останній час стало приділятися значно більше уваги, слід далі продовжувати вивчення цього питання [38-44].

Метою подальших досліджень є пошук оптимального місця розташування основного відвалу розкривних порід таким чином, щоб збалансувати компроміс між вартістю транспортування, вартістю будівництва відповідної під'їзної дороги та впливом на навколишнє середовище.

Слід далі більш поглиблено вивчати фактори, що впливають на місце розташування на місце розташування відвалу розкривних порід, адже попередні дослідження зосереджувалися лише на оптимізації розміщення породних відвалів та управлінні ними. Згідно з таблицею 3.3, більшість досліджень щодо вибору місця розташування відвалів ґрунтується на методах скринінгу або ранжування. Перше, на що слід зважати це те, що потенційні ділянки, є альтернативними, зважаючи на такі їхні характеристики, як місткість відвалу та відстань транспортування. Далі, слідуючи звичним шляхом, якісна ознака перетворюється на кількісну. На останньому етапі шляхом ранжування альтернатив вибирається обирається найкраща, яка відповідає застосованому методу. Запропонована модель визначає мінімальну відстань перевезення як одну з основних характеристик при виборі розташування відвалу. Вона намагається використовувати блоки відвалів шахтних відходів як

Можна зробити деякі висновки, що ретельний відбір місць для складування розкривних порід, є дуже важливим. Перш ніж вибрати найбільш підходяще місце, необхідно провести низку досліджень. У кожному конкретному випадку важливо мати можливість порівнювати і зважувати всі фактори для ефективного вибору розташування відвалу розкривних порід. Підсумовуючи вищесказане, можна

зазначити, що вдалий вибір місця розташування відвалів розкривних порід впевнено сприяє значній економії ресурсів. Тому постановка математичного методу, для визначення правильного місця розташування відвалів, незалежно від якісних методів, є першочерговим завданням для подальших досліджень в цій галузі.

3.2 Дослідження методу багатоступеневого процесу відвалоутворення (MSDS)

Управління відходами та екологічні аспекти дедалі більше привертають увагу у гірничодобувній промисловості. Планувальники гірничих робіт повинні вирішувати все більш складні завданнями, щоб збалансувати графіки видобутку рудних блоків, утилізацію відходів, експлуатаційні витрати та екологічною рекультивацією. У більшості випадків значний відсоток операційних витрат припадає на перевезення та утилізацію відходів. Таким чином, необхідно ретельно продумати стратегію планування, щоб для мінімізації непотрібних витрат. Вибір місць для відвалів відходів є також є складним завданням. Необхідно враховувати багато експлуатаційних і технічних аспектів, не кажучи вже про не кажучи вже про екологічні обмеження, які стають дедалі жорсткішими. У цьому розділі досліджується новий підхід до управління відходами гірничодобувного виробництва, який називається багатоступенева послідовність відвалоутворення (MSDS - multi-stage dumping sequence), що передбачає використання тимчасових відвалів на шляху до остаточного розміщення відвалу.

З метою максимізації чистої приведеної вартості (NPV) і припускаючи, що прибуток і дохід, як правило, пов'язані з видобутком/збагаченням/реалізацією руди, більшість досліджень щодо планування гірничих робіт зосереджуються на оптимізації

послідовності видобутку руди, а не на поводженні з відходами. Поводження з відходами та їх послідовність відіграють важливу роль у стратегічному плануванні, враховуючи, що зазвичай обсяг відходів більший, ніж обсяг руди.

Відходи родовища, за визначенням, мають нульовий або нерентабельний вміст, щоб виправдати їх відправку на переробне підприємство, тому вони не приносять жодного прибутку [45], і в більшості випадків повинні бути відправлені до належного місця призначення, наприклад, у відвал або прямо на звалище відходів. Зважаючи на те, що значну частку серед експлуатаційних витрат при видобутку руди складає перевезення розкривних порід з кар'єру до кінцевого пункту призначення, пошук шляхів зменшення таких витрат є завданням, яке має бути цілеспрямованим при плануванні гірничих робіт, зважаючи на його економічну та стратегічну важливість.

Серед інноваційних пропозицій у сфері відвалоутворення розкривних порід виділяються дослідження [46] в яких запропоновано новий метод утилізації відходів під назвою багатоступенева послідовність відвалоутворення (MSDS). Цей метод передбачає розміщення тимчасових звалищ розкривних порід на шляху до кінцевого місця захоронення, а також планову повторну обробку відходів на початку експлуатації. Цей підхід забезпечує додатковий час для пошуку найкращого місця для остаточного захоронення відходів, а також для підготовки та отримання ліцензій, пов'язаних з ним. Основною метою такого підходу є зменшення витрат на перевезення відходів у перші роки, оскільки це зменшує відстань перевезення і, відповідно, інвестиції у вантажні автомобілі та дороги. Хоча вважається, що при перевезенні відходів з/на тимчасові звалища збільшуються витрати на одиничні перевезення, вони компенсуються за рахунок скорочення відстані перевезення, що призводить до збільшення чистої приведеної вартості (NPV) у перші роки. У цій

методології використовується інтегроване планування гірничих робіт і послідовність видалення відходів, а також застосування на реальному прикладі, щоб продемонструвати її застосовність при виконанні. Оцінка та порівняння MSDS зі звичайним підходом (без використання тимчасового відвалу) була проведена за допомогою комп'ютерного алгоритму з використанням мови Python з метою пошуку найкращого можливого рішення для запропонованого випадку.

Для пояснення та висвітлення відмінностей між традиційним підходом та підходом MSDS, розглянемо Рисунок 3.4, де відстань від виходу з кар'єру до кінцевого місця відвалу позначена "X".

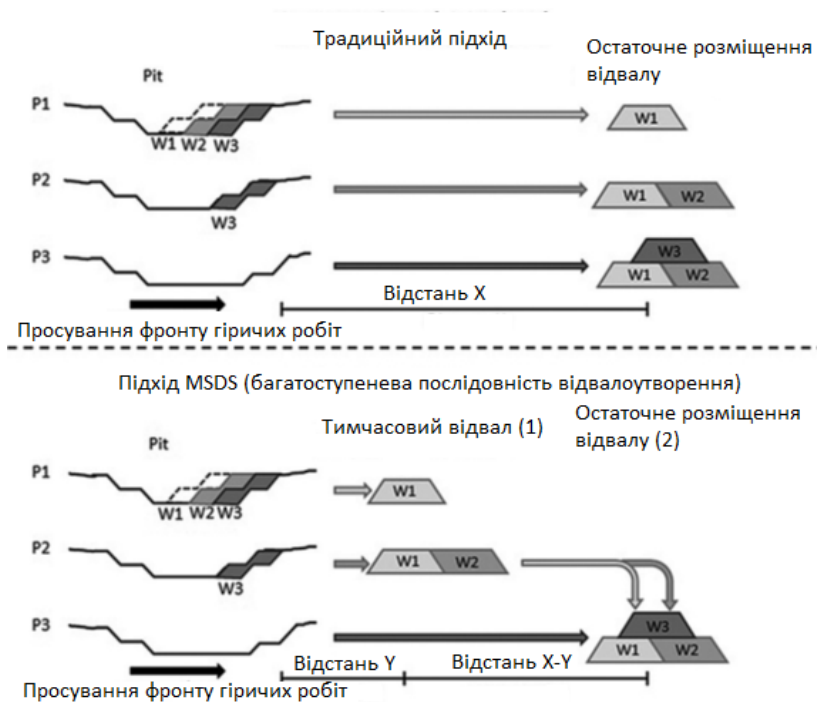


Рисунок 3.4 - Порівняння між традиційним підходом та підходом MSDS, де "P" позначає період, "W" - кількість відходів, вироблених за кожний період.

За традиційного підходу пуста порода перевозиться на відстань "X" протягом усього терміну експлуатації кар'єру, уникаючи повторної обробки відходів і дотримуючись фіксованих відстаней перевезення за межами кар'єру. У підході MSDS для покриття відстані "X" розглядаються два етапи: перший етап складається з перевезення

відходів до тимчасового відвалу, розташованого на відстані "Y" від виходу з кар'єру; і другий етап складається з повторного транспортування відходів з тимчасового відвалу до остаточного відвалу (відстань "X мінус Y"). Наприклад, на рисунку 3.4 (де P - період експлуатації кар'єру) пуста порода з P1 (W1) і P2 (W2) буде перевозитися на відстань "Y" від виходу з кар'єру, поки не досягне повної місткості тимчасового відвалу. У P3 (останній період експлуатації кар'єру) W3 відправляється до кінцевого відвалу (відстань "X"), а W1 і W2, розміщені на етапі тимчасового відвалу, також перевантажуються до кінцевого місця (яке перевозиться на відстань "X мінус Y").

Сума відстаней перевезення є подібною для обох методів; однак, у підході MSDS загальна відстань перевезення в P1 і P2 (сума відстаней) є меншою порівняно з традиційним методом за той самий період, що зменшує загальні витрати на перевезення. Як наслідок, відстань перевезень на наступних етапах може збільшитися, що також призведе до збільшення вартості перевезень. Однак, при розрахунку чистої приведеної вигоди (NPV) враховуються штрафні санкції за періодами (чим довший період, тим більша штрафна санкція), і збільшення вартості перевезень на пізніших етапах також буде пом'якшено штрафними санкціями за періодами, що призведе до нижчої кінцевої вартості NPV.

Для тестування та ілюстрації підходу MSDS було проведено тематичне дослідження на кар'єрі в Бразилії. Частина існуючої блокової моделі, що представляє сектор кар'єру, було імпортовано до програмного забезпечення NPV Scheduler® для побудови математичної моделі кар'єру та планування послідовності для всіх блоків. Зважаючи на те, що в цьому дослідженні основна увага приділяється управлінню відходами, а також враховуючи, що всі рудні блоки відправляються в одне місце (тобто на збагачувальну фабрику)

з фіксованою відстанню перевезення для будь-якого тестового сценарію, всі результати, наведені тут, відображають лише витрати, пов'язані з перевезенням і завантаженням блоків відходів за межами кар'єру.

Базовим сценарієм був прийнятий традиційний підхід. Було визначено вихід з кар'єру та місце остаточного захоронення відходів. Графік розглядає перший 10-річний період видобутку і пов'язане з ним поводження з відходами, також з річною послідовністю.

У цьому дослідженні було побудовано алгоритм оптимізації за допомогою алгоритму для пошуку найкращого можливого рішення з урахуванням коливань деяких змінних. Відстань до тимчасового звалища відходів та швидкість їх переробки були змінені, щоб знайти найнижчу можливу вартість NPV. Інші параметри залишилися фіксованими, такі як витрати на транспортування та завантаження, відстань до кінцевого відвалу та об'єм тимчасового відвалу, який був встановлений на рівні 1 млн. тон відходів, що відповідає 2 рокам експлуатації відвалу. Тимчасовий відвалу було розміщено на ділянці, яка буде розроблятися в майбутньому (після 10-го року), і воно розташоване між виходом з кар'єру і кінцевим місцем розташування відвалу. Таким чином, тимчасовий відвал повинен бути повністю вивезений до 10-го року, щоб уникнути більш високих коефіцієнтів розкриття або затримок у послідовності видобутку корисних копалин.

