

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ВІДКРИТИХ ГІРНИЧИХ РОБІТ

На правах рукопису

ШИНКАРЕНКО ІВАН АНДРІЙОВИЧ

УДК 622.271

**«СУЧАСНІ МЕТОДИ КОРИГУВАННЯ РОЗРОБКИ ПОКЛАДІВ КОРИС-
НИХ КОПАЛИН ЗА ЗМІННИХ ГІРНИЧО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ УМОВ»**

184 «Гірництво»
(відкриті гірничі роботи)

Випускна робота
на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня магістра

Виконав	<u>Шинкаренко І.А.</u>	/ _____ /
Керівник	<u>Жуков С.О.</u>	/ _____ /
Завідувач кафедри	<u>Жуков С.О.</u>	/ _____ /

Кривий Ріг
2025

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	3
ВСТУП.....	4
Розділ 1.	
ПЕРЕДУМОВИ, ЧИННИКИ, ЦІЛІ ТА ФОРМИ КОРИГУВАННЯ ГІРНИЧИХ ПРОЕКТІВ ТА ВИРОБНИЦТВА.....	8
1.1. Суть та приклади коригування відкритих гірничих робіт.....	8
1.2. Обмеження за відкритого видобутку корисних копалин.....	11
Висновки за розділом 1.....	15
Розділ 2.	
ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ТА МЕТОДИ КОРИГУВАННЯ ВІДКРИТИХ РОЗРОБОК РУДНИХ ПОКЛАДІВ.....	16
2.1. Коригування розробки на прикладі застосування модулів K-Mine...16	
2.2. Створення комп'ютерної техніко-економічної моделі родовища й обґрунтування порядку його відпрацювання.....	29
2.3. Потенціал оперативного коригування автоматизованої системи корпоративного управління роботою рудника.....	35
Висновки за розділом 2.....	40
Розділ 3.	
КОРИГУВАННЯ Й ОПТИМІЗАЦІЯ ГІРНИЧИХ ПРОЕКТІВ БАГАТОПРОФІЛЬНИМИ ЕКСПЕРТНИМИ ТА КОНСАЛТИНГОВИМИ ЦЕНТРАМИ.....	41
3.1. Суть та методи експертних оцінок в коригуванні майнінгу.....	41
3.1.1. Коригуюче проектування, планування й інженерія кар'єрів.....	41
3.1.2. Гірничодобувна геологія для планування й оптимізації.....	43
3.1.3. Економіка та фінанси в коригуванні гірничої промисловості.....	45
3.1.4. Допомога в коригуванні гірничих операцій.....	46
3.1.5. Моделювання рудників.....	47
3.2. Керівні принципи та логіка коригуючого проектування кар'єрів.....	50
3.2.1. Чинники, які слід враховувати протягом проектування.....	53
3.2.2. Загальне довгострокове проектування кар'єру проти проектування експлуатаційного.....	56
3.2.3. Геотехнічні фактори.....	63
3.4. Фотографічні приклади проблем кар'єрних вантажопотоків та негативних наслідків, зумовлених хибами проектування	73
Висновки за розділом 3.....	78
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	79
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ.....	80

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка випускної магістерської роботи Шинкаренка Івана Андрійовича на тему: «Сучасні методи коригування розробки покладів корисних копалин за змінних гірничо-технологічних умов».

«Випускна робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня магістра. Кривий Ріг. Криворізький національний університет, 2025 р.».

Актуальність теми. Відкриті гірничі роботи завжди ведуться в умовах певної непередбачуваності, оскільки саме середовище, в якому вони відбуваються є таким внаслідок стохастичності геологічних факторів, ринкової кон'юнктури, ресурсного забезпечення та антропоної варіативності. А так як гірничі технології є надзвичайно інертними та доволі жорсткими, гірники вимушені постійно підлаштовувати діяльність своїх кар'єр-систем до здебільшого спонтанних внутрішніх і зовнішніх змін, причому – робити це постійно. Коригування ж відкритих розробок стосується модифікацій та оптимізації методів відкритих видобувних робіт для підвищення ефективності, безпеки та прибутковості, мінімізуючи вплив на навколишнє середовище. Це включає управління змінними умовами на ділянці, інтеграцію нових технологій (таких, як супутниковий моніторинг або автоматизація), адаптацію обладнання (екскаватори, вантажівки, конвеєрні системи) та планування відновлення ділянки.

Метою дослідження є оціночний аналіз передових наукових методів адаптаційного коригування структури та функцій складних кар'єр-систем.

Основні завдання роботи полягають у виокремленні найбільш перспективних для умов Кривбасу наукових підходів до означеної проблеми.

Ідея роботи полягає в максимальній комп'ютеризації прийняття рішень.

Предмет дослідження – діджиталізація, програмування та штучний інтелект в гірничому проектуванні, управлінні та технологіях.

Об'єктом дослідження є методичне обґрунтування методів коригування розробки покладів корисних копалин за змінних умов.

Методи дослідження головним чином спрямовані на оціночний аналіз тенденцій в гірничій науці та технологіях, а також – компаративний аналіз ефективності стереотипних підходів різних ІТ-центрів щодо комп'ютеризації адаптаційного коригування об'єктів та функцій кар'єр-систем

Наукова складова – вибірково спрямований системний порівняльний аналіз комп'ютеризованих сучасних комплексів у гірництві з авторською інтерпретацією їх можливостей в ракурсі оцінки перспективності можливого упровадження на гірничо-збагачувальних комбінатах України.

Структура й обсяг роботи. Робота представлена рефератом, вступом, трьома розділами з узагальнюючими висновками за кожним, загальними висновками по роботі та рекомендаціями, а також списком використаних інформаційних джерел із 75 найменувань. Вона містить 15 рисунків та 6 таблиць. Загальний обсяг роботи складає 83 сторінки.

Ключові слова: ПРОЕКТУВАННЯ КАР'ЄРІВ, РУДНИКИ, КОМП'ЮТЕРИЗОВАНІ КОМПЛЕКСИ, КАР'ЄР, КОРИГУВАННЯ, ОПТИМІЗАЦІЯ.

ВСТУП

Відкритий видобуток корисних копалин має вирішальне значення для світової промисловості [1-3], оскільки він дозволяє масштабно видобувати важливі ресурси з меншими витратами та вищою продуктивністю, ніж підземний видобуток [4-5]. Він – дешевший і безпечніший для працівників, але має значний негативний вплив на навколишнє середовище, такий як руйнування ландшафту та вирубка лісів [6-7]. Технологічні інновації та відновлення ділянок є важливими для мінімізації цього впливу [8-10].

Загальні визначення. Насамперед, відзначимо, що до коригування звертаються у разі виходу контрольованої системи за межі припустимих відхилень від нормального її функціонування. При чому, саме *коригування є за своєю суттю чисто оптимізаційним втручанням*, тому його варто розглядати виключно з цієї точки зору.

Наразі більшість людей, ймовірно, знайомі з концепцією оптимізації рудників, особливо коли йдеться про вибір оптимального кінцевого контуру кар'єру для відкритих гірничих робіт. Тут ми окреслимо необхідність цього процесу, наслідки його нехтування та цінні поради та ідеї, доступні через програмний пакет K-MINE, що надає інструменти для кваліфікованих інженерів, розширює знання в багатьох галузях для покращення прийняття рішень та допомагає зробити майбутнє більш передбачуваним.

Будь-яка компанія, яка прагне збільшити прибуток, контролювати грошові потоки та забезпечити свій довгостроковий успіх, не може зробити це без створення надійних довгострокових фінансових моделей. Для гірничодобувних компаній основою такого фінансового прогнозування є стратегічне планування — створення фінансової оцінки всього життєвого циклу гірничодобувного підприємства. Але що лежить в основі цього процесу? Звичайно, видобуток гірничої сировини протягом розробки родовища. Важливо враховувати якомога більше факторів, не заглиблюючись у непотрібні деталі. Надмірна деталізація може перешкоджати процесу стратегічного планування, особливо враховуючи, що вхідні дані постійно змінюються. Отже, що саме потрібно врахувати?

Початкові інвестиції для розгортання діяльності. Це включає капітальні витрати на придбання (або повторну активацію) обладнання, угоди з підрядниками, зневоднення ділянки, будівництво переробного заводу та створення інфраструктури. По суті, всі початкові витрати, необхідні для цільової діяльності.

Оцінка операційних витрат. Тут важливо знайти правильний баланс — ні завищувати, ні занижувати витрати. Це часто є найважливішим фактором. Після визначення витрат їх слід порівняти з аналогічними компаніями, що працюють у регіоні. Такі дані часто доступні у відкритих джерелах.

Амортизація та заміна обладнання. Для існуючого обладнання та операцій, де термін служби рудника (Life of Mine – LoM) перевищує 15 років, важливо планувати витрати на амортизацію та потенційну заміну дорогоцінного обладнання протягом життєвого циклу проекту.

Податки. Ставки податків можуть значно відрізнятися, залежно від країни діяльності.

Інші міркування. У деяких регіонах додаткові витрати слід враховувати на такі ризики, як крадіжка, заходи безпеки та збільшення витрат через суворі умови експлуатації, серед іншого.

У цій частині ми зосередимося переважно на другому пункті: отриманні оптимального кінцевого контуру кар'єру — як визначити його з багатьох можливостей та ефективно спроектувати, враховуючи якомога більше факторів впливу. Результат цього етапу, як частини стратегічного планування, безпосередньо впливає на загальну прибутковість компанії, життєвий цикл родовища, періодичні грошові потоки та багато іншого.

Тепер безпосередньо увійдемо в процес оптимізації. Для початку, наприклад, припустимо, що існує певне родовище.

Перше запитання перед початком будь-якої роботи: наскільки вигідно його розробляти?

Друге: на яку глибину його слід видобувати?

Третє: якими будуть обсяги видобутку?

Такі запитання складають основу для побудови стратегії видобутку. Підходи до оптимізації родовища спеціально розроблені для визначення загального

обсягу матеріалу, що підлягає видобутку протягом усіх періодів виробництва. Інші міркування значною мірою залежатимуть від розміру кар'єру.

Коригування відкритих розробок стосується модифікацій та оптимізації методів відкритих видобувних робіт для підвищення ефективності, безпеки і прибутковості, мінімізуючи вплив на навколишнє середовище. Це включає управління змінними умовами на ділянці, інтеграцію нових технологій (таких, як супутниковий моніторинг або автоматизація), адаптацію обладнання (екскаватори, вантажівки, конвеєрні системи) та планування відновлення ділянки.

Сфери коригування:

Безпека та моніторинг: Адаптація стратегій моніторингу для постійно мінливих районів за допомогою геопросторових систем, які сканують на наявність непередбачуваних деформацій.

Операції та обладнання: Оптимізація процесів буріння, вибухових робіт, завантаження та транспортування за допомогою даних та стратегічного управління обладнанням.

Управління ресурсами: Коригування операцій у міру виснаження руди або коли витрати на поверхневий видобуток руди стають нерентабельними порівняно з витратами на підземний видобуток.

Вплив на навколишнє середовище: Впровадження методів мінімізації забруднення, управління водними потоками та підготовка до відновлення ділянки (рекультивації) після закриття рудника.

Технології та інновації: Інтеграція автоматизації та джерел сталого розвитку енергії для підвищення ефективності та зменшення впливу на навколишнє середовище.

Перехід до підземного видобутку: Коли вміст руди знижується, відкритий кар'єр можна перетворити на підземний для більш прибуткового видобутку, оскільки підземний видобуток є дорожчим.

Реконструкція: Після виснаження ресурсів кар'єр можна перетворити на сміттєзвалище або вжити заходів з відновлення ландшафту.

Оптимізація буріння та вибухових робіт: Використання даних дозволяє стратегічно планувати етапи буріння та підриання для покращення виробництва.

Актуальність теми. Відкриті гірничі роботи завжди ведуться в умовах певної непередбачуваності, оскільки саме середовище, в якому вони відбуваються є таким внаслідок стохастичності геологічних факторів, ринкової кон'юнктури, ресурсного забезпечення та антропоної варіативності. А так як гірничі технології є надзвичайно інертними та доволі жорсткими, гірники вимушені постійно підлаштовувати діяльність своїх кар'єр-систем до здебільшого спонтанних внутрішніх і зовнішніх змін, причому – робити це постійно. Коригування ж відкритих розробок стосується модифікацій та оптимізації методів відкритих видобувних робіт для підвищення ефективності, безпеки та прибутковості, мінімізуючи вплив на навколишнє середовище. Це включає управління змінними умовами на ділянці, інтеграцію нових технологій (таких, як супутниковий моніторинг або автоматизація), адаптацію обладнання (екскаватори, вантажівки, конвеєрні системи) та планування відновлення ділянки.

Метою дослідження є оціночний аналіз передових наукових методів адаптаційного коригування структури та функцій складних кар'єр-систем.

Основні завдання роботи полягають у виокремленні найбільш перспективних для умов Кривбасу наукових підходів до означеної проблеми.

Ідея роботи полягає в максимальній комп'ютеризації прийняття рішень.

Предмет дослідження – діджиталізація, програмування та штучний інтелект в гірничому проектуванні, управлінні та технологіях.

Об'єктом дослідження є методичне обґрунтування методів коригування розробки покладів корисних копалин за змінних умов.

Методи дослідження головним чином спрямовані на оціночний аналіз тенденцій в гірничій науці та технологіях, а також – компаративний аналіз ефективності стереотипних підходів різних ІТ-центрів щодо комп'ютеризації адаптаційного коригування об'єктів та функцій кар'єр-систем

Наукова складова – вибірково спрямований системний порівняльний аналіз комп'ютеризованих сучасних комплексів у гірництві з авторською інтерпретацією їх можливостей в ракурсі оцінки перспективності можливого упровадження на гірничо-збагачувальних комбінатах України.