Витрати на переробку вважалися рівними витратам на видобуток і не включали жодних додаткових загальних та адміністративних витрат, оскільки вони вже оплачуються поточним виробництвом. Кінцевий відвал розташований на відстані 5 км від виходу з кар'єру (відповідно до початкового базового плану гірничих робіт), вздовж червоної лінії, що позначає дорогу, як показано на Рисунку 3.5, а річний обсяг переміщення відходів визначено як 15 млн. тон на рік. Під час аналізу тимчасовий відвал буде розташовуватися

на різних ділянках дороги до кінцевого місця складування відходів (від 0,5 до 4,3 км), щоб знайти місце, яке забезпечить найнижчий показник NPV витрат.

Необхідна кількість вантажівок для виконання запланованих сценаріїв була розрахована з урахуванням коефіцієнту використання 90% та механічної доступності 85%. Середня швидкість руху вантажівок під час переміщення з вантажем та без вантажу також була оцінена з метою розрахунку обсягів виробництва вантажівок.

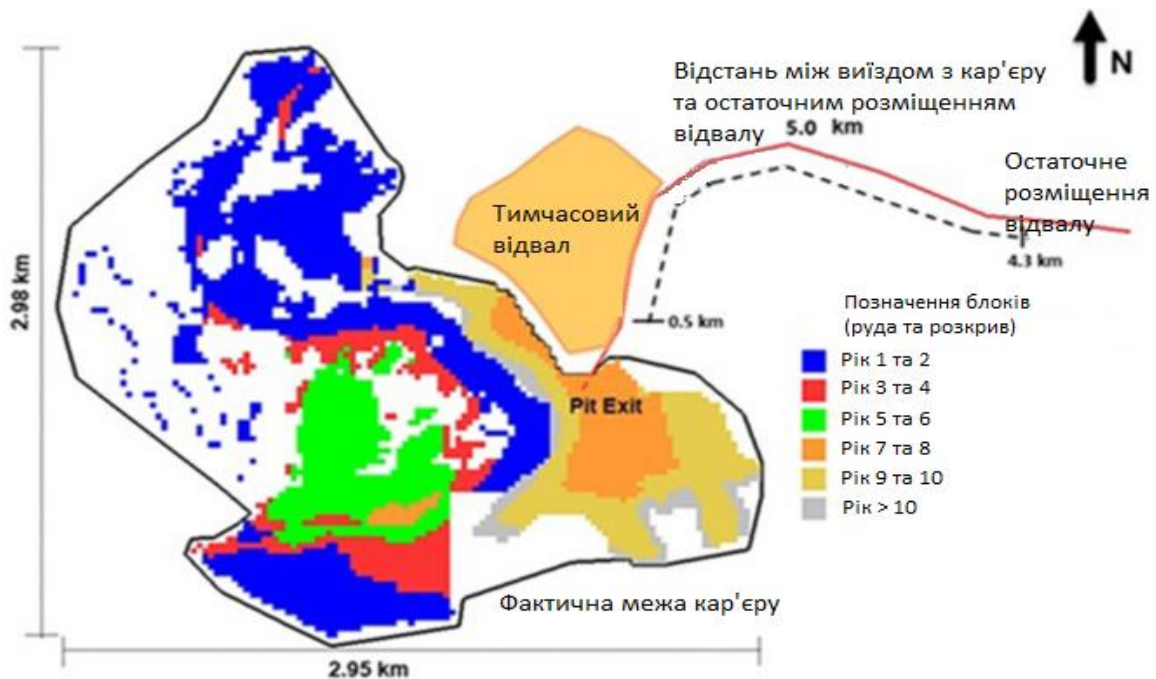


Рисунок 3.5 - Графік блоків на 10-річний період і розташування виходу з кар'єру та остаточного відвалу (5 км від виходу з кар'єру), а також тимчасових полігонів для відвалів. Ілюстративне зображення (не в масштабі).

Спостерігаючи за результатами, показаними на Рисунках 3.6 (операційні витрати) та 3.7 (придбання вантажівок), можна помітити зворотну залежність NPV витрат від інтенсивності переробки та відстані від виходу з кар'єру до тимчасового звалища відходів. Як і очікувалося, вищі показники переробки потребують більшої кількості вантажівок; однак, розміщення тимчасового відвалу ближче до виходу з кар'єру також може призвести до збільшення кількості необхідних

вантажівок. Наприклад, розміщення тимчасового відвалу занадто близько до кар'єру призведе до збільшення відстані на другому етапі перевезення від тимчасового відвалу до кінцевого пункту призначення відвалу. Така ситуація, пов'язана з високим коефіцієнтом перевантаження, призведе до необхідності придбання більшої кількості вантажівок.

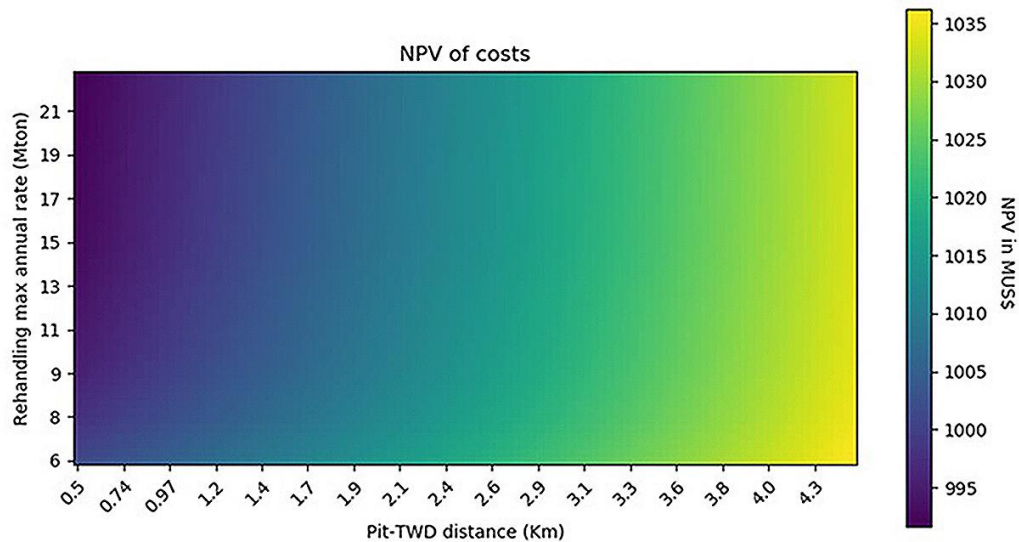


Рисунок 3.6 - Динаміка NPV витрат з урахуванням річного обсягу переробки та відстані від кар'єру до тимчасового звалища відходів (ТЗВ). Придбання додаткового обладнання не розглядається.

Вибір періоду для початку і завершення перевантажувальних операцій є ключовим рішенням, і він безпосередньо пов'язаний з коефіцієнтом перевантаження. Алгоритм завжди вважає, що операція з переробки закінчується на 10-му році, тому коефіцієнт переробки буде диктувати, коли ця операція почнеться.

На Рисунку 3.8 зображено кругову хвилю, яка пов'язана з коефіцієнтом використання вантажівок та їх доступністю. Якщо коефіцієнт перевантаження та/або відстань до тимчасового звалища дещо збільшити, може відбутися різке зростання вартості NPV. Це зростання пояснюється необхідністю придбання додаткової вантажівки, що призведе до зниження коефіцієнту використання та

незбалансованої роботи з виїмки/перевезення (перевищення вантажопідйомності в потрібний момент додавання нової вантажівки до автопарку).

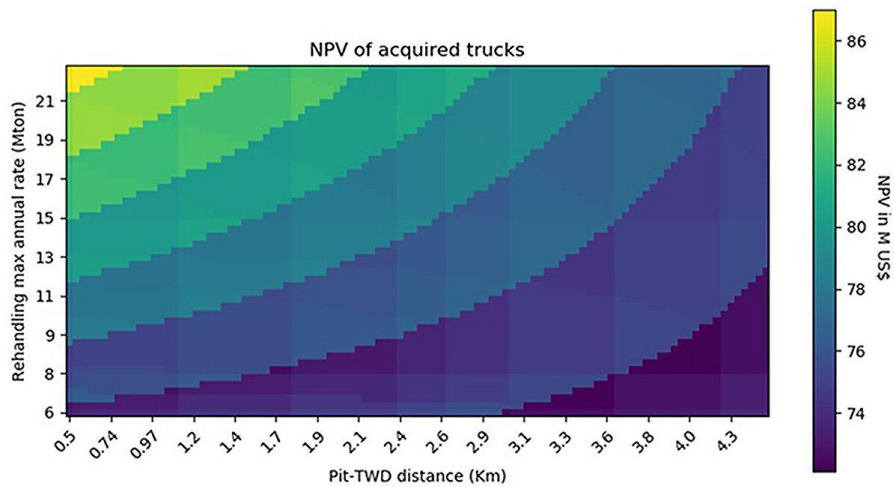


Рисунок 3.7 - Динаміка NPV витрат на придбання вантажівки з урахуванням перевантаження річна норма та відстань від кар'єру до тимчасового звалища відходів (ТЗВ).

Поєднання обох типів поведінки, дає нам більш реалістичний огляд можливих результатів і взаємозв'язків між змінними. Хвилеподібна та кругова моделі є результатом впливу NPV вартості придбання вантажівок, що спричиняє стрибкоподібний ефект для будь-якого випадку при одночасному збільшенні коефіцієнту повторної обробки.

Цікаво, що найкращі можливі випадки MSDS (темно-сині області) не обов'язково пов'язані з екстремальними значеннями змінних, як можна було б очікувати. Наприклад, інтуїтивно зрозуміло, що розміщення тимчасового звалища відходів якомога ближче до виходу з кар'єру та вищий рівень переробки забезпечить найнижчу вартість NPV, чого не видно на Рисунку 3.9.

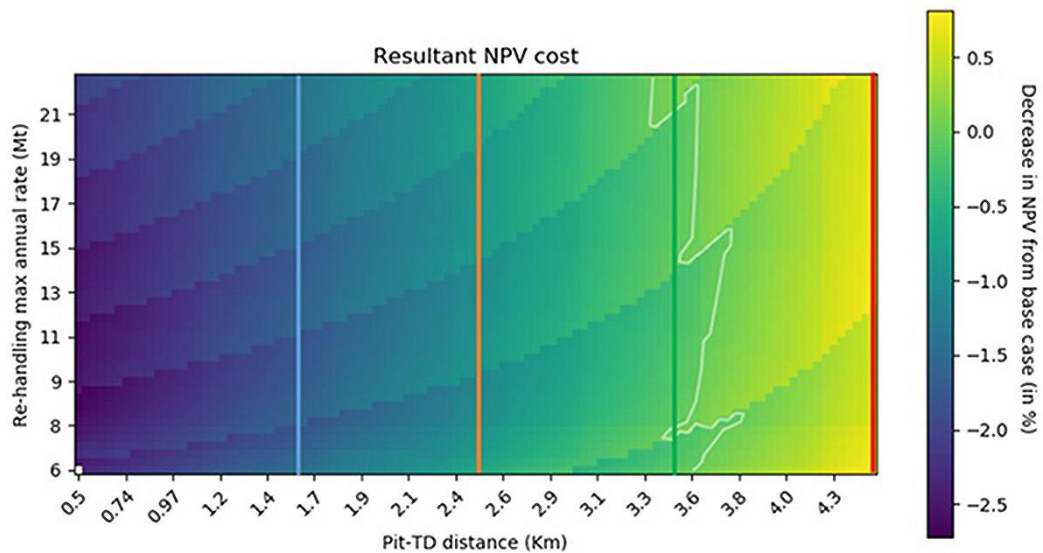


Рисунок 3.8 - Поведінка результуючої NPV витрат для методу MSDS у порівнянні з базовим варіантом (світло-зелена лінія) з урахуванням відстані до тимчасового відвалу, річного обсягу переробки та кількості необхідних вантажівок. Вертикальні лінії (синя, помаранчева, зелена та червона) представляють вибрані сценарії з фіксованою відстанню від кар'єру до тимчасового відвалу.