Розділ 1

ПЕРЕДУМОВИ, ЧИННИКИ, ЦІЛІ ТА ФОРМИ КОРИГУВАННЯ ГІРНИЧИХ ПРОЕКТІВ ТА ВИРОБНИЦТВА

1.1. Суть та приклади коригування відкритих гірничих робіт

Коригування відкритих видобувних робіт включає зміну фізичних меж шахти для контролю виробництва, оптимізацію кутів ухилу для стабільності та коригування послідовності виїмки для досягнення економічних та безпекових цілей. Ключові коригування включають зміну довжини та просування робочих ліній, визначення кутів укосів на основі розташування або властивостей моделі блоку, а також використання програмного забезпечення для оптимізації кінцевої форми та послідовності видобутку з урахуванням таких факторів, як ціни на корисні копалини та коефіцієнти виймання.

Найбільш масштабно науково обґрунтоване коригування гірничих робіт та розвитку кар'єру було реалізовано на руднику Chuquibambilla, Чилі (рис. 1.1) [11].



Рис. 1.1. Кар'єр Chuquibambilla, Чилі.

[Джерело: Photo courtesy of Codelco's Chuquibambilla Division, Chile [11]

І поруч з цим доречним буде навести протилежний приклад недбалості щодо своєчасного коригування ключових параметрів виробленого простору, яке призвело до катастрофічного за масштабами зсуву в найглибшому кар'єрі нашої планети з видобутку мідної руди Bingham Canyon (рис. 1.2) [12].



Рис. 1.2. Кар'єр Bingham Canyon Mine [Джерело: <https://cdn.mapme.club/images/5300/53005-samyj-glubokij-karer.jpg> [13]]

Рудник Bingham Canyon Mine займається виробництвом міді та є власністю Британсько-австралійської транснаціональної корпорації Rio Tinto і перебуває під управлінням компанії Kennecott Utah Copper Corporation, з причини чого більш відомий серед місцевих мешканців як Kennecott Copper Mine [14]. Кар'єр розробляє крупне мідно-порфірове родовище в горах Oker Mountains поблизу

міста Солт-Лейк-Сіті, штат Юта, США. Видобуваються руди з вмістом 0,6-0,8 % міді та 0,025 % молібдену. Bingham Canyon Mine виробив більше міді, ніж будь-хто інший — понад 19 млн т [15], залишкові запаси — 1,1-1,2 млрд т руди. Родовище розкрито тупиковою траншеєю з трьома залізничними тунелями і автомобільними з'їздами. Система розробки — транспортна.

У квітні 2013 на кар'єрі стався масивний зсув (обрушилося 70 млн м³ породи) та дещо менший зсув у вересні того ж року [16].

Коригування фізичних меж та виробництва

Модифікація робочих ліній: Коригування довжини робочих ліній та швидкості просування для зміни діапазону виробництва та контролю виробництва, що може базуватися на таких факторах, як ціни на сировинні товари.

Оптимізація меж кар'єру: Використовуйте алгоритми для визначення кінцевої межі кар'єру, яка максимізує прибутковість, враховуючи такі фактори, як сорт руди, витрати на видобуток та ринкові ціни.

Коригування кутів ухилу: Визначення та коригування кутів ухилу для стабільності на основі різних ділянок або блоків, забезпечуючи структурну цілісність та безпеку.

Це часто роблять фахівці-геотехніки, які вводять конкретні значення для різних блоків.

Використання технологій та програмного забезпечення

Використання програмного забезпечення для оптимізації: Використовуйте спеціалізоване програмне забезпечення, яке поєднує виробничі, економічні та інженерні фактори для створення «оболонки кар'єрів», що представляють різні економічні значення, що дозволяє використовувати більш стратегічний підхід до оптимізації.

Впровадження різних методів моделювання: Використовуйте такі методи, як азимутальні (вектори) або сітчасті (площі), для визначення схилів, а також властивості блочної моделі для більш детального та керованого даними підходу.

Балансування економічних факторів

Реагування на ринкові умови: Коригування меж видобутку на основі коливань цін на сировинні товари, щоб узгодити це зі зміною економічного ландшафту.

Керування коефіцієнтами розкриття: Контролюйте коефіцієнт розкриття (кількість пустої породи, яку потрібно перемістити на одиницю руди) та використовуйте його для прийняття рішень про те, які ділянки видобувати.

Оптимізація планування: Балансування виробничих потужностей між різними напрямками, дотримуючись часових обмежень та максимізуючи чисту приведену вартість (NPV).

Упровадження операційних змін

Використання автоматизованих систем: Інтеграція технологій, таких як контейнерні системи, для підвищення ефективності та продуктивності, особливо для транспортування матеріалів у межах кар'єру.

Забезпечення дотримання правил відкритого видобутку та геометрії: встановлення та забезпечення дотримання обмежень, таких як мінімальна глибина або геометрія, щоб забезпечити дотримання операцій вимог безпеки та структурної цілісності [17].

1.2. Обмеження за відкритого видобутку корисних копалин

Планування відкритого видобутку корисних копалин оптимізує розробку ресурсів та ефективність, узгоджуючи ринкові умови з потребами в обладнанні та робочій силі.

На нашій погляд, для цілей даної магістерської роботи найбільш доцільно спиратися на досвід та пропозиції MiningMath [18], що пропонує широкий параметричний спектр для управління такими обмеженнями, як кути укосів, геометрія, змішування та ліміти виробництва.

MiningMath пропонує рішення навіть тоді, коли обмеження не можуть бути повністю задоволені, завдяки своєму покроковому – ітераційному механізму оптимізації, який максимізує чисту приведену вартість (NPV), а також стратегічно послаблює менш критичні обмеження, коли це необхідно, забезпечуючи

доцільні графіки навіть у складних сценаріях, адже відкритий видобуток корисних копалин передбачає їх вилучення саме поопераційно безпосередньо з поверхні землі, формуючи відкритий кар'єр. Цей метод є практичним та економічно ефективним, коли руда знаходиться поблизу поверхні, і рудник зазвичай виконується серією сходинок або уступів, щоб досягти глибших шарів руди.

Прикладом такого кар'єру може слугувати рудник McLaughlin у вулканічному регіоні Clear Lake на півночі Каліфорнії, США (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Рудник McLaughlin [Photographer: Donnelly-Nolan, Julie M. [19]

Планування відкритих гірничих робіт

Ключовим компонентом відкритих гірничих робіт є планування, яке включає призначення послідовності гірничих робіт для оптимізації видобутку ресурсів, операційної ефективності за ринкових умов.

Ефективне планування також враховує наявність обладнання, технічне обслуговування й управління робочою силою, балансуючи нагальні цілі з довгостроковими виробничими цілями.

Обмеження відкритих гірничих робіт за допомогою MiningMath [20]

Для досягнення ефективного планування відкритих гірничих робіт важливо керувати критичними обмеженнями, такими як забезпечення дотримання правил видобутку, кути укосів для стійкості та геометричні вимоги до структурної цілісності та призначення обладнання.

Водночас, балансування виробничих потужностей між напрямками та контроль темпів видобутку корисних копалин є важливими для оптимізації використання ресурсів та підтримки продуктивності.

Крім того, дотримання часових обмежень та максимізація чистої приведеної вартості (NPV) мають вирішальне значення для економічної доцільності та успіху проекту.

Підсумовуючи, під час планування відкритих гірничих робіт є важливими кілька обмежень для забезпечення безпечної та ефективної роботи.

MiningMath пропонує широкий спектр обмежень для забезпечення пропорційного моделювання й оптимізації графіків відкритого видобутку корисних копалин:

Обмеження щодо управління поверхнею та укосами

Кути укосів: враховують кути породних оголень та коригують поверхні відповідно до схилів, забезпечуючи кращу стабільність масивів та безпеку.

Примусовий видобуток: визначають мінімальну глибину, геометрію або ділянки, які слід видобувати в певні часові рамки.

Обмежений видобуток: визначають мінімальну глибину, геометрію або ділянки, які не слід видобувати в певні часові рамки.

Примусовий та обмежувальний видобуток: досягають точної форми кар'єру, визначивши ту саму поверхню, що й примусовий та обмежувальний видобуток в ті ж часові рамки.

Геометричні обмеження

Ширина та довжина: враховують ширину та довжину протягом усього процесу оптимізації, а не лише під час проектування кар'єру.

Забезпечують мінімальні горизонтальні відстані: між точками на найнижчій площадці кар'єру, між кар'єрами в кожному періоді та між поверхнями бор-

тів кар'єрів протягом послідовних періодів видобутку запланованих обсягів мінеральної сировини.

Вертикальна швидкість просування: визначають максимальну вертикальну відстань, що видобувається в кожному періоді, узгоджуючи її з глибиною кар'єру та наявним обладнанням.

Обмеження оптимізації ресурсів

Обмеження виробництва: визначають обмеження тоннажу для будь-якого пункту призначення або для будь-якої групи пунктів призначення в певний період часу.

Загальні обмеження оптимізації

Обмеження середнього значення: зазвичай контролюють середнє значення будь-якого кількісного параметра, змодельованого блок за блоком, такого, наприклад, як вміст корисних копалин або інші змінні, такі як відстань перевезення тощо.

Обмеження суми: контролюють суму будь-якого кількісного параметра, змодельованого блок за блоком, такого як тоннаж та пропорції типу породи та виробництва металу, енергія, витрачена під час подрібнення, години роботи парку, витрачені на мобілізацію матеріалу тощо.

Обмеження економічної оптимізації

Покращення чистої приведеної вартості (NPV): За однокрокового механізму оптимізації видобутку тієї чи іншої мінеральної сировини MiningMath одночасно шукає найкращу NPV для всіх розглянутих обмежень, пропонуючи широкий спектр можливих рішень.

Гарантовані графіки відкритого видобутку з MiningMath

Складні обмеження збільшують ймовірність незнаходження доцільних рішень.

Однак MiningMath завжди пропонує рішення, навіть якщо воно не може задовольнити всі обмеження або потребує пожертвувати деякими NPV для доцільності.

Коли виявляється нездійсненне рішення, алгоритм стратегічно послаблює менш критичні обмеження, видаючи попередження користувачеві у звіті.

Цей адаптивний процес забезпечує ефективну оптимізацію без шкоди для часу виконання (рис. 1.4).

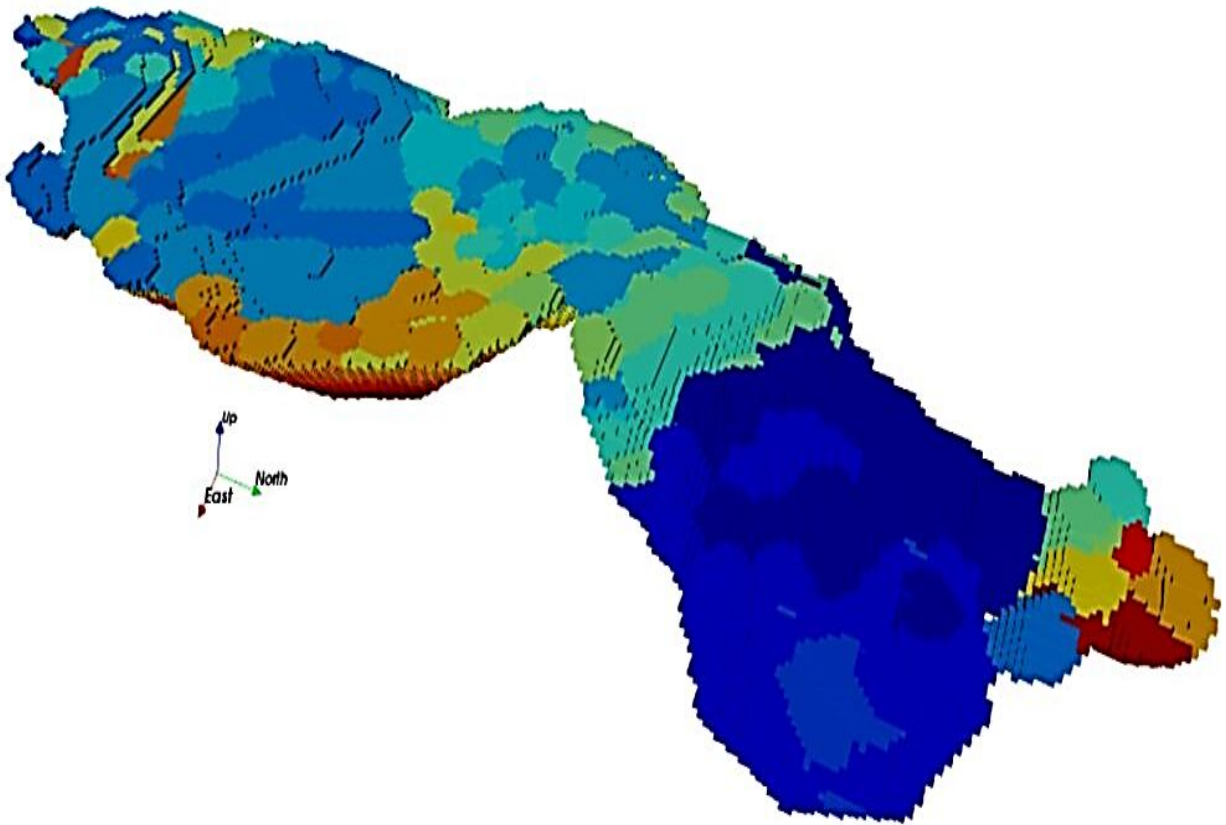


Рис. 1.4. Приклад планування з MiningMath для рудника McLaughlin, що демонструє 2 140 342 блоки. Кожен період представлений різним кольором [Джерело: <https://miningmath.com/wp-content/uploads/2024/07/mclaughlin-scheduling-1536x802.jpg> [21]]

Висновки за розділом 1

Для досягнення ефективного планування відкритих гірничих робіт важливо керувати критичними обмеженнями, такими, як забезпечення дотримання правил видобутку, кути укосів для стійкості та геометричні вимоги до структурної цілісності та призначення обладнання. Водночас, балансування виробничих потужностей між напрямками та контроль темпів видобутку корисних копалин є важливими для оптимізації використання ресурсів та підтримки продуктивності. Крім того, дотримання часових обмежень та максимізація чистої приведеної вартості (NPV) мають вирішальне значення для економічної доцільності та успіху проекту.

Розділ 2

ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ТА МЕТОДИ КОРИГУВАННЯ ВІДКРИТИХ РОЗРОБОК РУДНИХ ПОКЛАДІВ

2.1. Коригування розробки на прикладі застосування модулів K-MINE

Насамперед, що є оптимізацією в контексті коригування відкритої розробки? З точки зору програмного забезпечення, оптимізація стосується визначення кінцевого контуру кар'єру на основі набору критеріїв, визначених користувачем. Ці критерії визначаються досвідом та інтуїцією користувача. Загалом, процес пошуку кінцевого кар'єру включає оцінку кожного блоку в блочній моделі, щоб вирішити, чи буде він включений до видобувного простору. Для досягнення цієї мети було розроблено різні підходи та математичні алгоритми, але алгоритм Лерча-Гроссмана (Lerchs-Grossmann) [22] є найбільш широко використовуваним. Це пояснюється тим, що він охоплює найширший діапазон можливостей та виключає найменшу кількість факторів, забезпечуючи найточніші результати (рис. 2.1).

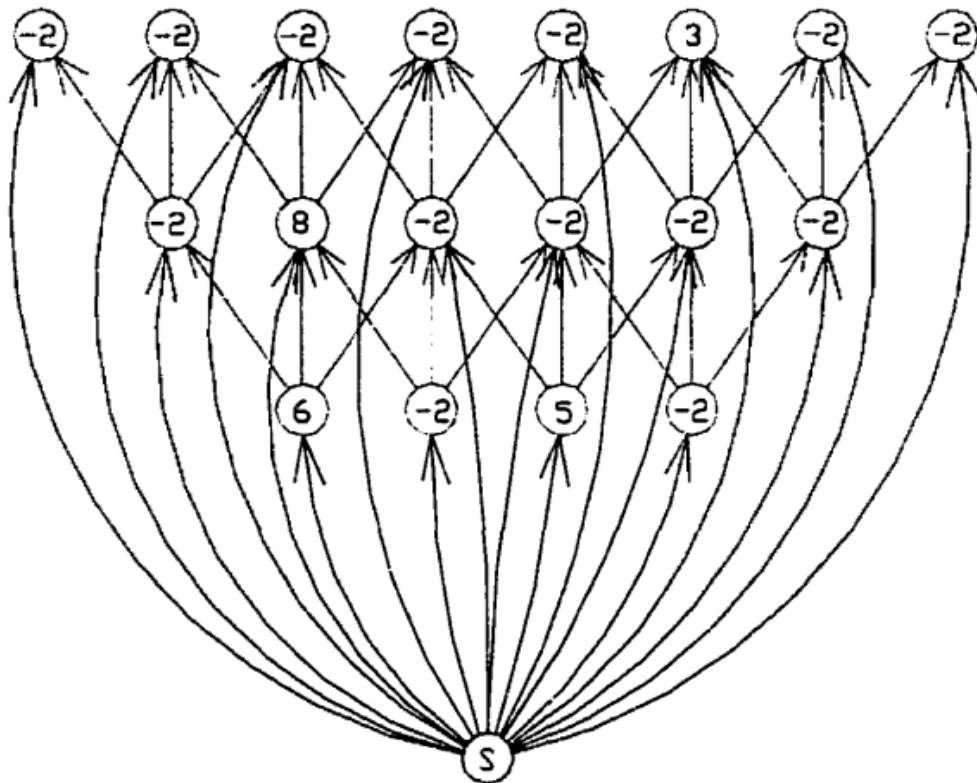


Рис. 2.1. Початкове дерево графа Лерча-Гроссмана

Іншим прикладом візуалізації може слугувати алгоритмізація періодичних процесів (рис. 2.2).

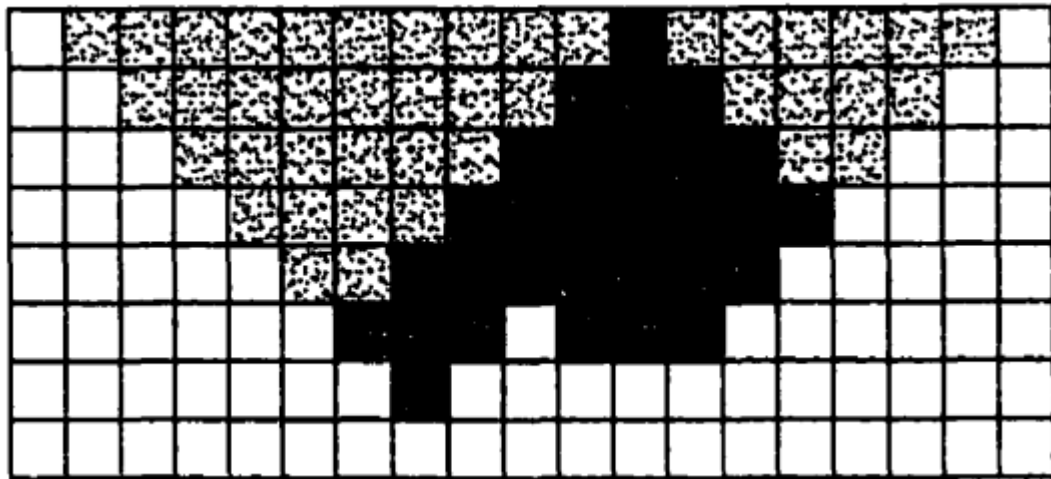


Рис. 2.2. Частота екстракції згідно з евристичним методом Гершона:

- – блок, для якого розраховується умовна вага;
- – блоки, що є частиною розрахункової структури;
- ▒ – блоки всередині кінцевих меж

Але, що ж забезпечує алгоритм Лерча-Гроссмання? Він обчислює прибутковість кожного блоку, який потім пов'язується разом за допомогою стабільних результуючих кутів. Блоки, які разом дають позитивний результат, включаються до кінцевого результату. Найпоширенішим методом створення діапазону варіантів є використання коефіцієнта коригування ціни для кінцевого продукту.

Блоки, які разом дають позитивний результат, включаються до кінцевого результату. Спрощена демонстрація алгоритму Лерча-Гроссмання в дії. У програмному забезпеченні K-MINE [23], в модулі Pit Optimizer, реалізовано покращений алгоритм Pseudo Flow. Цей алгоритм базується на методі Лерча-Гроссмання, але був удосконалений та прискорений.

А так як нижче мова йтиме про комп'ютеризовані операції з коригування відкритих розробок, важливо пам'ятати, що програмне забезпечення допомагає в процесі проектування, а не в самому проектуванні. Проектуванням керує виключно і цілком інженер, який його виконує.

Щодо частоти виконання оптимізації родовища корисних копалин, рекомендується проводити цей процес принаймні раз на рік, оновлюючи та уточнюючи економічні показники та будь-які інші параметри, які могли змінитися.

Крім того, якщо будь-який ключовий учасник процесу оптимізації зазнає значних змін, рекомендується негайна повторна оптимізація, а також оперативне коригування гірничих робіт, якщо цього вимагають обставини (рис. 2.3). Невиконання цього може призвести до значного погіршення економічного становища компанії. Такий підхід гарантує, що керівники будуть поінформовані та готові до викликів, що виникають через зміну ринкової пропозиції та попиту.

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	3	5	3	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	3	5	3	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	3	5	3	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	3	5	3	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	3	5	3	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	3	5	3	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	3	5	3	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	3	5	3	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	3	5	3	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

Рис. 2.3. Подача вихідного блока [Джерело: <https://k-mine.com/wp-content/uploads/2024/12/Picture-1-1.png> [24]

Підсумовуючи: Стратегічне планування шахти – це перший етап процесу планування. Його основна мета – визначити оптимальну стратегію розробки кар'єру. Виходячи з цілей компанії, слід досягти таких результатів:

Максимізація чистої приведеної вартості (NPV).

Максимізація терміну служби рудника.

Максимізація видобувних запасів.

Мінімізація капітальних вкладень.

Мінімізація терміну окупності.

Максимізація якості кінцевої продукції.

Мінімізація собівартості кінцевої продукції.

Звичайно, досягнення балансу між цими параметрами є важливим.

Головним результатом стратегічного планування є план життєвого циклу, який може бути представлений у кількох варіаціях, таких як: Мінімальний сценарій, Стандартний режим виробництва, Сценарій максимальних інвестицій.

Без стратегічного планування ми можемо зіткнутися з питаннями без відповіді, такими як:

Що станеться, якщо ми будемо видобувати більше або менше?

Що станеться, якщо ефективність збагачувальної фабрики збільшиться або зменшиться?

Що станеться, якщо ми припинимо розкриття розкривних порід зараз і зменшимо їх загальний обсяг?

Що станеться через 7 (N) років, якщо ми не почнемо працювати на цій ділянці сьогодні?

Де і коли найкраще розмістити екскаватор?

Скільки розкривних порід потрібно для видобутку необхідної кількості руди?

Який сорт руди слід вважати мінімальним, і яку руду з певними показниками якості слід запасти на «кращі часи»?

І багато іншого. Зрештою, що станеться з прибутком, якщо...?

Відповівши на всі ці та інші питання, стає можливим вибрати стратегію розвитку компанії. Робота з «неявним» планом означає ризик збитків або втрату можливостей.

Таким чином, оптимізація родовищ корисних копалин є важливою частиною успішної роботи в сучасних ринкових умовах.

Тепер можна перейти до більш технічних аспектів цього процесу. Модуль Pit Optimizer у програмному забезпеченні K-MINE розроблений для того, щоб крок за кроком допомогти користувачам створити проект оптимізації. Кожен етап можна перевірити, а проміжні результати можна згенерувати та переглянути.

Тепер детальніше розглянемо послідовність завдань у процесі оптимізації.

1. Додавання блокової моделі до проекту

Для початку процесу оптимізації вам потрібна блокова модель та топографічна основа, яка відображає поточне положення гірничих робіт у кар'єрі, що потребує оптимізації. Якщо кар'єр ще не розроблений, топографічна основа повинна представляти поверхню ділянки.

Як блокова модель, так і площа поверхні, представлена у вигляді сітки, повинні виходити за межі родовища, щоб уникнути зайвого обмеження можливостей оптимізатора (рис. 2.4).

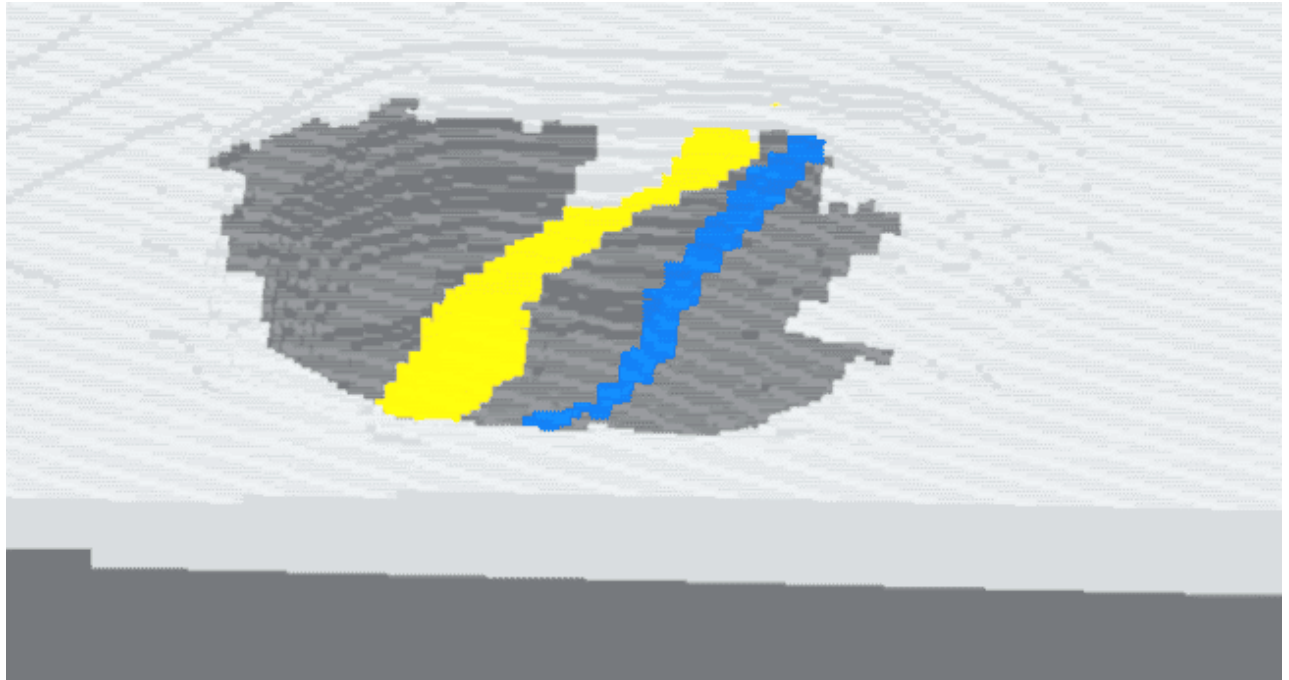


Рис. 2.4. Блокова модель родовища [Джерело: <https://k-mine.com/wp-content/uploads/2024/12/image-869.png> [25]

На першому кроці блокова модель повинна бути обмежена топографічною сіткою. Після завершення цього блокову модель можна додати до проекту.

Далі визначають типи та властивості гірських порід, які будуть використовуватися в проекті, та розраховують блокову модель. Це генерує детальну інформацію за горизонтами, згрупованими за типами гірських порід.

2. Додавання геотехнічних параметрів до проекту

Метою наступного кроку є визначення результуючих ухилів кар'єру. Їх можна визначити кількома способами та вони можуть змінюватися на різних ділянках кар'єру, що значно підвищує точність результатів для відображення фактичних умов видобутку.

Користувачі можуть встановлювати ці параметри кількома методами:

На основі азимута (за векторами): Різні ухили можна призначати на основі заданих азимутів.