Найпривабливіші економічні сценарії, які мінімізують витрати на NPV, досягаються за допомогою комбінацій частоти повторної переробки та відстані від кар'єру до тимчасового звалища. Ця поведінка може бути краще візуалізована на Рисунку 3.9. Всі лінії MSDS мають сходинки при прогресивному збільшенні коефіцієнту переробки, але вони відрізняються за частотою між сходинками. Кожен пік на кривих відображає комбінацію відстані перевезення та збільшення коефіцієнту перевантаження, що вимагає придбання однієї додаткової вантажівки на кожному стрибку на графіках. Синя лінія (1,6 км від виходу з кар'єру до тимчасового відвалу) має вищу частоту кроків через більшу відстань від тимчасового відвалу до кінцевого відвалу. Більша відстань для перевезення переробленого матеріалу робить кількість необхідних вантажівок більш чутливою до змін в обсягах переробки, що призводить до збільшення частоти

перевантажень. З іншого боку, зелена і червона лінії (з 3,5 км і 4,5 км від виходу з кар'єру до тимчасового відвалу відповідно) показують коротшу відстань перевезення від тимчасового до кінцевого відвалу, з меншою кількістю етапів, що робить необхідну кількість вантажівок менш чутливою до змін швидкості переробки.

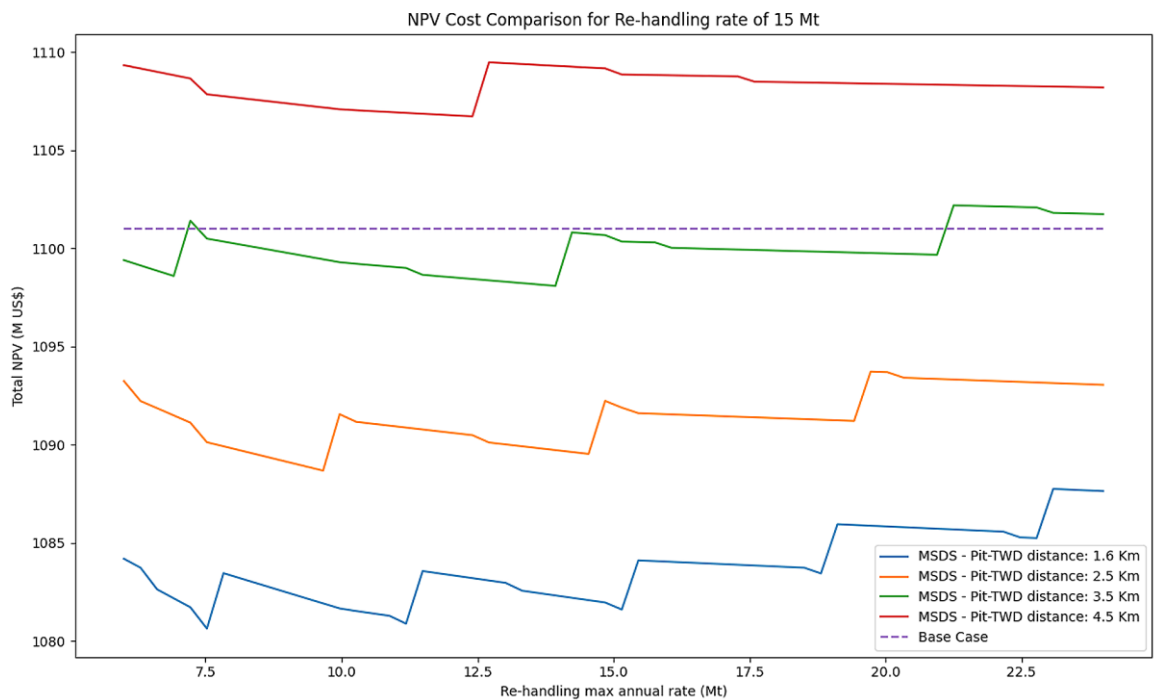


Рисунок 3.9 - Поведінка загальної вартості NPV для чотирьох різних сценаріїв відстані від кар'єру до тимчасового відвалу.

Дослідження надало інформацію, яка свідчить про життєздатність методу поводження з відходами MSDS з використанням повторної обробки відходів з точки зору стратегічного планування, відкриваючи нові операційні альтернативи в гірничодобувній промисловості. Ці результати суперечать загальновідомій парадигмі гірничодобувної промисловості, яка стверджує, що повторна обробка відходів завжди збільшує експлуатаційні витрати, вважаючи її чимось, чого слід уникати за будь-яку ціну. Аналізуючи тематичне дослідження з економічної точки зору, використовуючи NPV, MSDS отримано демонстрацію, що воно є здійсненним, коли тимчасовий відвал розташований на відстані до 3,3

км від виходу з кар'єру (з урахуванням кінцевого відвалу, розташованого на відстані 5 км від виходу з кар'єру), що забезпечує широкий і гнучкий діапазон для повторної обробки, і при цьому має результати, які показують кращий економічний сценарій, ніж традиційний підхід.

Зменшення кінцевої відстані відвалу від виходу з кар'єру також скоротить діапазон доцільності застосування методу MSDS, а це означає, що операція з переробки повинна бути ще більш точною і менш поблажливою, хоча і економічно вигідною.

Крім того, скорочення капітальних витрат протягом перших років (тобто менша кількість обладнання, яке необхідно придбати) забезпечує більш сприятливий і менш ризикований інвестиційний сценарій, враховуючи коливання цін на сировинні товари та ринки, які можуть створювати рівень невизначеності, що ставить під загрозу гірничодобувний проект. У цьому тематичному дослідженні було показано, що MSDS забезпечує додатковий 2-річний період перед відправкою відходів на остаточне захоронення. За цей час можна отримати досвід та оперативні дані, що є цінним ресурсом для планувальників та осіб, які приймають рішення.

З екологічної точки зору, підхід MSDS також забезпечує стратегічну гнучкість в управлінні відходами, що дозволяє змінювати місця захоронення відходів на внутрішньокар'єрне захоронення, що значно зменшує вплив на навколишнє середовище. У певний момент часу повторна обробка може вважатися життєздатною і використовуватися для засипання кар'єру замість того, щоб відправляти матеріал на остаточне звалище і впливати на додаткову територію. Майбутній видобуток не допускатиме жодних інших впливів на навколишнє середовище, окрім тих, що є суворо необхідними.

Подальші дослідження все ще тривають, щоб зрозуміти причинно-наслідкові зв'язки з іншими змінними для кращого визначення контурних умов, щоб розглядати MSDS як безумовно здійснений альтернативний метод управління та оптимізації відвалоутворення.

3.3 Аналіз впливу гранулометричного складу на характеристики відвалів розкривних порід

Видобуток корисних копалин приносить людству багато беззаперечних переваг, таких як швидке економічне зростання, виробництво нових інтелектуальних технологій для заводів, лікарень, будівництва та інших об'єктів, але і одночасно також створює ряд екологічних та інших проблем, наприклад таку проблему як зсув у відвалах розкривних порід кар'єрів, тому важливість поглиблених досліджень небезпечних факторів, які сприяють зсувам, є нагальною. Очевидним є те, що зі збільшенням обсягів видобутку корисних копалин відповідно, збільшуватиметься також кількість розкривних порід, які складуються у відвали. Тому такі відвали повинні мати належне управління, а також слід проводити більше досліджень щодо небезпечних факторів, які впливають на зсуви, для створення та функціонування кращого та безпечнішого середовища відвалів розкривних порід [47-49].

Відвал розкривних порід являє собою гігантське штучне пухке тіло, що складається з частинок (зерен) різних розмірів - дрібних, середніх та крупних.

Попередні дослідження науковців достеменно встановили, що тиск відіграє важливу роль у впливі на співвідношення пустот і

коефіцієнт проникності в породах з яких складаються відвали, а управління та контроль висоти таких відвалів має велике значення, проте необхідні подальші дослідження для встановлення глибших взаємозв'язків та розробки превентивних заходів для збереження укосів відвалів стабільними і безпечними.

Вода широко відома як один з основних факторів, що спричиняють зсуви; згідно зі статистикою, понад 90% зсувів пов'язані з водою [50]. Під час дощу, коли вода просочується в схил, тиск порової води збільшується [51], зменшуючи опір зсуву насиченого ґрунту, що призводить до швидких, довготривалих зсувних моментів [52]. Відвал розкривних порід схильний до геологічних катастроф через розпушення ґрунту [53] та різний розмір часток ґрунту в ньому. Розглянемо далі фактори та взаємозв'язки, що впливають на співвідношення пустот і проникність води в породах відвалів розкривних порід.

Такі вчені, як Tovele, Gerson & Han, Liu & Shu, Ji провели дослідження поведінки часток різного розміру під час ущільнення під тиском і їх пустотність [54]. Основними цілями було визначено: вивчення і розуміння механічних та фізичних змін в зразках різного розміру при різних діючих тисках; аналіз проникності води в ґрунтах відвалів під дією тиску; отримання взаємозв'язку між коефіцієнтом проникності, об'ємним вмістом пустот та діючим тиском.

Зразки ґрунту були обрані відповідно до трьох розмірів частинок: глина (дрібнозернистий зразок), пісок і пісковик. На рисунку 3.10 показано три різні зразки, використані в цьому досліді.

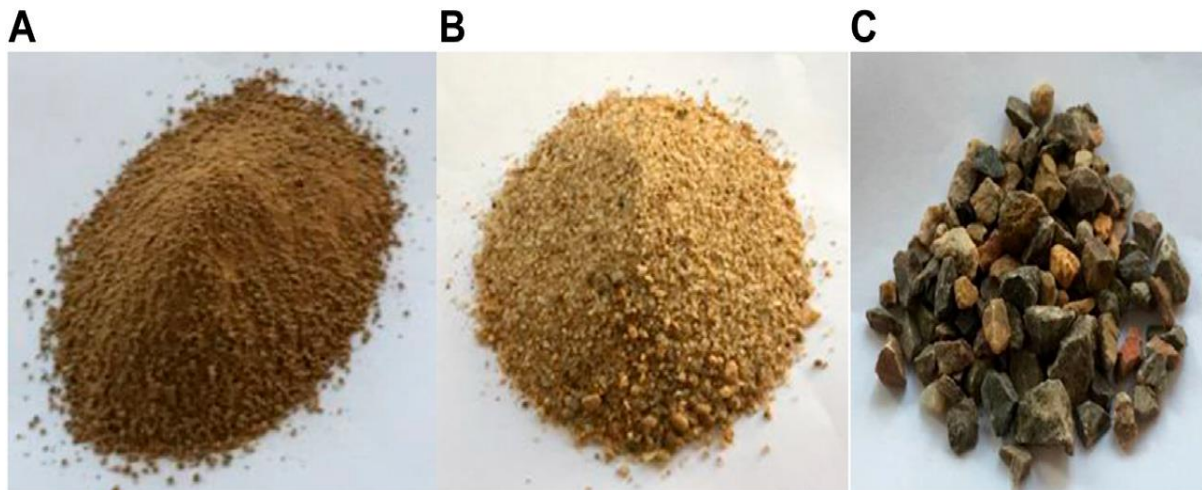


Рисунок 3.10 - Використані зразки. (А) Дрібнозернистий зразок (глина); (В) середньозернистий зразок (пісок); (С) крупнозернистий зразок (пісковик).

Оскільки відвал розкривних порід складається з частинок з різним відсотковим складом в різних породах, проведено випробування різних складів ґрунту для наступних зразків: 1:1:1, 1:2:4, 1:4:2 і 4:2:1 (глина: пісок: пісковик).

У таблиці 3.4 наведено індексні властивості зразків, що використовувалися для випробування на ущільнення та проникність.

Таблиця 3.4. Індексні властивості зразків, що використовувалися для випробування на ущільнення та проникність

Назва зразка	Діаметр, мм	Питома вага	Вологість, %	Щільність в сухому стані, $\times 10^3$ кг/м ³	Когезія, кПа	Кут внутрішнього тертя, °
Дрібний (глина)	0,25-0,50	2,53	36,56	1,31	38,3	28,5
Середній (пісок)	0,8-2,0	2,69	30,6	1,48	1,65	33,15
Крупний (пісковик)	5,0-8,0	2,41	5,5	1,39	0	36
1:1:1	-	2,54	14,57	1,85	-	-
1:2:4	-	2,51	17,93	1,73	-	-
1:4:2	-	2,59	14,67	1,88	-	-
4:1:2	-	2,52	21,03	1,65	-	-

Під час експериментів досліджувалися зразки ґрунту під тиском, що означає використання навантажень для ущільнення ґрунту, в результаті чого ґрунт мав ущільнюватися разом більш тісно. Потім

проводилися випробування на проникність для перевірки законів просочування в зразках під тиском. Використовувалася та ж сама послідовність ступенів навантаження, що і при випробуванні на ущільнення - 100, 200, 400, 800 і 1 600 кПа.

Під час експериментів вдалося проаналізувати реакцію руйнування крупнозернистих зразків під час ущільнення (див. Рисунок 3.11).



Рисунок 3.11 - Реакція крупнозернистого зразку на тиск.

Як можна побачити на рисунку 3.11, після випробування на ущільнення, яке проводилося шляхом застосування високого тиску, відбувається наступний процес: при руйнуванні крупнозернистих зразків за допомогою тиску, утворюється значна кількість дрібнозернистих фрагментів породи, після чого ці вони починають взаємодіяти між собою і заблоковують таким чином порожнечу, які існували до впливу тиску на них, безпосередньо впливаючи на такі показники як співвідношення порожнечу та коефіцієнт проникності.

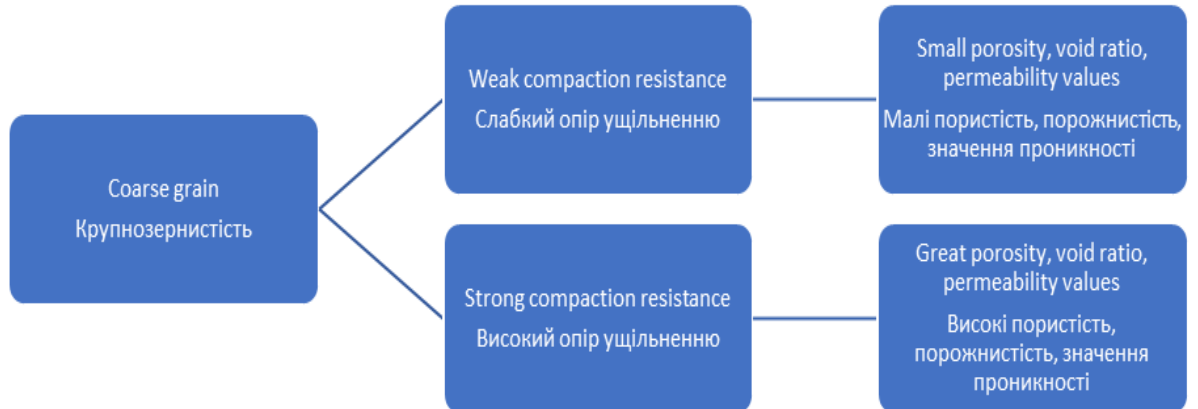


Рисунок 3.12 - Взаємозв'язок між опором ущільненню та порожнистістю і проникністю.

Згідно з представленими результатами дослідження було створено приблизну та спрощену схему поведінки зразків під час ущільнення (див. рис. 3.13).

Експериментом встановлено, що коли до крупнозернистого зразка прикладається значний тиск, то в результаті цього відбувається контакт між його елементами, що призводить до зменшення об'єму внаслідок процесів руйнування та інтеркаляції.

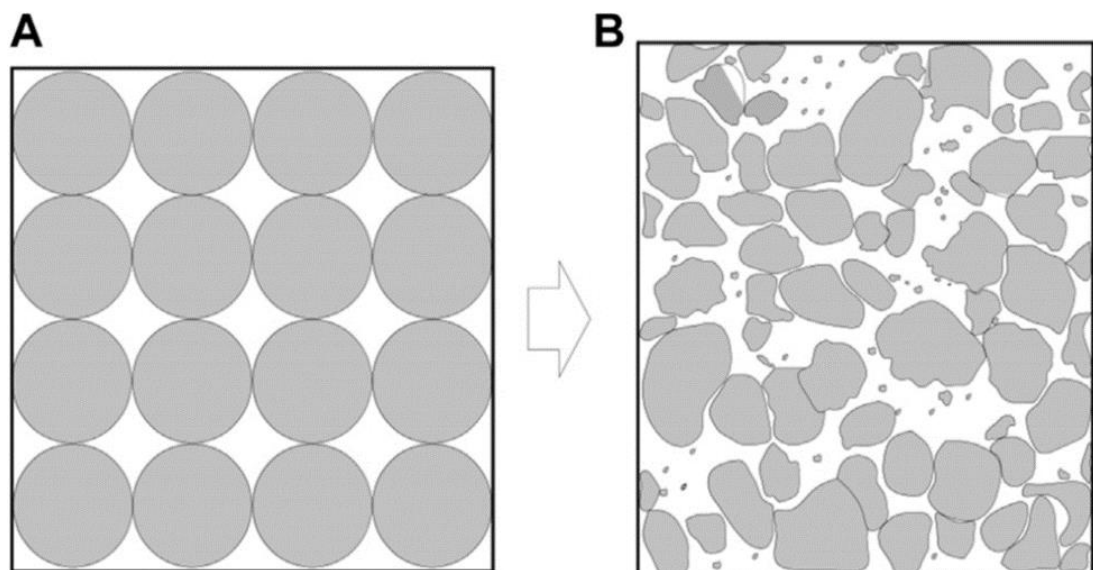


Рисунок 3.13. Поведінка крупних зразків під час випробування на ущільнення. (А) Крупний зразок до ущільнення; (В) Крупний зразок після ущільнення.

Крупнозернистий зразок, має високу пустотність (Рис. 3.10 С і Рис. 3.13 А), і зі збільшенням тиску вона дещо зменшиться. Однак пористість залишатиметься високою, як показано на рисунку 3.13 В. Таким чином, можна погодитися, що проникність і пористість знаходяться в тісному взаємозв'язку, залежно від кількості пустот у досліджуваному матеріалі в досліджуваному матеріалі.

У цьому дослідженні було випробувано сім видів зразків з різним вмістом ґрунтових частинок і різними характеристиками, які були протестовані за допомогою ущільнення та перевірки проникності. Лабораторні випробування були використані для виявлення зв'язків та закономірностей між показниками водопроникності, пустотності та пористості під дією тиску та виявлення впливу цих факторів на деформацію відвалу та його безпеку.

Конкретні висновки полягають у наступному:

а) Через збільшення висоти відвалу і як наслідок, збільшення ваги порід, діючий тиск також збільшиться, і, оскільки воді потрібно багато часу, щоб просочитися через ґрунт відвалу, тертя на схилах зменшиться, що призведе до зсуву.

б) Діючий тиск безпосередньо впливає на коефіцієнт пустот, щільність та коефіцієнт водопроникності ґрунту.

в) Об'єм крупнозернистого зразка різко зменшується зі збільшенням діючого тиску. Попри це, значення показників пустотності, пористості та коефіцієнта проникності залишаються високими. При застосуванні високого тиску до інших зразків значення пустотності та коефіцієнта проникності стають низькими, але для крупнозернистих зразків вони залишаються високими.

г) Збільшення діючого тиску призводить до руйнування крупнозернистого зразка, що створює значні зміщення у відвалі розкривних порід, що призводить до зниження стійкості і викликає зсув.

Ці важливі результати свідчать про необхідність проведення подальших досліджень щодо пористості, коефіцієнта пустот, коефіцієнта проникності та ефективного тиску. На підставі отриманих результатів, майбутні дослідження можуть поглиблено вивчати варіації зразків, склад шарів і кути укосів, що є важливими факторами, які впливають створення кращих та безпечніших середовищ для відвалів розкривних порід і умов праці.

РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ АДАПТАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ ГІРНИЧО-ВИДОБУВНИХ ПІДПРИЄМСТВ ДО ЗМІН ЗОВНІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ГОСПОДАРЮВАННЯ

На сьогоднішній день гірнича наука продовжує у переважній мірі спиратися на емпіричні знання в галузі видобування корисних копалин, хоча й більшість завдань вже вирішено на достатньо високому технологічному рівні. [55] Неусталеність економічного середовища, в якому здійснюється діяльність підприємств гірничо-видобувної сфери, яка визначається непередбачуваною динамікою та появою нових, якісно різних викликів, народжує необхідність проведення глибоких теоретичних досліджень, спрямованих на обґрунтування концепцій та розробку практичних рекомендацій, які сприятимуть ефективній адаптації підприємств до змін зовнішнього середовища та здатності вчасно і відповідно реагувати на існуючі та потенційні загрози що стосуються нормального функціонування.

Взагалі, адаптація являє собою процес цілеспрямованої зміни параметрів, структури і властивостей будь-якого об'єкта у відповідь на зміни, що відбуваються як у зовнішньому середовищі діяльності об'єкта, так і у середині нього[56]. Обсяг, властивості і розмах змін, а також ресурси, необхідні для підтримки цих змін, при високій інтенсивності впливу факторів зовнішнього середовища можуть виявлятися дуже різноманітними. Упущення непомітних на перший погляд змін як у зовнішньому середовищі, так і у внутрішніх системах та підрозділах підприємства можуть призвести не тільки до зниження ефективності процесів адаптації, а і до нестабільності та в подальшому до краху підприємства. Дослідження високотехнологічних підприємств показало, що 97% конкурентних

невдач пов'язані з недостатньою увагою до змін ринку або з нездатністю реагувати на життєво важливу інформацію [57].