На основі сітки (за площами): Різні ухили призначаються відповідно до певних сіток. У межах цих сіток окремі зони також можна визначати за допомогою векторного методу.

За властивостями блочної моделі: Ухили можна встановлювати на основі полів блочної моделі або атрибутів класу матеріалу. Це – найпоширеніший метод. Геотехнічні фахівці можуть вводити конкретні значення для певних блоків у блочну модель, які потім можна застосувати тут. Крім того, з блочної моделі можна отримати різні властивості та призначити їм відповідні значення ухилу кар'єру.

3. Додавання економічних показників

Одним із найважливіших етапів створення проекту є економічна оцінка кожного блоку, яка служить основою для визначення кінцевого контуру кар'єру. Першим кроком є визначення коефіцієнтів коригування ціни на кінцевий продукт. Рекомендується використовувати невеликі прирости (від 0,1 до 0,01) у діапазоні від 0,1 до 1,2 (від 10% до 120%). Це забезпечує високу інформативність отриманого набору даних (рис. 2.5) .

У меню кінцевого продукту необхідно налаштувати такі параметри:

Назва та ціна кінцевого продукту.

Вміст (лише при вимірюванні в грамах на тонну).

Витрати на переробку.

Бортовий вміст.

Коефіцієнт вилучення для вилучення кінцевого продукту з необробленої руди.

У випадках, коли переробка не потрібна, ці поля можуть залишатися незмінними. Крім того, всі параметри можна вводити як фіксовані значення, формули або виводити безпосередньо з моделі блоку, що підвищує гнучкість сценарію та спрощує його налаштування.

Для сценаріїв, коли блок містить кілька цінних компонентів, процес можна налаштувати з урахуванням послідовного видобутку корисних копалин із сирової руди.

Final Product		
Rocks	Name	Price
HG_ore;LG_ore	Pellets	180

Processing		
Rocks	Unit Cost	Cost
HG_ore	By Rock Weight	10
LG_ore	By Rock Weight	8

Cut-Off Grade	
Rocks	Value
HG_ore	Fe_m:[15..99]
LG_ore	Fe_m:[12.5..99]

Recovery Factor	
Rocks	Value
HG_ore	Fe_m:0.45
LG_ore	Fe_m:0.35

Рис. 2.5. До створення проекту є економічна оцінка кожного блоку [Джерело: <https://k-mine.com/wp-content/uploads/2024/12/Group-3695.png> [26]

Для покращення зручності використання існує можливість встановити вартість земляних робіт на ділянці або повністю виключити її з оцінки. Це особливо актуально при врахуванні будівель або інших споруд, розташованих у межах кар'єру. Витрати на земляні роботи та транспортування налаштовуються окремо. Транспортні витрати також можна коригувати за горизонтами, пропорційно збільшуючись з відстанню транспортування.

У параметрах розрахунку, щоб визначити чисту приведену вартість (NPV) та термін служби родовища, необхідно вказати розрахунковий річний обсяг видобутку та ставку дисконтування. Крім того, є можливість встановити бажаний розмір граничного прибутку для визначення кінцевого контуру кар'єру.

Після завершення цього етапу можна розпочати розрахунки, а результати можна переглянути.

4. Аналіз та вибір кінцевого контуру кар'єру

Після успішного розрахунку результати можна переглянути в кількох форматах:

Табличні дані

Табличні дані можна відображати в кількох режимах – кумулятивному, диференціальному та інкрементальному. Обсяг даних дозволяє легко оцінити кожен варіант, а для більш глибокого аналізу результати можна експортувати в Excel.

Діаграми (рис. 2.6)

Діаграми, як і таблиці, можна представляти у трьох режимах.

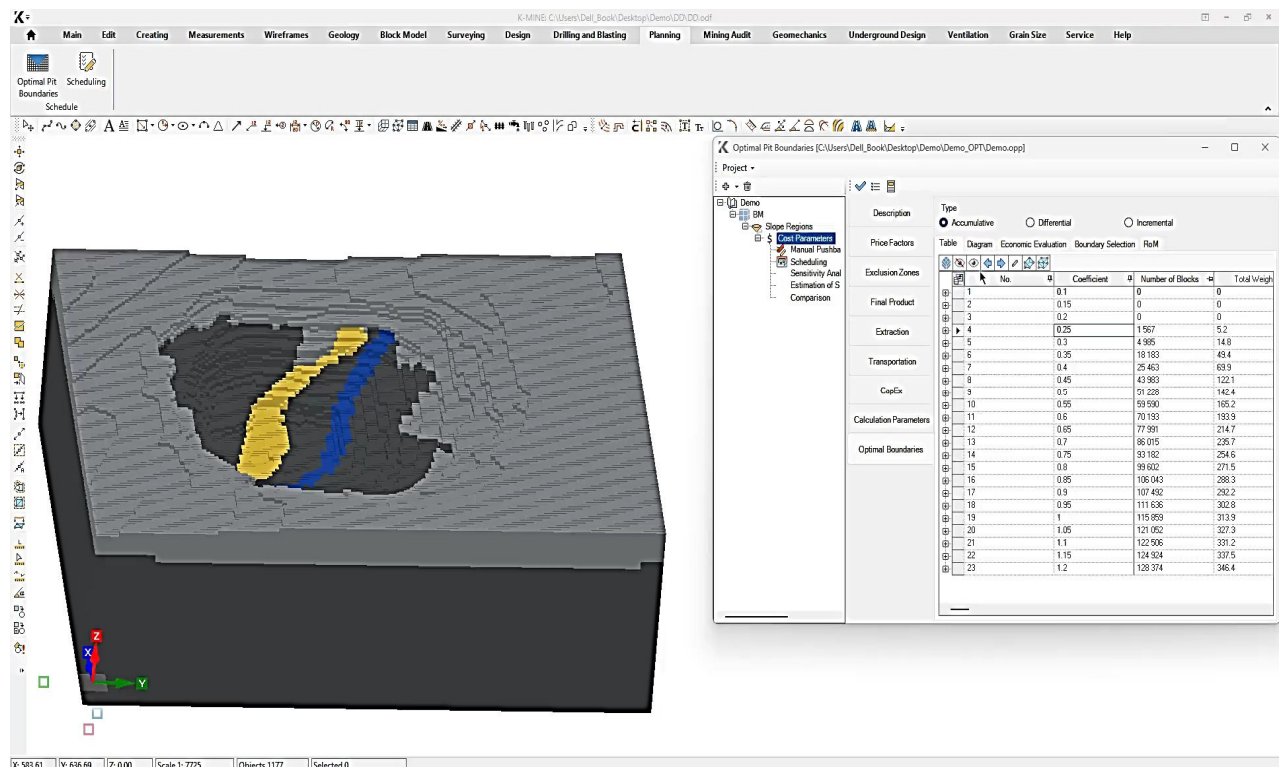


Рис. 2.6. Діаграмний формат розрахунку результатів [Джерело: <https://k-mine.com/wp-content/uploads/2024/12/OPT1.mp4> [27]]

Результуючі сітки (рис. 2.7)

На основі згенерованих груп блоків користувачі можуть створювати необхідну кількість сіток, які на цьому етапі планування зазвичай називають вкладеними оболонками кар'єрів.

Обсяг даних, доступних для аналізу та вибору кінцевого контуру, є великим і достатнім для прийняття рішення. Підхід, що використовується для вибору, залежить від конкретних потреб кожної компанії — чи то максимізація короткострокового прибутку, максимізація видобутих запасів, загальна чиста приведена вартість (NPV) чи інші пріоритети.

Для більш детального та поглибленого аналізу можна використовувати такі показники: прибуток, коефіцієнт прибутку, NPV, маржа, обсяг руд у переробці, LoM, якість, IRR, DPP, DCF та багато інших. Як і будь-який інший проект, цей відповідає фінансовим правилам та аналізу.

Наступні кроки є додатковими до процесу визначення кінцевого контуру кар'єру та є важливими для стратегічного планування.

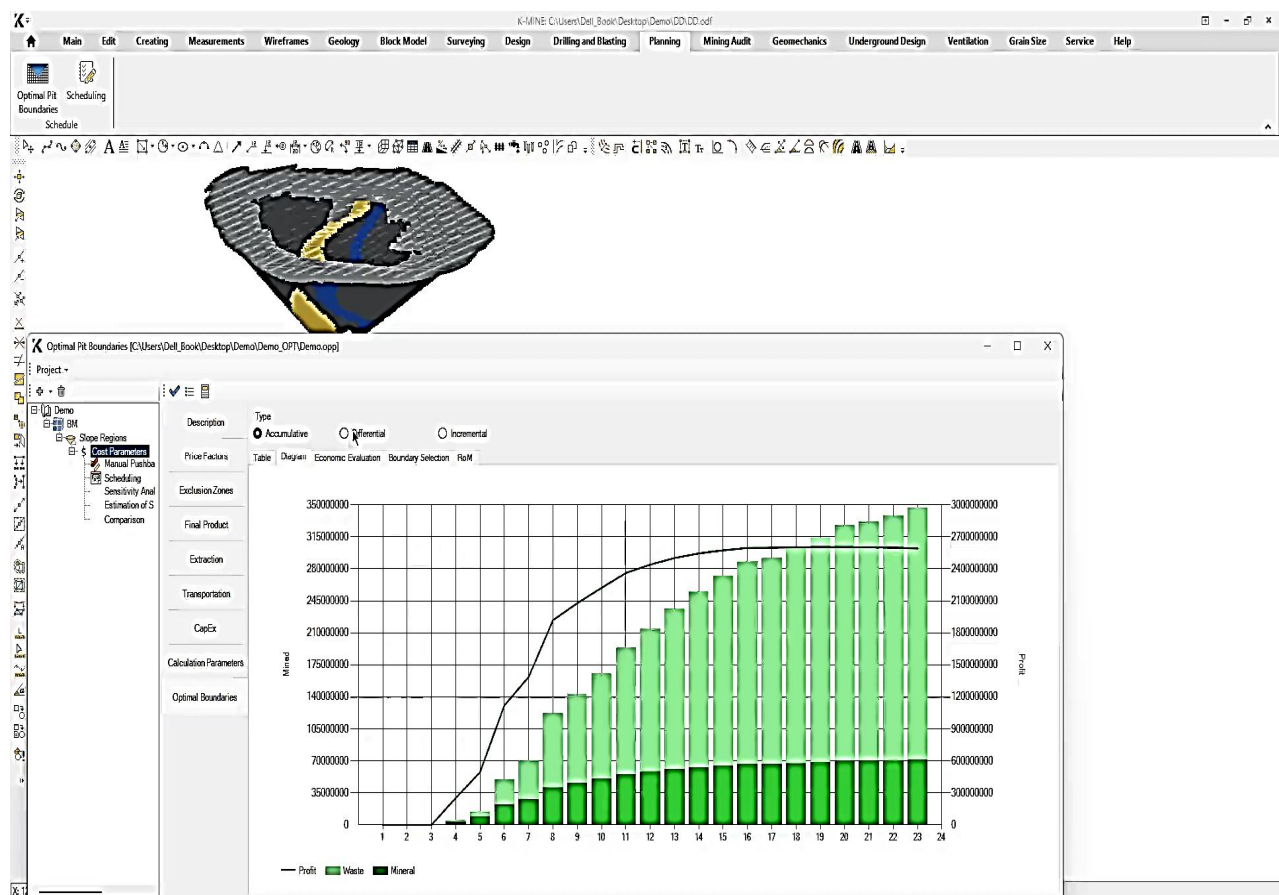


Рис. 2.7. Вкладені оболонки кар'єрів [Джерело: https://k-mine.com/wp-content/uploads/2024/12/OPT_2-1.mp4 [28]

5. Створення планів видобутку

Для детального планування видобутку, зокрема для визначення оптимальної кількості розкривних порід та руди для кожного періоду, необхідно визначити фази розробки кар'єру, відомі як видобутки. Для максимізації ефективнос-

ті рекомендується використовувати ці видобутки в модулі планування. Існує два варіанти створення видобутку: ручний та автоматичний.

6. Створення плану планування (рис. 2.8)

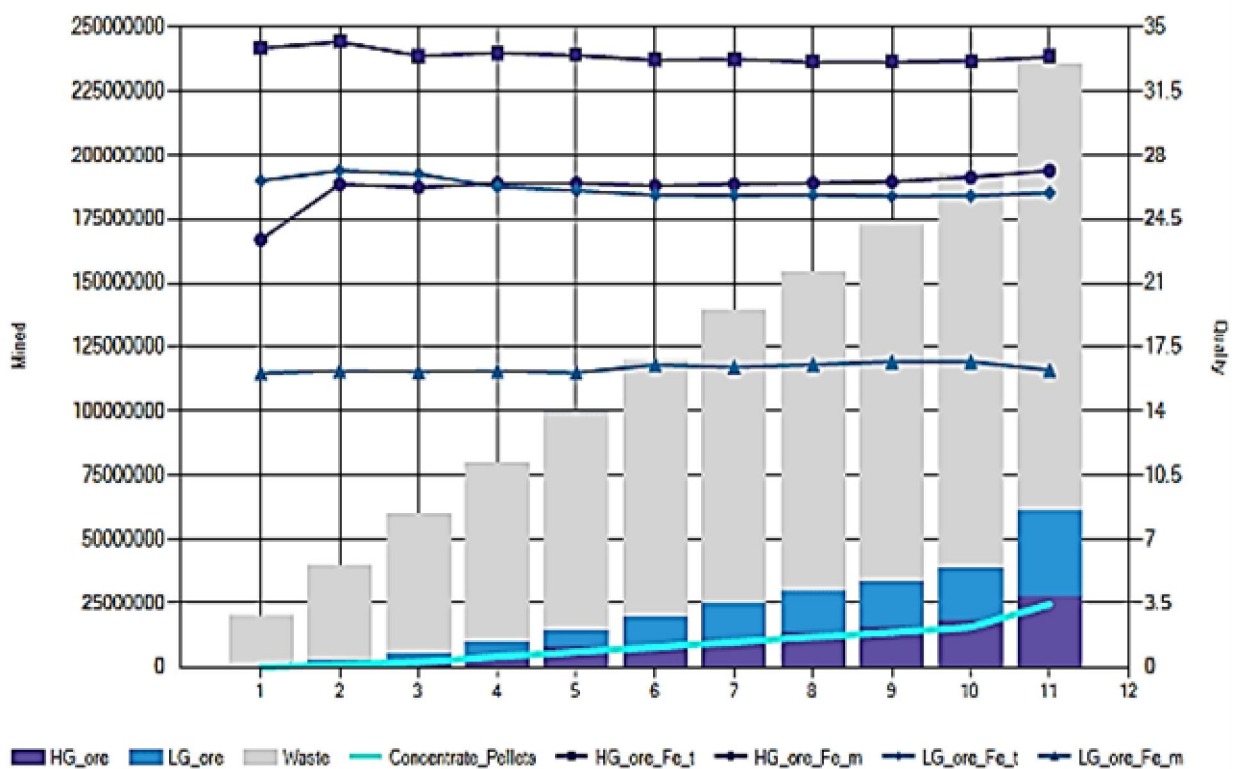


Рис. 2.8. Діаграмний формат розрахунку результатів [Джерело: <https://k-mine.com/wp-content/uploads/2024/12/OPT1.mp4> [29]

Для попередньої оцінки видобутку матеріалів за періодами рекомендується використовувати планування в модулі Pit Optimizer. Воно структуровано для створення панелей на основі кінцевих контурних оболонок та горизонтів, з якими вони перетинаються.