Процес адаптації здійснюється на кількох ієрархічних рівнях, що відповідають різним етапам управління об'єктом:

– параметрична адаптація – на цьому рівні визначаються, змінюються і регулюються параметри об'єкта в режимі нормального функціонування, зазвичай це стосується короткострокового часового інтервалу;

– структурна адаптація – на цьому рівні відбувається зміна структури об'єкта, включаючи окремі елементи, їх зв'язки та функції, цей процес зазвичай займає тривалий період часу;

– адаптація об'єкта – тут визначається і змінюється сам об'єкт, і вибирається його оптимальний варіант, наприклад, це може включати зміну технологічних схем транспортування, робочих зон тощо;

– адаптація цілей – на цьому рівні відбувається зміна потреб суб'єкта, який користується послугами системи управління, це може включати зміну корисної копалини, що видобувається кар'єром [58].

Можна виокремити три моделі поведінки підприємств в залежності від їх реагування на адаптаційні процеси:

1. Активна модель – пошук і встановлення нових господарських зв'язків, нові програми, нові підходи до управління підприємством, активна перебудова організаційної структури.

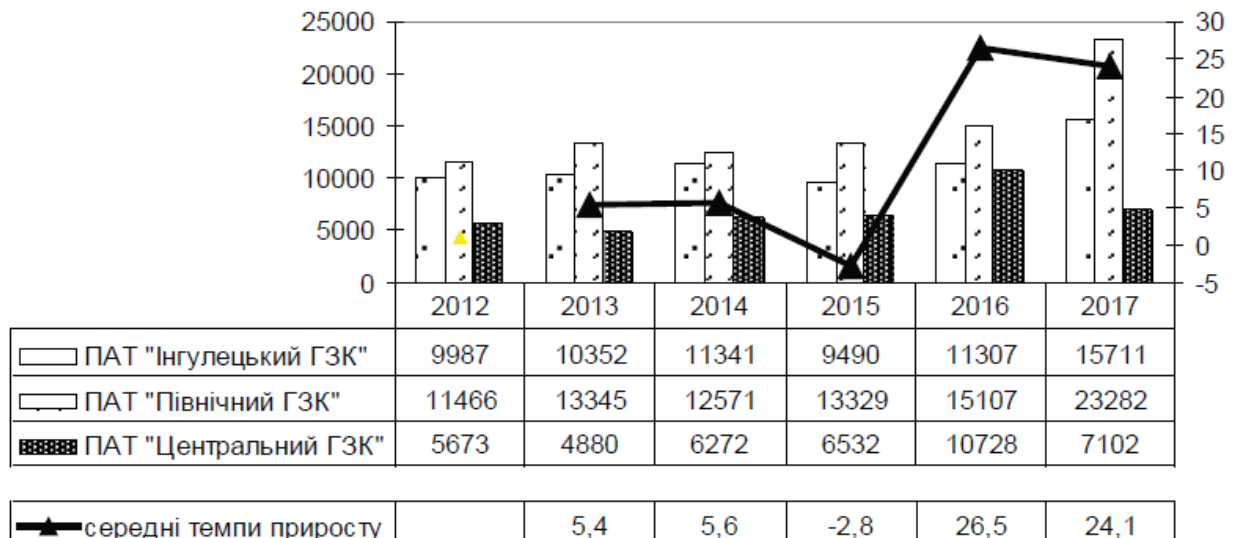
2. Консервативна модель – збереження традицій, незмінна структура випуску продукції, відсутня економія витрат, відсутність змін.

3. Змішана модель – підприємство діє за моделлю як активної, так і консервативної поведінки, але переважають традиційні господарські зв'язки [59].

Сукупність інструментів, що можуть бути вжиті для перебудови об'єкта адаптаційного впливу у визначеному напрямі, можна

класифікувати таким чином: ухилення, локалізації, дисипації, компенсації [60]. Ухилення передбачає тимчасову відмову від реалізації ризикованих бізнес-проектів. Дисипація характеризується негативними проявами кризових умов між діловими партнерами шляхом інтеграції економічних інтересів. Локалізація в свою чергу виступає як обмежуючий чинник поширення негативних проявів зовнішнього середовища на діяльність підприємства. Компенсація спонукає до створення резервів підприємства, формування альтернативних ринків сировини та збуту.

Досліджуючи економічний стан гірничо-добувних підприємств протягом останніх десятиліть, можна побачити, що їх фактичні показники здебільшого визначаються ситуаційними реакціями на зміни ринкової ситуації та операційними заходами, що вживаються на основі поточної оптимізаційної діяльності, без стратегічного керівництва, а забезпечення досягнення бажаних результатів у довгостроковій перспективі взагалі відсутнє, що можна відслідкувати на прикладі українських гірничих підприємств наступне. Так, хоча після посткризових явищ 2008-2009 рр., коли спостерігалася позитивна динаміка відновлення показників діяльності вітчизняних гірничо-добувних та гірничо-металургійних підприємств, у 2015 р. ситуація докорінно змінилася як через зовнішні фактори (швидке зростання експорту з Китаю та уповільнення економічного зростання ведучих країн) так і через внутрішні (військові дії на Донбасі, що призвели до перебоїв із постачанням сировини та розриву виробничих ланцюгів) макроекономічні фактори. Після цього, наприкінці 2017 року ціни на прокат досягли докризового рівня 2013-2014 років, через що 2016-2017 роки можна описати як період зростання ринку, яке супроводжувалося значним підвищенням споживання металу.



Відновлення попиту на металопродукцію після кризи 2008-2009 рр.

Скорочення попиту на металопродукцію

Відновлення після тенденцій 2014-2015 рр.

Рисунок 4.1. - Чистий дохід від реалізації продукції гірничо-металургійними підприємствами у 2012—2017 рр., млн грн [61]

Сфокусованість на досягненні поточних результатів діяльності та відсутність стратегічної орієнтації щодо адаптації у довгостроковій перспективі унеможливорює належне реагування на зміни зовнішнього середовища підприємств.

Максимум, що вбачається на вищезазначеному вітчизняному прикладі в контексті адаптації, це тільки ситуативне реагування, тому через відсутність достатніх темпів та якості адаптації до змін зовнішнього середовища показники технологічного потенціалу металургійних підприємств протягом досліджуваного періоду відзначаються застоєм та відсутністю суттєвої позитивної динаміки.

Вітчизняна гірничо-металургійна галузь орієнтована на досягнення лише поточних результатів діяльності, не має стратегічної орієнтації на довгострокову адаптацію і не в змозі реагувати на зміни зовнішнього середовища. Максимум, що можна побачити в контексті адаптації, це ситуаційні реакції, тому через відсутність достатньої швидкості та якості адаптації до змін, показники металургійних

підприємств за період негативної макроекономічної ситуації характеризуються стагнацією та відсутністю суттєвої позитивної динаміки.

У контексті адаптації гірничодобувних підприємств до умов, що постійно змінюються, слід зважати, що обсяги видобутку та процеси відвалоутворення в залізородних кар'єрах тісно пов'язані і визначають технологічні підходи та стратегії управління. Наприклад, із зростанням обсягів видобутку залізної руди, підприємство може зіткнутися з необхідністю вдосконалення технологій обробки, щоб належним чином обробляти великі обсяги розкривних порід або бідних руд та ефективно розпоряджатися і так, достатньо обмеженими площами, призначеними для відвалоутворення

Передові методи, такі як інноваційні сортувальні технології, вдосконалені методи відокремлення мінералів, нові технології для обробки бідних руд можуть бути впроваджені для забезпечення ефективного видобутку та оптимізації використання ресурсів.

Паралельно із зростанням видобутку виникає питання ефективного управління відвалами. Залізородні кар'єри генерують значні об'єми відходів, і їхнє ефективне управління є важливим елементом сталого розвитку. Наприклад, підприємства можуть впроваджувати технології з використанням відходів у виробництві, такі як використання відвалів для будівництва доріг або як додаткового матеріалу в інших галузях.

Умови змінюються не лише з точки зору обсягів видобутку, але і в екологічному контексті. Таким чином, гірничі підприємства можуть вдосконалювати свої процеси відвалоутворення для зменшення негативного впливу на довкілля. Використання технологій реабілітації відвалів, створення штучних екосистем або використання екологічно чистих методів відвалоутворення може бути важливим етапом адаптації до сучасних екологічних вимог.

У контексті безперервних процесів адаптації технологій відкритих гірничих робіт до економічних умов ведення господарчої діяльності важливо не забувати адекватно враховувати питання сталого розвитку та збереження навколишнього середовища. Це передбачає собою узгоджений комплекс заходів, які спрямовані на мінімізацію ресурсоспоживання, зменшення негативного впливу на екосистему, а також максимальне ресурсозбереження, ефективне використання та обробку виробничих відходів.

Підхід до адаптації технологій, який ураховує принципи екологічної стійкості, означає собою впровадження інновацій, спрямованих на зменшення впливу гірничих робіт на природне середовище, врахування альтернативних джерел енергії, а також оптимізацію використання природних ресурсів. Метою такої адаптації є досягнення зваженості між економічними інтересами та екологічною відповідальністю, що сприяє створенню стійких та довгострокових моделей гірничого виробництва.

Такий комплексний підхід до адаптації технологій відкритих гірничих робіт підсилює роль галузі в розвитку сталого господарювання. Акцент на збереженні природи та оптимізації виробничих процесів дозволяє досягти гармонії між потребами сучасного гірничого сектору та дбайливим ставленням до навколишнього середовища, сприяючи сталому розвитку як галузі, так і суспільства в цілому [62].

Отже, метою адаптації підприємства до умов зовнішнього середовища є забезпечення економічної безпеки підприємства через балансування інтересів з суб'єктами зовнішніх відносин, ефективного ресурсного забезпечення та утримання конкурентних позицій на ринку. Зміни, які відбуваються навколишньому світі, впливають на підприємство, в результаті чого може виникати значна невідповідність внутрішнього середовища зовнішнім вимогам.

Адаптація технологій підприємств з відкритого видобутку корисних копалин з погляду до збереження довкілля може бути структурована таким чином, як наведено на рисунку 4.2.

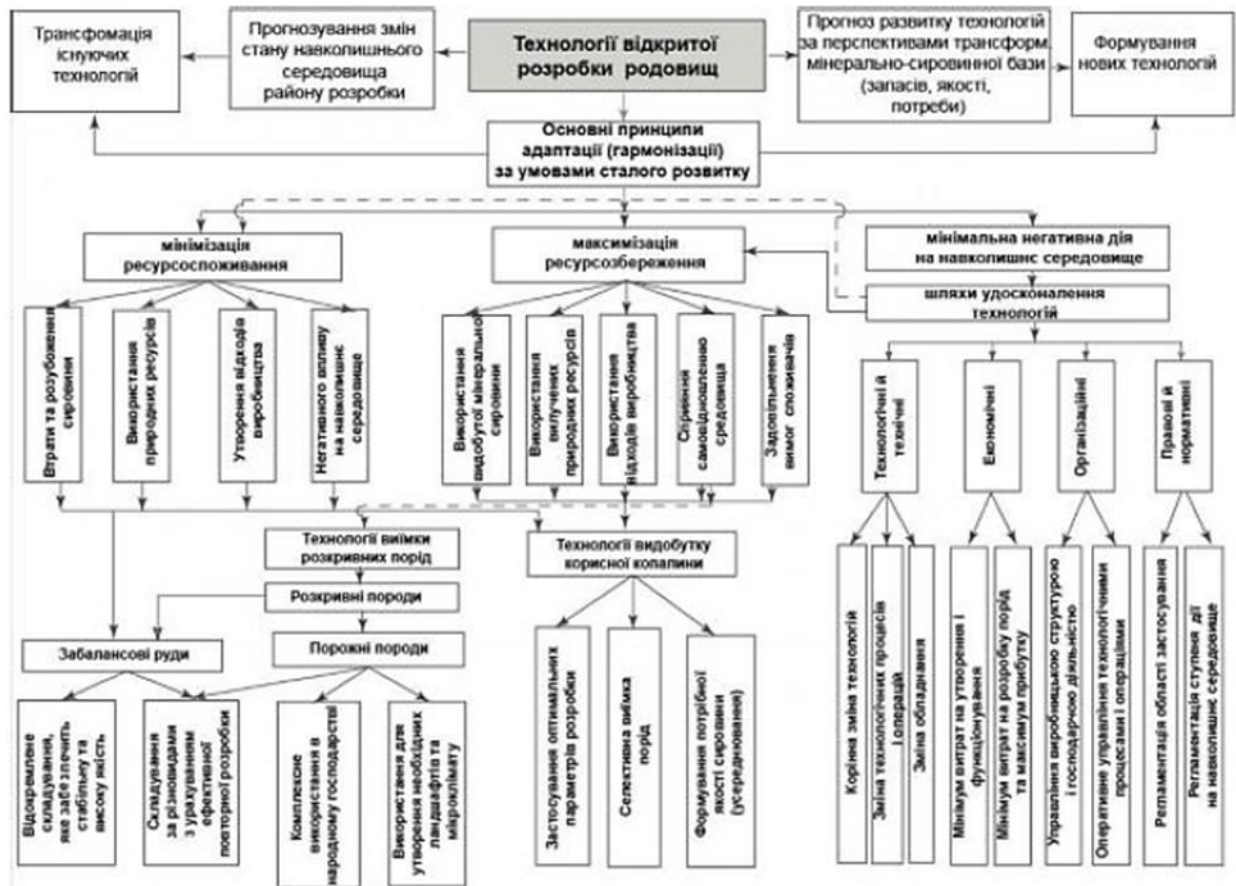


Рисунок 4.2 - Схема до методології адаптації технологій відкритого видобутку корисних копалин з навколишнім середовищем.

Відсутність швидкої реакції підприємства на зовнішні зміни може призвести до серйозних негативних наслідків. Своєчасна адаптація підприємства може бути здійснена за допомогою послідовного механізму дій, що утворюється з окремих елементів і дає ефект системності: всі його складові взаємозв'язані та цілеспрямовано працюють на усунення дисбалансу між підприємством і зовнішнім середовищем.

Таким чином можна підсумувати, що адаптація підприємства до умов зовнішнього середовища має на меті забезпечення економічної безпеки підприємства шляхом збалансування інтересів зовнішніх

суб'єктів, ефективного ресурсного забезпечення та збереження конкурентних позицій на ринку.

Зміни в навколишньому світі мають постійний та значний вплив ведення господарської діяльності гірничих підприємств, що стосуються всіх процесів відкритого видобутку корисних копалин, таких як підготовка гірських порід до виймання, виймально-навантажувальні роботи, переміщення кар'єрних вантажів, відвалоутворення розкривних порід. Відвали, що утворюються під час видобутку, є необхідним елементом гірничо-видобувних процесів, але їх ефективне управління стає надзвичайно важливим в контексті змін в господарському та екологічному середовищі. Важливою складовою адаптації є також вивчення екологічних аспектів відвалоутворення та розробка стратегій для зменшення його впливу. Використання технологій, спрямованих на використання відходів у виробництві, може сприяти покращенню сталість відвалоутворення та забезпеченню сталого розвитку гірничо-видобувних підприємств.

Зміни зовнішнього середовища за відсутності швидкої реакції підприємств на зовнішні зміни можуть спричинити серйозні негативні наслідки, чому можна запобігти лише застосуванням безперервного та комплексного підходу до процесів адаптації систем гірничо-видобувних підприємств.

РОЗДІЛ 5. ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

5.1 Основні висновки дослідження

У результаті проведеного дослідження було здійснено аналіз теоретичних основ процесів відвалоутворення розкривних порід, зокрема розглянуті існуючі та запропоновані нові технологічні параметри формування відвалів. Визначено, що велике значення має не стільки емпіричне, скільки правильне, науково обґрунтоване визначення цих параметрів для забезпечення належного управління та оптимізації відвалоутворення.

Аналіз гірничо-геологічних умов відвалоутворення на прикладі залізрудних родовищ виявив важливі закономірності та особливості, які слід враховувати при розробці технологій відвалоутворення. Урахування геологічних факторів є ключовим етапом впровадження стійких та екологічно безпечних рішень у галузі видобутку.

Методологічна основа магістерського дослідження, зокрема вибір дослідницького об'єкта та періоду дослідження, розвиток концептуальних положень та використання програмного забезпечення показала, що оптимальний вибір об'єкта та комплексна методика дослідження забезпечують об'єктивність та достовірність отриманих результатів.

Досліджений вплив технологічних параметрів на процеси відвалоутворення розкривних порід в умовах залізрудних кар'єрів, зокрема запропоновані нові підходи до вибору місця розташування відвалів розкривних порід, розглянутий метод багатоступеневого процесу відвалоутворення та проведений глибокий аналіз впливу гранулометричного складу на характеристики відвалів розкривних порід. Отримані результати виявили велике значення визначення оптимальних технологічних рішень для більш раціонального

використання ресурсів, зменшення розходів та підвищення прибутковості гірничодобувних підприємств і одночасне збереження мінімального негативного впливу на навколишнє середовище.

Був проведений детальний аналіз процесів адаптації виробничих систем гірничо-видобувних підприємств до змін зовнішнього середовища господарювання в контексті відвалоутворення розкривних порід, в тому числі взаємозв'язку обсягів видобутку та процесів відвалоутворення в залізорудних кар'єрах та запропоноване застосуванням безперервного та комплексного підходу до процесів адаптації систем гірничо-видобувних підприємств.

5.2 Рекомендації щодо вдосконалення технологічних параметрів відвалоутворення

Оптимізація процесів видобутку корисних копалин відіграє ключову роль у забезпеченні ефективності та стійкості видобувкових процесів у залізорудних кар'єрах та має прямий вплив на процеси відвалоутворення розкривних порід. Враховуючи геологічні та гірничодобувні умови, визначення оптимального режиму робіт є необхідним етапом для досягнення балансу між високою продуктивністю та мінімізацією негативного впливу на довкілля.

Геологічні умови, такі як властивості розкривних порід, їх товщина та структура, визначають механічні властивості матеріалу, що видобувається. Гірничодобувні умови, що включають рельєф ділянки, наявність водних джерел, та інші фактори, безпосередньо впливають на логістику та безпеку видобутку.

Розробка науково обґрунтованих стратегій видобутку має на меті адаптацію процесів до конкретних умов залізорудного кар'єру. Це може включати в себе визначення оптимальних графіків видобутку

для різних ділянок, врахування вимог до якості корисної копалини, управління експлуатаційними параметрами обладнання, управління відходами видобутку залізних руд. У результаті такого підходу оптимізації видобутку можна досягти завдяки максимальній продуктивності, забезпечуючи водночас екологічну стійкість та відповідність стандартам сталого розвитку. Підвищення ефективності процесів видобутку стає ключовим елементом сучасних стратегій гірничодобувної промисловості, спрямованих на досягнення економічної результативності та збереження природних ресурсів.

Врахування кута нахилу шару є критично важливим етапом у плануванні та впровадженні технологій видобутку у залізородних кар'єрах. Дослідження кута нахилу на різних ділянках кар'єру дозволяє зрозуміти варіації у геометрії порід, що відіграє важливу роль у визначенні оптимальних методів видобутку та ефективності процесу.

Детальні дослідження кута нахилу шару передбачають аналіз фізико-механічних властивостей розкритих порід при різних кутах нахилу. Це дозволяє розробити точні моделі для визначення впливу кута нахилу на стійкість схилу та визначення оптимальних технік експлуатації.

Розробка інноваційних методів видобутку, адаптованих до різних кутів нахилу, є ключовим кроком у вдосконаленні технологій відкритого видобутку корисних копалин. Це може включати в себе використання спеціалізованого обладнання та методів, які забезпечують оптимальну стабільність схилу та мінімізацію ризиків зсувів порід. Такий підхід до врахування кута нахилу шару дозволяє досягти балансу між високою продуктивністю видобутку та збереженням стійкості природного середовища, забезпечуючи ефективну та екологічно стійку експлуатацію залізородних кар'єрів.

Оптимізація потужності покладу є ключовим аспектом ефективного та стійкого видобутку корисних копалин в залізорудних кар'єрах. Враховуючи різні потужності покладів, важливо використовувати високоефективне обладнання та техніку, які відповідають особливостям конкретних видів покладів.

Використання високоефективного обладнання є важливим для забезпечення ефективності видобутку та мінімізації витрат енергії. Розвиток та впровадження новітніх технологій і методів видобутку дозволяють пристосовувати процес до різних умов та міцності покладів.

Важливо розвивати методи видобутку, які забезпечують економічну вигоду при роботі з покладами різної міцності та товщини. Це може включати в себе оптимізацію робочих параметрів, використання технік контролю за процесом та постійне вдосконалення обладнання з урахуванням особливостей різних покладів. Загальний підхід до оптимізації потужності покладу повинен базуватися на балансу між ефективністю видобутку та збереженням природних ресурсів, що забезпечує сталий розвиток гірничодобувної діяльності в умовах залізорудних кар'єрів.

Екологічний аспект відвалоутворення в залізорудних кар'єрах є невід'ємною частиною сталого процесу видобутку корисних копалин. Для забезпечення екологічної стійкості та мінімізації впливу на природні ресурси важливо впроваджувати технології відвалоутворення, спрямовані на зменшення негативного впливу на водні ресурси, ґрунти та повітря.

Застосування технологій відвалоутворення, які спрямовані на мінімізацію впливу на водні ресурси, означає відповідальний підхід до використання водних ресурсів для розведення розкривних порід. Важливо розробляти системи контролю за використанням води, щоб

уникнути зниження рівня підземних вод та забезпечити сталість водного режиму в регіоні.

Оптимізація технологій відвалоутворення також передбачає розроблення систем збору та переробки відходів з метою зменшення негативного впливу на ґрунти та повітря. Ефективне управління відходами, їх використання у вторинному виробництві або безпечне зберігання є важливими кроками для забезпечення сталої експлуатації гірничих кар'єрів. Узагальнюючи, врахування екологічного аспекту відвалоутворення передбачає поєднання технологічних інновацій, ефективного управління ресурсами та систем відновлення природних об'єктів, що дозволяє забезпечити баланс між видобутком корисних копалин та екологічною сталістю.

Стеження та контроль над технологічними параметрами відвалоутворення є критичним етапом у забезпеченні сталого процесу видобутку корисних копалин та мінімізації негативного впливу на довкілля. Впровадження ефективних систем моніторингу та контролю дозволяє оперативно реагувати на можливі проблеми, зменшуючи ризик виникнення негативних наслідків.

Один із ключових аспектів - це впровадження систем моніторингу технологічних параметрів. Це може включати в себе використання датчиків, сучасних технологій збору та обробки даних для стеження за швидкістю видобутку, кутом нахилу шару, потужністю покладу та іншими факторами. Системи моніторингу дозволяють не лише виявляти відхилення від заданих параметрів, але і вчасно приймати заходи для їх корекції.