7. Аналіз чутливості (рис. 2.9)

Аналіз чутливості відповідає на питання, як зміниться дохід, коли один із параметрів у проекті оптимізації буде скориговано. Змінюючи діапазон коливань даних та спостерігаючи за поведінкою прибутку або чистої поточної вартості (NPV), ми робимо висновки та впливаємо на результат.

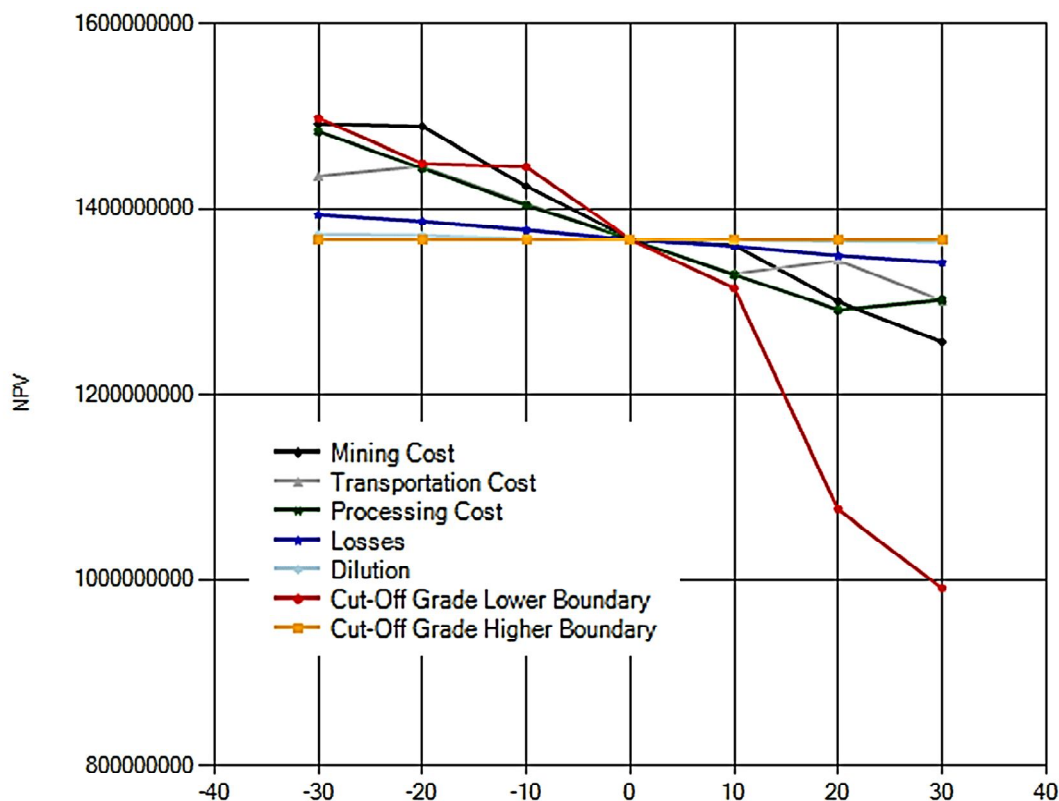


Рис. 2.9. Аналіз чутливості [Джерело: <https://k-mine.com/wp-content/uploads/2024/12/Picture-7.png> [30]]

8. Оцінка зовнішніх контурів (рис. 2.10)

Щоб оцінити, наскільки добре задана кінцева сітка контурів узгоджується з нашим оптимізованим результатом, або порівняти результати кількох проектів оптимізації, існує опція додавання зовнішніх контурів до проекту оптимізації. Ця функція також корисна для порівняння розробленого кінцевого контуру зі згенерованою оболонкою кар'єру.

Крім того, як частина результатів, детальна інформація для кожної з доданих сіток надається у табличній формі для порівняння.

Повернемося до кінцевого контуру кар'єру. Припустимо, визначили, що кінцевий контур кар'єру – це той, де в режимі відображення кумулятивних даних NPV перестає зростати. Тоді вибирають цей контур і створюють сітку, відому як оболонка кар'єру. Але як перетворити цей результат на повноцінний проект, який враховує всі комунікації, стабільність та інші умови?

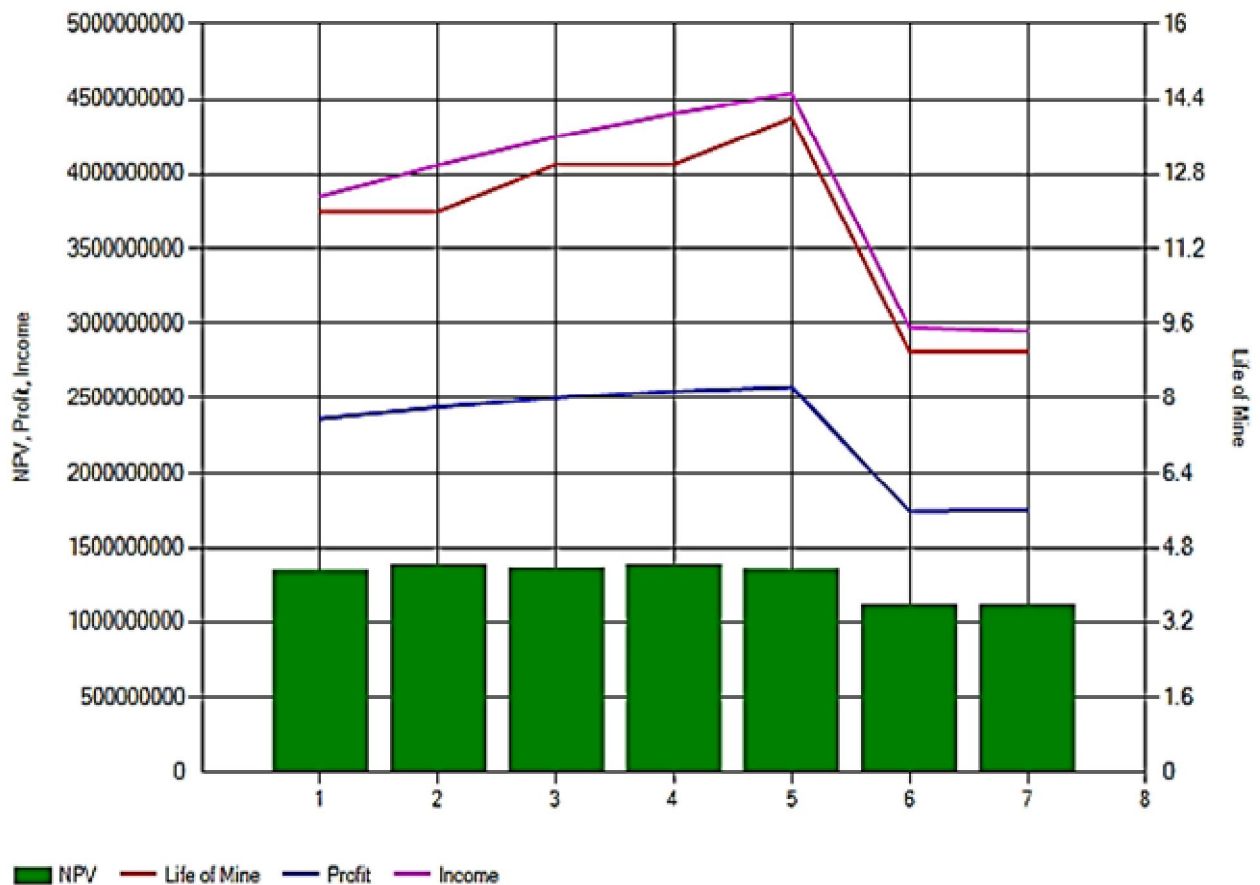


Рис. 2.10. Оцінка зовнішніх контурів [Джерело: <https://k-mine.com/wp-content/uploads/2024/12/Picture-8.png> [31]]

Звичайно, можна вручну малювати горизонт за горизонтом – це копітка робота, яка вимагає значного часу. Якщо потрібні зміни, весь проект доведеться переробляти. Хоча цей підхід – ефективний, він негнучкий і непрактичний. Щоб вирішити ці проблеми, K-MINE розробила рішення під назвою «Динамічне проектування», яке є важливою частиною модуля Open Pit Project.

Метою модуля Open Pit Project є швидке створення остаточних контурів кар'єру, фаз відштовхування та регулярних креслень для різних періодів часу. Завдяки автоматизованим розрахункам необхідний час скорочується в кілька разів — і це не перебільшення! Ще одним важливим аспектом цього процесу є те, що при завантаженні збереженого проекту можна внести необхідні корективи та швидко перебудувати проект.

Модуль розроблений для роботи не лише з кар'єрами, але й з породними відвалами. Він дозволяє проектувати кар'єри як знизу вгору, так і зверху вниз. Мінімальні дані, необхідні для побудови проекту, включають геотехнічні дані,

зокрема, список горизонтів із зонами (якщо такі є) та початковий контур для будівництва. Все інше можна налаштувати безпосередньо в проєкті (рис. 2.11).

Тепер розглянемо крок за кроком: як перетворити «це» на «те».

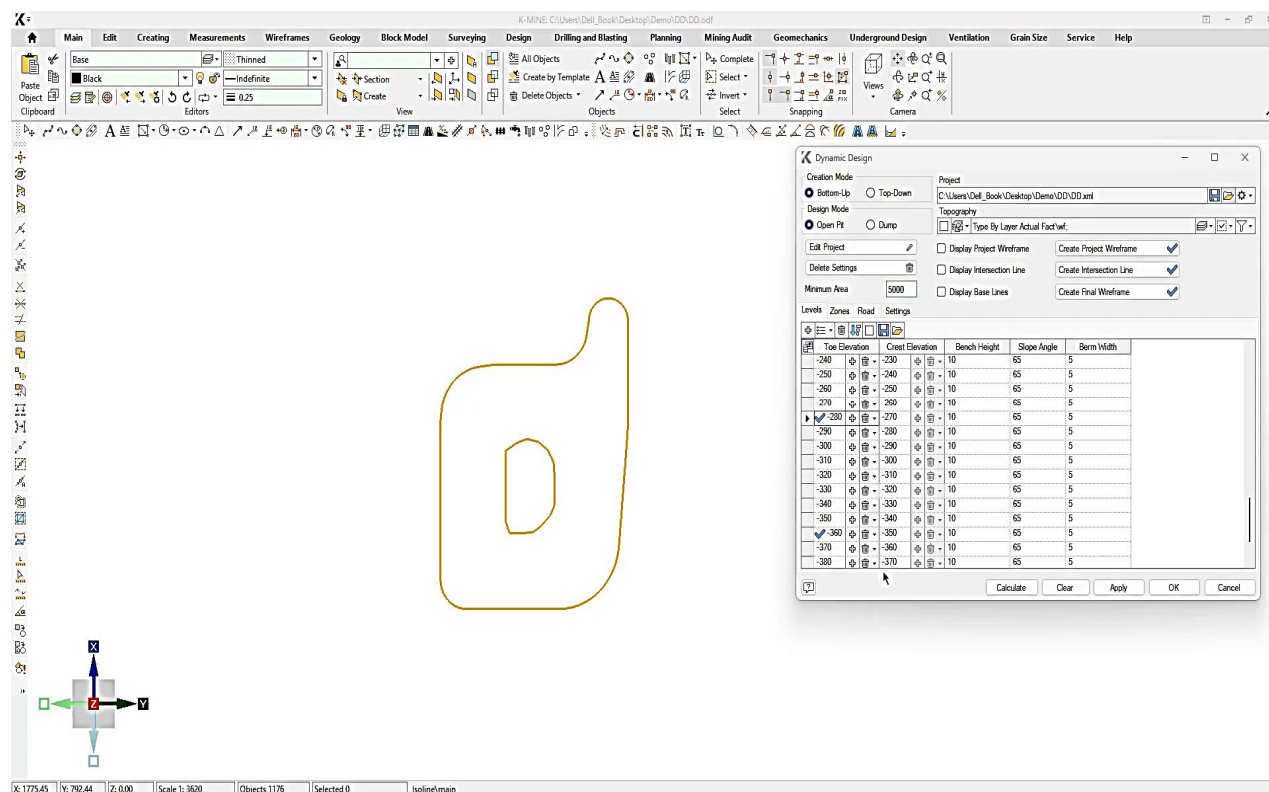


Рис. 2.11. Список горизонтів із зонами та початковий контур для будівництва [Джерело: <https://k-mine.com/wp-content/uploads/2024/12/DD2-1.mp4> [32]

Одна з ключових переваг K-MINE полягає в тому, що всі модулі працюють в одному середовищі, що дозволяє використовувати завдання з інших модулів під час роботи над комплексним проєктом.