Важливим аспектом є також постійне оновлення технічних засобів контролю та вдосконалення методів аналізу даних. Це передбачає використання новітніх технологій, таких як штучний інтелект та машинне навчання, для автоматизації аналізу та виявлення залежностей між різними параметрами. Мета -

забезпечити максимальну точність та надійність даних, що використовуються для прийняття управлінських рішень. Отже, системи стеження та контролю, які базуються на сучасних технологіях, є ключовим елементом ефективного управління технологічними параметрами в гірничодобувній діяльності, спрямованою на збереження природних ресурсів та зменшення негативного впливу на довкілля. Ці рекомендації мають на меті сприяти створенню більш стійких, ефективних та екологічно безпечних технологічних параметрів відвалоутворення у галузі видобутку.

5.3 Перспективи подальших досліджень у даній області

Вивчення технологічних параметрів відвалоутворення відвалів розкривних порід у залізородних кар'єрах є важливим напрямком, який може відкривати нові можливості для покращення ефективності гірничодобувних процесів та зменшення впливу на навколишнє середовище.

Розвиток інноваційних технологій у галузі відвалоутворення є ключовим напрямком, який може визначити нові стандарти ефективності та сталості у гірничодобувній промисловості. Передові технології можуть принести значний внесок у розвиток цього сегменту, зменшуючи негативний вплив на довкілля та забезпечуючи ефективне використання ресурсів.

Однією з перспектив є використання нових матеріалів для конструкції відвалів. Розробка екологічно чистих та стійких до деградації матеріалів дозволить створити відвали, які мають велику тривалість служби та мінімізують вплив на ґрунти та водні ресурси.

Використання новітніх полімерних композитів, які можуть бути рецикльовані або мають низьку токсичність, може бути багатообіцяючим напрямком. Також важливим елементом інновацій може бути вдосконалення методів розкриву порід. Застосування автоматизованих систем, технологій вибіркового видобутку, та точного розташування виїмок може допомогти знизити кількість відходів, поліпшити якість експлуатації покладів та мінімізувати вплив на природні ресурси.

Новітні системи моніторингу також можуть відігравати ключову роль у розвитку галузі. Застосування сучасних технологій, таких як «цифровий двійник» [63], дистанційне зондування, дрони, та сенсори, дозволить оперативно відслідковувати технічні параметри видобутку, а також виявляти ризики та ефективно реагувати на можливі негаразди.

Розвиток інноваційних технологій у відвалоутворенні покликаний змінити парадигму гірничодобувних процесів, забезпечуючи більш ефективно та стале використання ресурсів при одночасному зменшенні шкідливого впливу на екосистему.

Дослідження в галузі відвалоутворення, спрямоване на покращення екологічної стійкості, визначається важливістю збереження природних ресурсів та зниження негативного впливу на навколишнє середовище. Оптимізація технологічних параметрів для досягнення цих цілей може включати кілька ключових аспектів.

Перш за все, розробка методів зменшення впливу на водні ресурси важлива для забезпечення сталого використання цього важливого елемента довкілля. Застосування технологій рециркуляції води, систем очищення та збереження водних резервів може допомогти у мінімізації витрат та уникненні негативних наслідків на водний баланс регіону.

Другий аспект полягає в зменшенні впливу на ґрунти. Розвиток технологій, що дозволяють зберігати та захищати верхні шари ґрунту, а також використання методів відновлення ґрунтового покриву, може сприяти уникненню ерозії та збереженню родючості ґрунтів.

Третім аспектом є зменшення впливу на повітря, що може бути досягнуто шляхом вдосконалення технік відвалоутворення, що не супроводжуються значними викидами пилу або газів. Використання сучасних систем очистки повітря та впровадження ефективних методів протипилового пригнічення і контролю може сприяти зменшенню негативного впливу на якість повітря. Дослідження з екологічної стійкості відвалоутворення прагне забезпечити гармонію між гірничодобувними процесами та природним середовищем, допомагаючи зберегти екосистему та природні ресурси для майбутніх поколінь.

Подальші дослідження в області оптимізації технологічних параметрів відвалоутворення націлені на вдосконалення процесів з метою досягнення двох ключових цілей: підвищення продуктивності та зниження витрат.

Одним із напрямків є розробка та впровадження нових технологій видобутку, які дозволяють ефективніше використовувати наявні ресурси та прискорювати процеси видобування корисних копалин. Це може включати в себе удосконалення механізації, використання автоматизованих систем, а також застосування передових методів обробки відходів та відвалоутворення.

Іншим аспектом оптимізації є зменшення витрат, яке може бути досягнуте через впровадження ефективних технологій енергозбереження та матеріального використання. Розробка та застосування більш продуктивних та енергоефективних механізмів, а також оптимізація процесів з використанням новітніх розрахункових методів, може сприяти значним зниженням витрат. Такий підхід до

оптимізації технологічних параметрів не лише позитивно впливає на показники прибутків гірничодобувних підприємств, але і сприяє сталому використанню ресурсів та зменшенню впливу на довкілля, оскільки ефективне використання ресурсів часто супроводжується зменшенням відходів та негативного впливу на природні системи. Таким чином, подальші дослідження в даній області можуть сприяти створенню більш сталого та ефективного підходу до гірничодобувних операцій. У контексті дослідження технологічних параметрів відвалоутворення, важливим аспектом є розробка та впровадження комплексних систем управління, спрямованих на оптимізацію всіх аспектів гірничодобувного процесу. Такі системи управління повинні враховувати різноманітні технологічні параметри, взаємодіяти з різними елементами виробничого циклу та надавати оперативний контроль за усією ланкою виробництва.

Комплексні системи управління мають на меті покращити координацію та синхронізацію роботи механізмів, обладнання та персоналу. Це може бути досягнуте через впровадження сучасних технологій автоматизації, систем збору та обробки даних, а також алгоритмів штучного інтелекту. Такі системи можуть надавати оперативний аналіз технічних показників, прогнозування витрат та ефективності, що дозволяє приймати обґрунтовані рішення на всіх етапах гірничодобувного процесу.

Застосування комплексних систем управління сприятиме оптимальному використанню ресурсів, зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище та підвищенню загальної продуктивності видобутку. Також вони можуть бути налаштовані на врахування екологічних показників, що дозволить забезпечити більш високий рівень екологічної безпеки гірничодобувних операцій. Отже, створення комплексних систем управління є стратегічно важливим напрямком розвитку, спрямованим на покращення якості та

ефективності гірничодобувного виробництва при зменшенні його негативного впливу на довкілля.

У сучасному світі важливо враховувати соціальні аспекти при проведенні досліджень технологічних параметрів відвалоутворення. Це означає, що окрім технічних та екологічних питань, необхідно враховувати взаємодію гірничодобувного процесу з місцевою спільнотою та забезпечення безпеки праці працівників, а також врахування соціальної відповідальності підприємств. Вивчення соціальних аспектів відвалоутворення передбачає діалог з місцевими жителями та організаціями для врахування їхніх думок, концертів та потреб. Це може включати в себе розробку програм співпраці з місцевими громадами, забезпечення відкритої інформації щодо технологічних процесів та їхнього впливу на оточуюче середовище.

Забезпечення безпеки праці включає в себе розробку та впровадження ефективних заходів щодо запобігання та мінімізації ризиків для працівників, а також врахування їхнього фізичного та психологічного благополуччя. Сприяння соціальній відповідальності включає реалізацію програм та проектів, які сприяють розвитку місцевих громад та соціальний розвиток регіону в цілому. Такий підхід дозволяє не лише оптимізувати технологічні параметри відвалоутворення, але й зробити гірничодобувну діяльність соціально відповідальною та прийнятною для місцевого населення, що важливо для сталого розвитку та позитивного впливу на соціальний ландшафт регіону.

Подальші дослідження в цій області можуть внести значний внесок у покращення технологічних підходів до відвалоутворення та забезпечення більш сталого та екологічно безпечного видобутку корисних копалин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бакка М.Т. Організація і планування маркшейдерських та гірничих робіт: навчальний посібник / ред. М.Т. Бакка. – Житомир : ЖДТУ, 2006. – 356 с.
2. Шапар А.Г., Скрипник О.О., Копач П.І. та ін. Науково-методичні рекомендації щодо поліпшення екологічного стану земель, порушених гірничими роботами (створення техногенних ландшафтних заказників, екологічних коридорів, відновлення екосистем) / ред. А.Г. Шапар — Дніпропетровськ : Моноліт, 2007. — 270 с
3. Bochkovskiy, A. P. Labour protection and industrial safety in Ukraine: problems of transition period and perspective ways of development [Text] \ A.P. Bochkovskiy, N.Yu. Sapozhnikova, V. D.Gogunskii // Grain Products and Mixed Fodder's, 2016. – Vol. 4 (64) – P. 42 - 50 DOI:10.13140/RG.2.2.20894.13126
4. Siti Noraishah Ismail, Azizan Ramli, Hanida Abdul Aziz, Influencing factors on safety culture in mining industry: A systematic literature review approach, Resources Policy, Volume 74, 2021, 102250, ISSN 0301-4207, <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102250>.
5. Adrià Pons, Carla Vintrò, Josep Rius, Jordi Vilaplana, Impact of Corporate Social Responsibility in mining industries, Resources Policy, Volume 72, 2021, 102117, ISSN 0301-4207, <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102117>.
6. Vlachos, Theodore. Certifiable Risk Management and Business Continuity Approach in Mining Industry, 2018 10.11159/mmme18.108.
7. А. Шапар, П. Копач, В. Романенко, В. Лашко, В. Бондаренко, А. Дриженко, Ю. Вілкул, Ю. Ніколашин, О. Романенко,

В. Слободянюк, В. Квітка, В. Моїсеєнко, А. Воробйов, О. Ігнатов, В. Галімуллін/ Положення про проектування внутрішнього відвалоутворення та складування відходів виробництва в залізородних і флюсових кар'єрах/ / Інститут проблем природокористування та екології НАН України. -Дніпропетровськ : Мінерал.- 2004.-50с.

8. Агрікола Г. Про гірничу справу в дванадцяти книгах (книги I–VI)/ Переклад і редакція В. Білецького, Г. Гайка. Донецьк: Східний видавничий дім, 2014. 232 с.

9. Mineral commodity summaries 2019 : U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey. Reston, Virginia, 2019.

10. Кармазин В.И. Обогащение руд черных металлов: Учеб. для вузов. - М.: Недра, 1982.- 165 с.

11. Романенко О.В. Наукові основи технології внутрішнього відвалоутворення на крутоспадних родовищах : дис... д-ра техн. наук: 05.15.03 / Криворізький технічний ун- т. - Кривий Ріг, 2005.

12. Б.Є. Собко, В.В. Панченко, В.В. Лотоус, Д.В. Вінівітін Організація і планування відкритих гірничих робіт (системний підхід) :навч. посіб. / М-во освіти і науки України, НТУ "ДП". – Д : НТУ "ДП", 2020. – 187 с

13. Білецький В.С. Мала гірнича енциклопедія / ред. В. С. Білецького – Донецьк : Східний видавничий дім, 2013. – Т. 3. – 644 с.

14. В. Перегудов, В. Пшеничний, В. Плотніков, В. Терещенко Дослідження режимів видобувних, розкривних і внутрішньокар'єрних відвальних робіт при відпрацюванні крутоспадних родовищ із тимчасовим внутрішнім відвалоутворенням / *UKRAINIAN MINING FORUM = Український гірничий форум 2016* / Том 2. Відкриті гірничі роботи. Технології підземного видобутку корисних копалин. Збагачення корисних

копалин. Екологічні і правові проблеми техногенно навантажених регіонів. Економіка і управління у гірничій промисловості. Рудникова аерологія та безпека праці. Технології економічного і безпечного використання електроенергії. Автоматизація у гірництві.