Особливо наглядно актуалізується це при створенні комп'ютерної техніко-економічної моделі родовища корисних копалин, а також обґрунтуванні його відпрацювання. Саме це демонструється далі.

2.2. Створення комп'ютерної техніко-економічної моделі родовища й обґрунтування порядку його відпрацювання

Для вирішення поставленої задачі спочатку потрібно отримати лінії перетину розглянутої вище сітки з горизонтами за допомогою завдання «Створення ізоліній» (рис. 2.12).

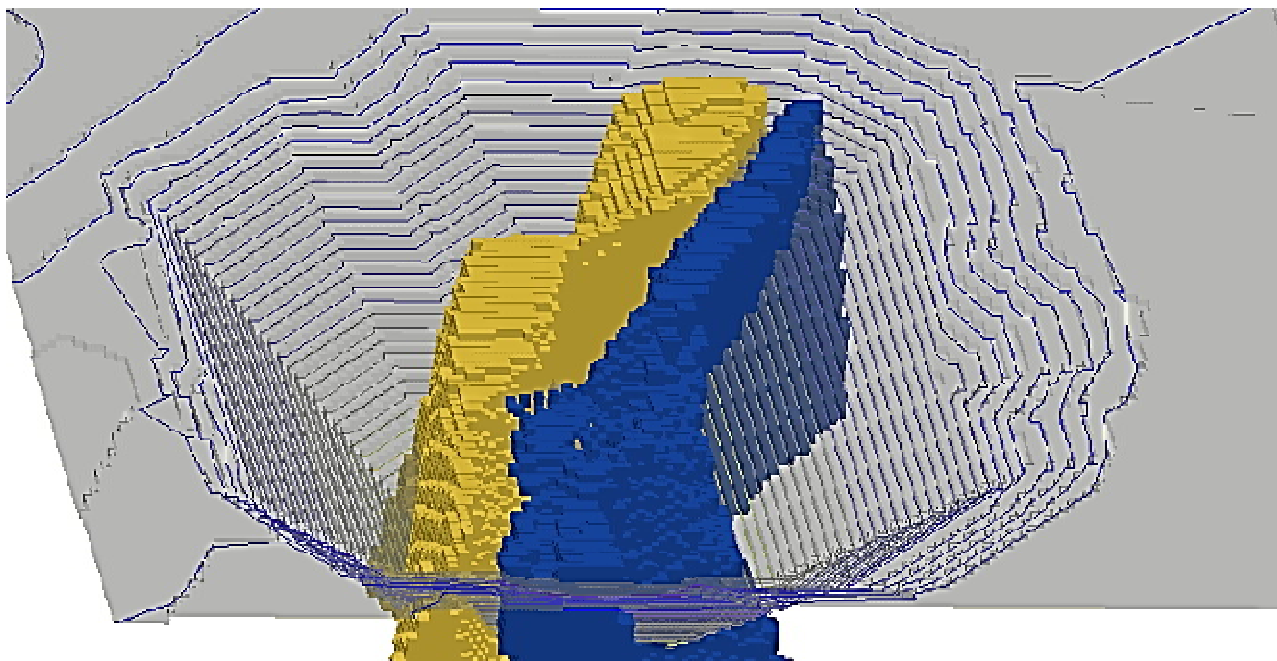


Рис. 2.12. Отримання лінії перетину сітки з горизонтами за допомогою завдання «Створення ізоліній» [Джерело: https://k-mine.com/wp-content/uploads/2024/12/Picture-8_1.png [33]]

Потім ізолінії потрібно згладити для більш точніших побудов. Далі – уточнюється їх зовнішній вигляд, щоб досягти гладкості, підвищуючи стійкість у певних областях кар'єру (рис. 2.13).

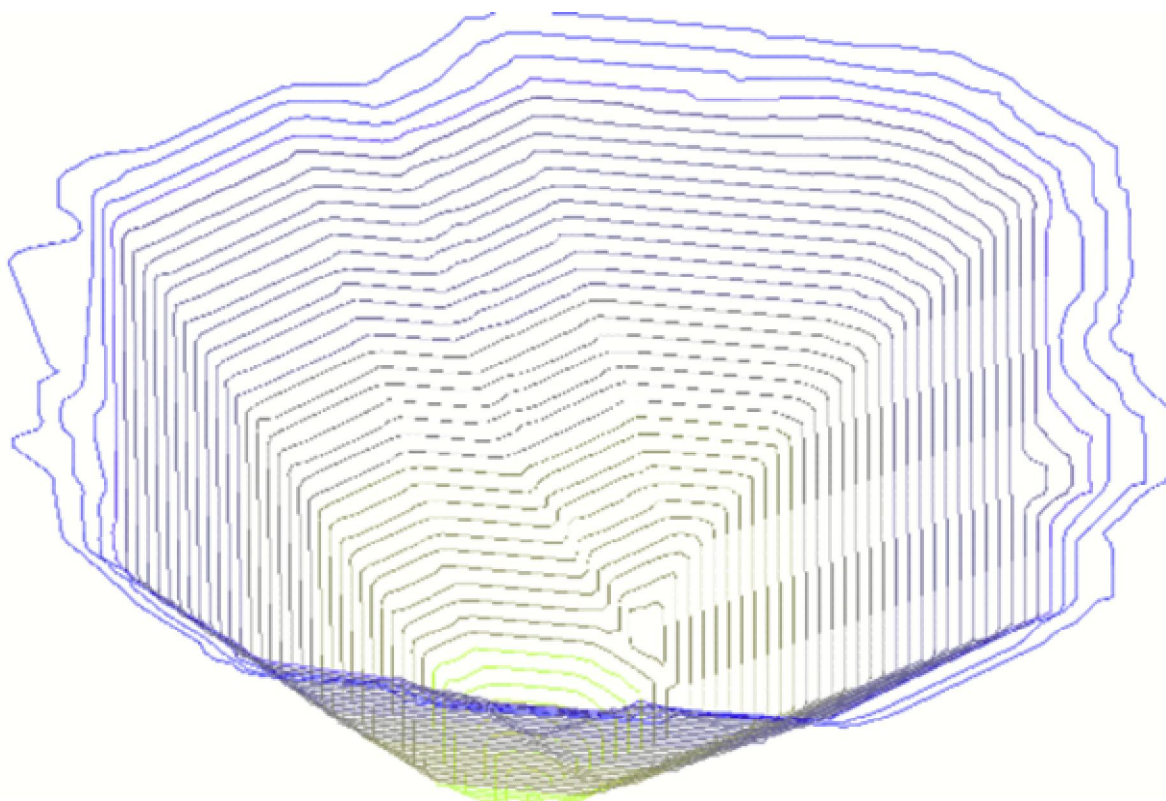


Рис. 2.13. Уточнення зовнішнього вигляду ізоліній [Джерело: https://k-mine.com/wp-content/uploads/2024/12/Picture-8_2.png [34]]

Після цього потрібно вибрати лише ті лінії, які впливатимуть на кінцевий контурний проект. У даному випадку це лінії, які не повторюють конфігурацію попереднього горизонту. Потім уточнюється їх зовнішній вигляд, щоб досягти гладкості, підвищуючи стійкість у певних областях кар'єру. Далі, безпосередньо в модулі «Проектування кар'єрів», створюється список горизонтів із зонами стійкості. А також вирішується, як побудувати остаточний контур кар'єру — знизу вгору чи зверху вниз. Важливо пам'ятати, що під час будівництва зверху вниз неможливо охопити весь об'єм руди, тобто деяка руда в межах остаточного контуру залишиться в кар'єрі. З іншого боку, якщо будувати кар'єр знизу вгору, можна охопити повний об'єм руди, але це вимагатиме видалення більшої кількості розкривних порід, ніж передбачає оптимальна оболонка кар'єру.

Для вирішення цих проблем існують різні підходи, але остаточний вибір залишається на розсуд проектувальника. Далі додають базові лінії до відповідних горизонтів і отримують перший результат після розрахунку (рис. 2.14).

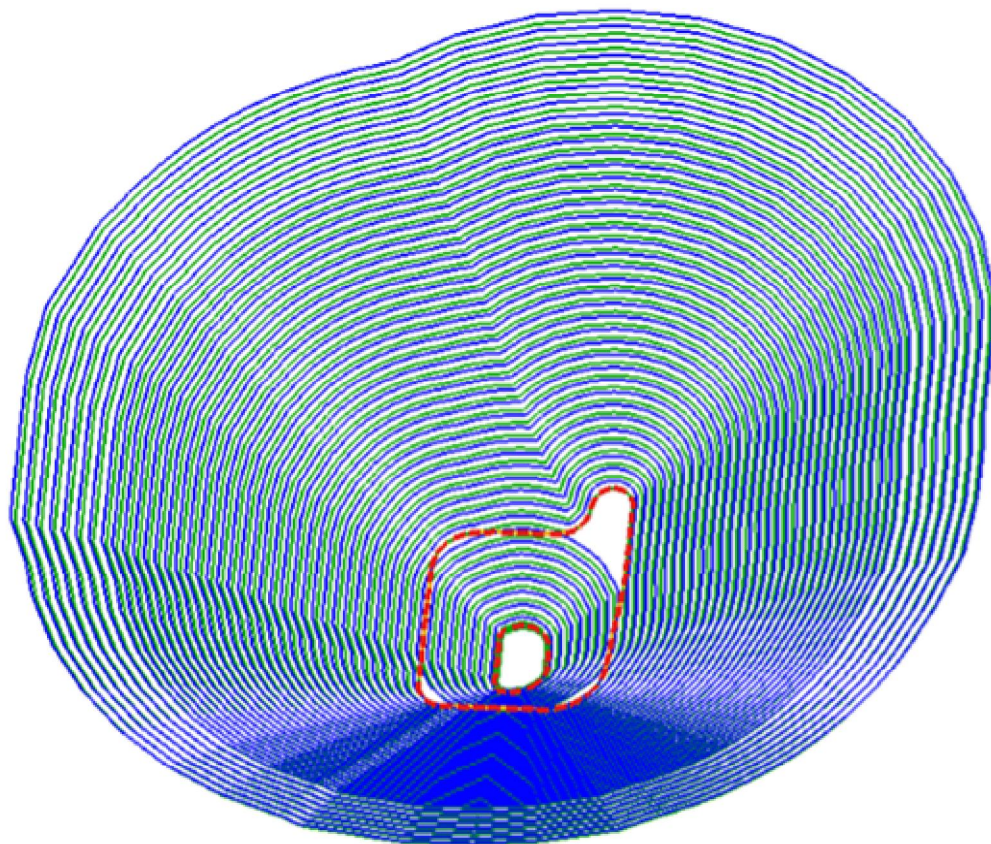


Рис. 2.14. Перший результат після розрахунку [Джерело: https://k-mine.com/wp-content/uploads/2024/12/Picture-8_3.png [35]]

Наступний крок – налаштувати параметри з’їздів для *кар’єру* та додати початкову точку, яка розташована на дні кар’єру, оскільки будівництво ведеться знизу вгору (рис. 2.15).

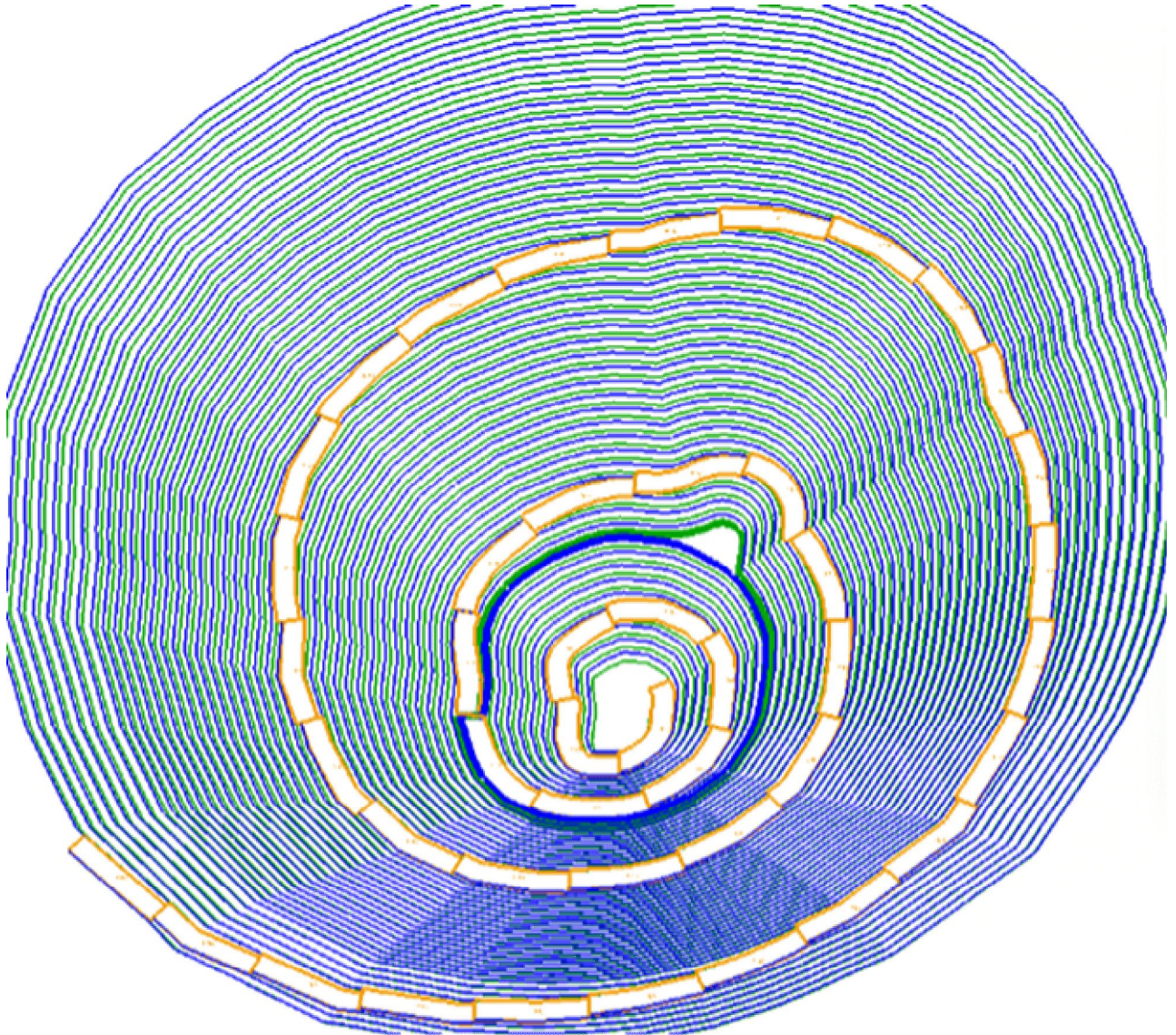


Рис. 2.15. Налаштування параметрів з’їздів для *кар’єру* [Джерело: https://k-mine.com/wp-content/uploads/2024/12/Picture-8_5.png [36]]

Далі цілком логічно слідує наступний крок – налаштувати параметри проєктованої дороги – у розглянутій ситуації гірничо-капітальної напівтраншеї – для *котловану* та додати початкову точку, яка розташована на його дні, оскільки будівництво, як у даному розглянутому випадку ведеться у напрямі знизу вгору (рис. 2.16).