15. В.Г. Пшеничний, В.В. Терещенко /Технологія внутрішнього відвалоутворення з формуванням тимчасового внутрішнього відвалу при відпрацюванні мульдopodobних покладів / Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. — Дніпропетровськ : ІГТМ НАНУ, 2016. — Вип. 129. — С. 106-114.

16. Г.Ф. Гаврюк, Г.О. Антипенко, Т.Г. Ніколаєва Планування гірничих робіт та маркшейдерський контроль оперативного обліку видобутку корисної копалини: навч. посібник / ред. Г.Ф. Гаврюк – Д. : Національний гірничий університет, 2008. – 45 с.

17. М. Є. Капланець та ін. Маркшейдерські роботи на вугільних шахтах та розрізах. Інструкція / Редкоміс. : М. Є. Капланець (голова) та ін. – Вид. офіц. – Донецьк : ТОВ “АЛАН”, 2001. – 264 с.

18. П.М. Должиков, Н.М. Величко, А.П. Должикова. Основи економіки і управління гірничим підприємством: навч. посібник. / ред. П.М. Должиков - Донецьк: «Норд-прес». - 200 с., 2009 режим доступу <http://ebib.pp.ua/osnovyiekonomiki-upravleniya-gornyim.html>

19. А. Шапар, П. Копач, В. Романенко [та ін.]. Положення про проектування внутрішнього відвалоутворення та складування відходів виробництва в залізородних і флюсових кар'єрах / - Дніпропетровськ: Мінерал. —2004. —50с.

20. О.О. Фролов і І.К. Бабичев. Обґрунтування безпечних параметрів відвалу при сумісному складуванні розкривних порід кар'єру та відходів збагачення. *Технічна інженерія*, вип. 1(87), Червень 2021, с. 163-8, doi:10.26642/ten-2021-1(87)-163-168.

21. Конверський А.Є. Основи методології та організації наукових досліджень : навч. посіб. : Київ : Центр учбової літератури, 2010. 30 с.
22. Пугач А.М., Демчук Н.І., Довгаль О.В., Крючко Л.С., Тягло Н.В. Інноваційний розвиток підприємства : навч. посіб./ ФОП Швець В.М., 2018. - 348с
23. М. І. Толстой, А. П. Гожик, М. В. Рева, В.П. Степанюк Основи геофізики (Методи розвідувальної геофізики): підручник /– К. : Київ. ун-т, 2006. – 446 с.
24. Коваленко Ю.Л. Моніторинг довкілля : канап. лекцій. : Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. 69 с.
25. Global environment outlook 4 (GEO-4): Environment for development, UNEP. - Malta: Progress Press Ltd, 2007. – 540 p.
26. Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов разрезом и отвалом, интерпретации их результатов и прогнозу устойчивости. Л.: ВНИМИ, 1987. – 118 с.
27. Song, S., E. Marks, N. Pradhananga Impact Variables of Dump Truck Cycle Time for Heavy Excavation Construction Projects, Journal of Construction Engineering and Project Management, Vol. 7, (2017). 11-18. doi:10.6106/JCEPM.2017.7.2.011
28. M. Osanloo and M. Ataei: J. Min. Sci., 2003, 39, (2), 148–153.
29. A. M. Roberson: in Proc. 12th CMMI Congress, (ed. H. W. Glen); 1982, Johannesburg, Institution of Mining and Metallurgy, 861–886.
30. H. S. Byun and K. H. Lee: Int. J. Adv. Manuf. Technol., 2005, 26, 1338–1347
31. M. Momeni: New topics in operations research, Tehran, Tehran University 2006.

32. Hekmat, Asieh & Osanloo, Morteza & Akbarpour Shirazi, Mohsen. New approach for selection of waste dump sites in open pit mines, 2019, pp. 24-25
33. Regensburg, B., D. Tannant, Guidelines for Mine Haul Road Design, University of British Columbia Library, 2001, doi:10.14288/1.0102562 page 69-70
34. Li, Y., E. Topal, and D.J. Williams Optimisation of waste rock placement using mixed integer programming, *Mining Technology*, Vol. 123, 2014, pp 220-229. doi:10.1179/1743286314Y.0000000070
35. Sari, Y.A. and M. Kumral, A landfill based approach to surface mine design, *Journal of Central South University*, Vol. 25, 2018, pp. 159-168. doi:10.1007/s11771-018-3726-7
36. Li, Y., E. Topal, and S. Ramazan Optimising the long-term mine waste management and truck schedule in a large-scale open pit mine, *Mining Technology*, Volume 125, 2016, pp. 35-46. doi:10.1080/14749009.2015.1107343
37. Osanloo M., Ataei M. Factors Affecting the Selection of Site for Arrangement of Pit Rock-Dumps. *Journal of Mining Science* 39, 2003, pp. 148–153. <https://doi.org/10.1023/B:JOMI.00000008460.62695.44>
38. Mensah F. Integrating Global Positioning Systems and Geographic Information Systems in Mine Waste disposal: The Case of Goldfields Ghana Limited, MSc Thesis, University of Mines and Technology, Tarkwa, 2007, pp.114
39. Hekmat A., Osanloo M., Shirazi A.M. New approach for selection of waste dump sites in open pit mines. *Min. Tech.* 2008, 117, 24–31.
40. Yazdani-Chamzini A., Ahmadi Z., Oraee K., Basiri, M.H. Waste Dump Site Selection by Using Fuzzy VIKOR. In Proceedings of the 5th Conference of Applied Geology and the Environment, Eslamshahr, Iran, 7 March 2011

41. Suleman H.A., Baffoe P.E. Selecting suitable sites for mine waste dumps using GIS techniques at Goldfields, Damang Mine. *Ghana Min. J.* 2017, 17, 9–17
42. Oggeri Claudio, Taddeo Maria Fenoglio, Alberto Godio and Raffaele Vinai Overburden management in open pits: options and limits in large limestone quarries. *International Journal of Mining Science and Technology* (2019): n. pag.
43. Fazeli Salmani, Mehrdad & Osanloo, M & Naghne, S. Mine Facility Location Selection in open-pit mines using a new multistep-procedure, 2014. 10.1201/b17500-95.
44. Li Y., Topal E., Williams D. J. Mathematical approach for better mine waste rock dumping management. *In: LIFE-OF-MINE CONFERENCE, Brisbane, Australia, 2012. Proceedings [...].* Brisbane: AusIMM, 2012. pp. 207-214.
45. Kuckartz B. T., Peroni R. L. Multi-stage dumping sequence: a new approach for waste disposal. *In: MUELLER, C. et al. (ed.). Mining Goes Digital.* London: CRC Press, 2019. v. 3, p. 257–263.
46. Han, L., Zhou, W., Cai, Q.-X., Shu, J.-S., Jing, H.-W., and Li, X. Experimental study on remodeling strength of granular materials under different loads and lengths of time. *J. Cent. South Univ.* 22, 2015, 2783–2790. doi:10.1007/s11771-015-2809-y
47. Das, B. M., and Sobhan, K. *Soil mechanics* Edn. 8. 132. Pequim, China: China Machine Press, 2016, pp. 436–480
48. Bao, Y., Han, X., Chen, J., Zhang, W., Zhan, J., Sun, X., et al. Numerical assessment of failure potential of a large mine waste dump in Panzhihua City, China. *Eng. Geol.* 253, 2019, 171–183. doi:10.1016/j.enggeo.2019.03.002
49. Liu, Q. Q., and Li, J. C. (Effects of water seepage on the stability of soilslopes. *Procedia. IUTAM.* 17, 2015, pp. 29–39. doi:10.1016/j.piutam.2015.06.006

50. Zhou, Y. F., Tham, L. G., Yan, R. W. M., and Xu, L. The mechanism of soil failures along cracks subjected to water infiltration. *Comput. Geotech.* 55, 2014, pp. 330–341. doi:10.1016/j.compgeo.2013.09.009

51. Guan, G. S., Rahardjo, H., and Choon, L. E. Shear strength equations for unsaturated soil under drying and wetting. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.* 136 (4), 2010, pp. 594–606. doi:10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000261

52. Shakesby, R. A., and Whitlow, J. R. Failure of a mine waste dump in Zimbabwe: causes and consequences. *Environ. Geol. Water Sci.* 18, 1991, pp. 143–153. doi:10.1007/BF01704668

53. Tovele, Gerson & Han, Liu & Shu, Ji. Variation of Open-Pit Waste Dump Specimens Under Effective Pressure Influence. *Frontiers in Earth Science*, 2021. 8. 10.3389/feart.2020.582918.

54. Rahmouni, A., Boulanouar, A., Boukalouch, M., Géraud, Y., Samaouali, A., Harnafi, M., et al. Relationships between porosity and permeability of calcarenite rocks based on laboratory measurements. *J. Mater. Environ. Sci.* 5 (3), 2014, pp. 931–936. doi:10.1007/s12517-012-0760-x

55. Hryhoriev, Y., Sliusar, S., Herasymchuk, O., & Serheiev, P. Adaptation of the production system of the mining complex as a reaction to the dynamics of the external environment. *Miningmetaltech 2023 – the mining and metals sector: integration of business, technology and education. Volume 1.*

56. Козаченко А.В., Пономарев В.П., Ляшенко А.Н. Экономическая безопасность предприятия: сущность и механизм обеспечения: Монография – К.: Либра, 2003. – 280 с.

57. Герасімова О. Адаптація підприємства до змін зовнішнього середовища як засіб забезпечення його економічної безпеки. *Інфраструктура ринку*. 2017. Випуск 6. С. 141–146.

58. Hryhoriev, Y., Sliusar, S., Herasymchuk, O., & Serheiev, P. Adaptation of the production system of the mining complex as a reaction to the dynamics of the external environment. Miningmetaltch 2023 – the mining and metals sector: integration of business, technology and education. Volume 1.

59. Донець Л. І., Ващенко Н. В. Економічна безпека підприємства: Навч. пос. – К.: Центр учбової літератури, 2008. – с. 240.

60. Нижник В.М. Підвищення конкурентного потенціалу та економічної безпеки промислових підприємств за умов розвитку глобалізаційних процесів : [монографія] / В. М. Нижник, Д. М. Васильківський, Л. О. Подра, М. В. Чухрій, І. В. Нижник; ред.: В. М. Нижник. – Хмельницький : ХНУ, 2013. – с. 525

61. Вишневська К.В. Оцінювання адаптації гірничо-металургійних підприємств України / К. В. Вишневська // Фінансовий простір. - 2018. - № 2. - с. 25-37. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Fin_pr_2018_2_5.

62. М.І. Просандєєв, Л.М. Козлова Основні шляхи адаптації технологій відкритих гірничих робіт до вимог сталого розвитку суспільства. *Екологія і природокористування*. — 2011. — Вип. 14. — с. 143-160.

63. Григор'єв, Ю.І., Григор'єв І.Є., Слюсар С.В., Власенко В. А. Цифровізація як інструмент адаптації гірничого виробництва у невизначеному динамічному середовищі (на прикладі впровадження K-mine). Вісник Національного університету водного господарства та природокористування (2(102)). с. 476-484.