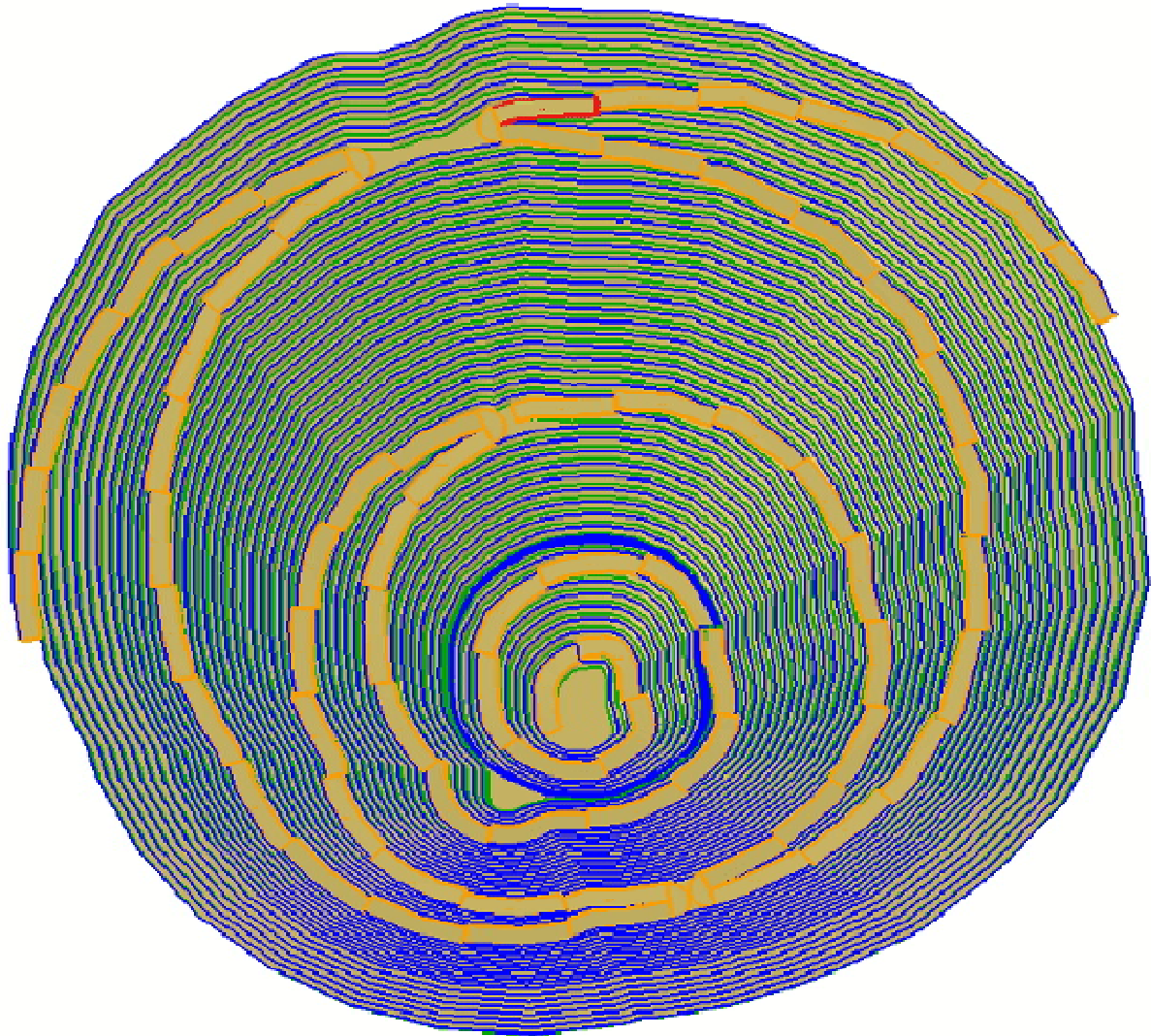


Рис. 2.16. Налаштування параметрів з'їздів для котловану [Джерело: https://k-mine.com/wp-content/uploads/2024/12/Picture-8_6.png [37]]

Можна додати практично необмежену кількість доріг, залежно від потреб конкретного проекту. Додають повороти, зупиняють дороги в певних точках, розширюють або звужують їх, адаптують до певних умов та отримують результат за лічені секунди.

Після остаточного визначення доріг можна додати топографічну основу до проекту і розрахувати результат, враховуючи поверхню та фактичні гірничі роботи. Послідовність дій можна скоригувати, якщо дороги потрібно адаптувати до існуючої системи вивезення гірничої маси в кар'єрі.

Кінцевим результатом є сітка, яка інтегрує проект з фактичними умовами. Крім того, створюються полілінії, а також є можливість включити лінію перетину двох сіток.

Як опцію, отриману сітку можна використовувати для подальших конструкцій, таких як відвали розкривних порід (рис. 2.17).

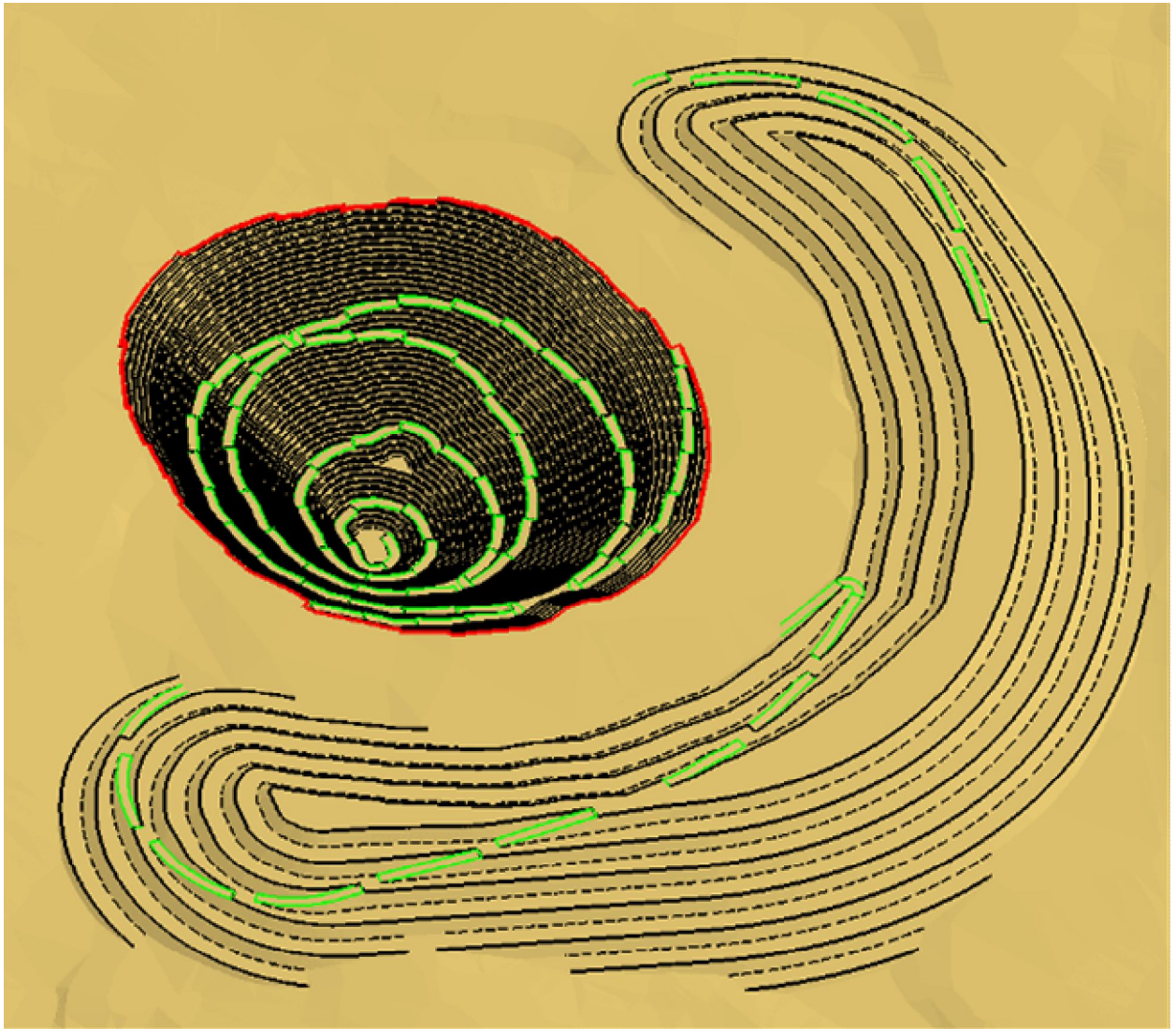


Рис. 2.17. Відвали розкривних порід [Джерело: https://k-mine.com/wp-content/uploads/2024/12/Picture-8_7.png [38]]

І нарешті, підсумуємо наведене в даному підрозділі.

Використовуючи модулі планування та проектування в K-MINE, користувачі можуть виконувати всі етапи процесу планування. У цій частині ми надали загальний огляд створення остаточного проекту контуру кар'єру. Як видно, весь процес є послідовним і не вимагає надзвичайних зусиль або значної кількості часу. Розуміння процесу підвищує впевненість у результатах, тоді як кілька ітерацій з різними даними дають уявлення про потенційні коливання фінансових показників та меж кар'єру.

Стратегічне планування є критично важливим та необхідним у сучасній ринковій економіці. Воно пропонує чітке розуміння того, як реагувати на виклики, які може принести майбутнє. Бути попередженим означає бути готовим.

2.3. Потенціал оперативного коригування автоматизованої системи корпоративного управління роботою рудника

У контексті даного розділу магістерській роботі вельми показовим є досвід гірників РК Казахстан, де впровадження автоматизованої системи корпоративного управління на рудниках відкритої розробки дозволив знизити собівартість видобутку руди до 30% і більше.

В даний час, за повідомленням ТОВ «Науково-дослідний інжиніринговий центр ERG» [39], опрацьовується питання адаптації та впровадження нового інноваційного продукту – автоматизованої системи корпоративного управління на рудниках відкритої розробки, який отримав свій розвиток у ТОВ «НДІЦ ERG» [40] на підприємствах Євразійської групи.

Структура автоматизованої системи охоплює цілу низку підсистем, таких як власне родовище з його численними параметрами та характеристиками, кар'єрний простір, гірничотransпортний комплекс з усім набором геотехнологічних характеристик, а також організаційна інфраструктура.

Гірничо-транспортний комплекс сюди входить як сегмент з його проблемами щодо забезпечення ефективної роботи. Завданням підсистеми з управління геотехнологічним комплексом є взаємне ув'язування всіх системотворчих компонентів у рамках єдиного виробничого кластеру.

Подібна злагоджена взаємодія дозволяє здійснювати моніторинг ходу освоєння родовища, включаючи підрахунок запасів (АІС «Геологія»), оперативний контроль гірничо-технічної ситуації у кар'єрному просторі.

У даній автоматизованій системі корпоративного управління геотехнологічним комплексом (АКСУ ГК) також передбачені опції зі збору та аналізу технічних та технологічних параметрів об'єктів (автоматизована система диспетчеризації гірничотransпортних робіт «АСДіМ NetMOM»), якісних характеристик

внутрішньокар'єрного рудопотоку (АІСМ «Рудопотік») та екологічної обстановки (об'єднана інформаційно-аналітична система (ОІАС) «ЕКО-Житікара»). Нові можливості оптимізації рудного видобутку відкриваються у зв'язку з впровадженням блоку опцій, що стосуються планування гірничих робіт з урахуванням взаємодії гірничого та транспортного обладнання та їх технічних характеристик, графіків ремонтів техніки, а також керованого процесу відтворення виробничих потужностей.

Завдяки імітаційному моделюванню у рамках АКСУ ГК вдалося створити умови для суттєвого підвищення ефективності роботи гірничотransпортного комплексу, по можливості інтегрувавши його до конкретних схем та графіків автомобільних і залізничних перевезень (ІПМК «СЕВАДАН»). Інноваційний продукт дозволяє у режимі on-line формувати корпоративні звіти про техніко-економічні показники роботи основного гірничого та транспортного обладнання (ІПМК «Комплексні корпоративні звіти»). В даний час стадію доопрацювання проходить програмне забезпечення, призначене для оцінки ефективності діяльності геотехнологічного комплексу кар'єру, починаючи від окремо взятої робочої зміни до місяця, кварталу, року та більше.

АКСУ ГК як система формувалася протягом останніх тридцяти років. Її сегменти – практично весь блок аналітики АКСУ ГК створювався та апробувався у рамках розвитку методології імітаційного моделювання гірничотransпортних процесів на кар'єрах ССДПО: Сарбайському, Соколівському, Качарському, Коржункульському. Казахстанські розробники свого часу брали на себе витрати на навчання фахівців гірничопереробного об'єднання та його сертифікації. Подальший розвиток автоматизованої системи – блоку моніторингу та диспетчеризації гірничотransпортних процесів – виявився пов'язаним із АТ «Костанайські мінерали». Частково елементи АКСУ ГК у частині імітаційного моделювання застосовувалися на Екібастузькому вугільному родовищі – розрізах колишнього ВО «Екібастузвугілля», нині – розрізи «Східний», Богатир», а також у низці інших об'єктів Казахстану та країн СНД.

У ході цих випробувань та практичних досліджень вдалося встановити низку індикативних економічних параметрів системи.

Зокрема, вчені дійшли висновку, що впровадження системи на рудниках відкритих робіт може дозволити знизити собівартість руди, що видобувається, до 30% і більше.

Саме таку економічну віддачу обіцяє кар'єр, у якому за допомогою smart-електроніки всі процеси відрегульовані до точності годинникового механізму.

До речі, говорячи про ціну інноваційного продукту, директор гірничого департаменту НДІЦ ERG вважав за необхідне пояснити, що довгий час – років 15 – розробники орієнтувалися на супутникову навігацію, що не тільки було недешево, а й викликало певні проблеми з використанням цього виду зв'язку в умовах кар'єрів, а тим паче підземних рудників. Зрештою, визріло рішення про доцільність переходу на інший вид зв'язку, так званий бездротовий сенсорний зв'язок. В даний час Казахстан першим у світі застосував її в рамках автоматизованих систем гірничої диспетчеризації робіт. І лише виграв, бо через свою відносну дешевизну, а також більш точну здатність забезпечувати передачу даних як у відкритому кар'єрі, так і в шахті, сенсорний зв'язок дає можливість підприємствам знизити загальні витрати на утримання АКСУ ДК, одночасно скоротивши термін її окупності. Використання цієї системи окупається, за орієнтовними розрахунками, на великих кар'єрах за 3–4 місяця, на середніх – до року.

Іншими словами, у новинці будуть зацікавлені, перш за все, великі гірничодобувні та гірничо-металургійні компанії, такі як KAZ minerals plc., Казцинк, Богатир комір, ERG. Не випадково керівництво Євразійської групи орієнтує всі свої підприємства на оптимізацію гірничотранспортних робіт з паралельним зниженням собівартості продукції. Це тренд нинішнього галузевого розвитку. Зараз корпорація Micrologic international береться перекласти все програмне забезпечення на платформу Microsoft і таким чином забезпечити сучасний рівень подачі всього функціоналу системи управління геотехнологічним комплексом.

Ще однією перевагою АКСУ ДК є її ефективність у плані співвідношення вхідної та вихідної інформації як 1 до 10.

Тобто при порівняно невеликій площі об'єкта моніторингу отримана на всіх системних рівнях інформація багаторазово перевищує вхідний потік даних,

охоплюючи практично всі основні функції управління на гірничодобувному підприємстві. І оскільки це управлінська smart-система, вона забезпечує у розвитку виконання заходів із семи функцій адміністрування, включаючи планування, нормування, стимулювання, організацію і регулювання.

По кожному з цих напрямів надходить великий обсяг відповідної інформації, що дозволяє цілеспрямовано й ефективно виробляти управлінські рішення.

АКСУ ГК – на 98% продукт казахстанського змісту і лише 2% посідає зарубіжні складові частини програмно-технічного забезпечення. Зокрема, в казахстанській автоматизованій системі управління геотехнологічним комплексом використовується найдосконаліший на сьогоднішній день чіп німецької компанії Nanotron Technologies, що має власний внутрішній процесор.

За словами фахівця інжинірингової фірми Vesta group Ерола Сісановіка, чіп під назвою нанолог, або нанопан, здатний передавати той обсяг і ту інформацію, що були задані програмістом. Завдяки здатності чіпа "фільтрувати" дані мережа не перевантажується. Надзвичайно висока забезпечує їм швидкість передачі, фактично вона наближається до швидкості світла.

Застосовуючи чіп на руднику, можна буде по секундах відстежувати та регулювати інтервали руху у кар'єрі важких гірських самоскидів. Отримувати інформацію про роботу як окремих бригад та дільниць, так і окремих гірників.

У цьому сенсі, сказав далі представник VESTA GROUP, система бездротового сенсорного зв'язку чимось нагадує Інтернет: як ви її налаштуєте, так вона і функціонуватиме.

З'явиться, скажімо, необхідність додати системі опцію вимірювання в кар'єрі концентрації CO₂, ступеня зношеності якоїсь групи обладнання або витрати бензину по руднику та по кожному самоскиду окремо – всі ці дані здатні передавати спеціальні мікросенсори, встановлені, скажімо, на кожній позначці в кар'єрі або робочих частинах гірничих машин. Від сенсорів у режимі on-line ця інформація надходитиме на передавальні вузли, а з них – на так звану мережу другого рівня, яка може бути GPS, Wi-Fi або іншим способом передачі. Всі дані з подальшим аналізом та архівацією акумулюються в центральному комп'ютері,

і вже диспетчер, виходячи з конкретної виробничої ситуації, приймає те чи інше управлінське рішення.

Причому, в цьому випадку йдеться вже не так про економію сировини, енергії чи фінансових коштів, як про нарощування ефективності управління конкурентними перевагами. Головне не економити, хоча це теж важливо, а ефективно керувати режимом та умовами експлуатації основного технологічного обладнання.

Є і ще один, цього разу соціальний аспект інноваційного продукту, про який слід сказати особливо: експлуатація АКСУ ГК вимагатиме підготовки інженерно-технічного персоналу принципово нової формації, здатного працювати з сучасними високими технологіями, оскільки адаптована в даний час до конкретних гірничо-технологічних умов підприємств Євразійської Групи (ERG), система є однією з найбільш просунутих у світі.

Важливо підкреслити, що АКСУ ГК принципово відрізняється від широко поширених систем диспетчеризації гірничотранспортних робіт, таких як Dispatch Intellimine (Modular Mining Systems, США), Wenco System (Wenco International Mining Systems, Канада), Trimble Radios (Trimble, США), Pit Ram (Micromine, Австралія), Davis Instrument (Drive Right, США), Leica Jigsaw, Jmineops (Leica Geosystems Mining, Австралія), RAStrac (Mannig NavcompInc., США) й інших.

Цілий набір аналогічних програмних продуктів мають і гірничі служби інших країн. Досить тут згадати про такі розробки як системи «Кар'єр» (Віст-Груп), АСУП ГДП (Союзтехноком), ID-Matrix (НТП Ресурс), Геопарк-Маркер (Геопарк), Omnicomm (Omnicom), СОПОТ (Ітек).

Однак загалом, не перевищуючи блок моніторингу АКСУ ГК за якісними та функціональними характеристиками, зарубіжні системи диспетчеризації суттєво перевищують його в ціні. При цьому вони обмежуються диспетчеризацією виробничих процесів, що дозволяє підвищувати ефективність виробництва лише за рахунок обліку та контролю, а також функцій регулювання й організації у межах робочих змін.

Відсутність аналітичних можливостей не дозволяє задіяти суттєвий потенціал підвищення ефективності ведення гірничих робіт за рахунок використання таких функцій управління, як згадуване вище нормування, планування, стимулювання, а також регулювання в рамках короткострокових, середньострокових та довгострокових періодів.

Висновки за розділом 2

Таким чином, наразі в розпорядженні гірників-проектувальників є широкий спектр методів та засобів автоматизованого обґрунтування коригуючих проектних рішень при моделюванні відкритої розробки родовищ корисних копалин різних видів і якості.

А упровадження автоматизованої корпоративної системи управління геотехнологічними комплексами на гірничих підприємствах Казахстану та подальша її інтеграція з іншими інформаційними системами, що функціонують на підприємствах, з метою створення єдиного інформаційного комплексу дозволяють суттєво підвищити ефективність управління виробництвом для сталого розвитку компаній.

Розділ 3

КОРИГУВАННЯ Й ОПТИМІЗАЦІЯ ГІРНИЧИХ ПРОЕКТІВ БАГАТО-ПРОФІЛЬНИМИ ЕКСПЕРТНИМИ ТА КОНСАЛТИНГОВИМИ ЦЕНТРАМИ

3.1. Суть та методи експертних оцінок в коригуванні майнінгу

Успішні гірничодобувні проекти вимагають поєднання технічної й управлінської експертизи. Неупереджені поради фахівців-експертів базуються на їх широких знаннях та всебічному практичному досвіді.

Наявність глобальної внутрішньої мережі багатопрофільних спеціалістів дозволяє заповнювати прогалини між спеціалізованими галузями, знижувати ризики для гірників та розробляти надійні, практичні плани видобутку. Досвід роботи з усіма типами гірничодобувних проектів на кожному континенті, від оцінки ресурсів до виведення рудників з експлуатації, забезпечує інноваційні, економічно ефективні й екологічно прийнятні рішення.

Наразі існує багато дійсно відповідальних консалтингових центрів, наприклад, SRK Mine Engineering [41], які пропонують незалежний, технічно детальний аналіз щодо оцінки доцільності проекту на всіх етапах розробки й експлуатації рудника, спираючись на які, розглянемо конкретні підходи та методи наукового обґрунтування вирішення ряду актуальних проблем.

Існуючі підприємства в свою чергу отримують вигоду від комплексних перевірок і аудиторських та інженерних послуг, за допомогою яких оптимізується видобуток, аналізуються та знижуються ризики, а також підвищується безпека, максимізуючи прибутковість.

3.1.1. Коригуюче проектування, планування й інженерія кар'єрів

Фахівці SRK Mine Engineering швидко й ефективно просувають проекти, використовуючи сувору методологію для оптимізації проектування та складан-

ня графіків роботи кар'єру: проектування, планування та інженерія кар'єрів для оптимізації, складання графіків, стратегічного планування та аналізу витрат.

Основна частина світових корисних копалин надходить з відкритих розробок, де великі обсяги породи повинні переміщуватися, зберігаючи при цьому низькі витрати. Оскільки норми прибутку залежать від циклічних цін на метали, оптимальне проектування та складання графіків рудників є життєво важливими. Спираючись на світовий галузевий досвід, розробляють практичні та дієві рішення на основі геологічних, геотехнічних, гідрогеологічних, економічних та екологічних міркувань.

Суворо методологія планування рудників зосереджена на оптимізації кар'єру відносно стратегії граничного вмісту корисних копалин, економічної глибини видобутку, а також розміру та масштабу розробки. Результатом є план життєвого циклу рудника та техніко-економічна модель для мінеральних ресурсів. Це гарантує прийняття відповідних рішень щодо розробки проектів для швидкого й ефективного їх просування. При цьому охоплюють всі етапи життєвого циклу рудника, від початкового визначення обсягів до проектів оптимізації та розширення.

Виконуються:

- інженерні дослідження на всіх етапах
- стратегічне планування економічно вигідних бортових вмістів руди й аналізу дебіту.
- проектування, оптимізація та складання графіків рудників з використанням програмних пакетів, таких як Whittle, Gemcom, Vulcan, MineSight, Datamine, Surpac, Talpac, Xpac та Minemax;
- розробка, впровадження й оптимізація стратегії видобутку;
- оцінка експлуатаційних витрат, продуктивності праці та потреб у людях;
- оцінка капітальних витрат;
- аналіз переходу з відкритого способу розробки на підземний;
- технічні дослідження, що відповідають міжнародним стандартам, включаючи обґрунтування обсягу та техніко-економічні обґрунтування, огляди проектів та технічні аудити;

- звіти компетентної особи, незалежного експерта та лістингу на фондовому ринку;
- належні перевірки (due diligence).

3.1.2. Гірничодобувна геологія для планування й оптимізації

Надзвичайної актуалізації набуває оптимізація планування та прибутковості рудників, розуміючи геологічні механізми контролю рудних тіл. Мається на увазі: гірничодобувна геологія для планування й оптимізації, картографічні кампанії, розширене 3D-моделювання та навчання персоналу на місці

Глибоке розуміння геології рудних тіл та порожніх порід забезпечує фундаментальну основу для вирішення матеріальних проблем, які впливають на весь цикл видобутку.

Консультанти світового класу пропонують унікальне поєднання оцінки ресурсів, структурної геології та практичного досвіду гірничодобувної справи, спрямованого на покращення розробки, експлуатації та прибутковості рудників. Геологічні моделі надають кращі цілі розвідки поблизу рудників, оптимізують картографування та контроль вмісту руди, зменшують ризик неправильного спрямування руди та ненавмисного розрідження, а також підвищують точність узгодження рудників.

Підтримка послідовних та точних геологічних даних може бути більш складною зі збільшенням виробничого тиску, тому пропонуються регулярні кампанії з геологічного картування, а також навчання персоналу на місці для покращення збору геологічних даних. Також проводиться аудит поточних геологічних процесів, процесів відбору проб, аналізу й узгодження, щоб забезпечити їх відповідність стандартам найкращої практики.

У даному контексті варто розглянути приклад вирішення доволі складної ситуації експертами щодо оцінки мінеральних ресурсів Cukaru-Pekі (Чукару-Пекі) [42] (рис. 3.1).

Мідно-золотий епітермальний проект з високою сульфідацією міді та золота Чукару-Пекі розташований у центральній зоні магматичного комплексу Ті-

мок, який являє собою один з найбільш забезпечених мідними та золотими районами у світі. SRK підтримує проект з року його відкриття; спочатку завершивши першу оцінку мінеральних ресурсів (MRE), потім забезпечивши геологічні огляди та відбір проб на місці, навчання роботі з програмним забезпеченням, допомогу в плануванні буріння та участь у геологічних семінарах. SRK завершила низку оновлень ресурсів та концептуальних досліджень гірничих робіт, які були опубліковані у відкритому доступі з використанням рекомендацій NI 43-101.

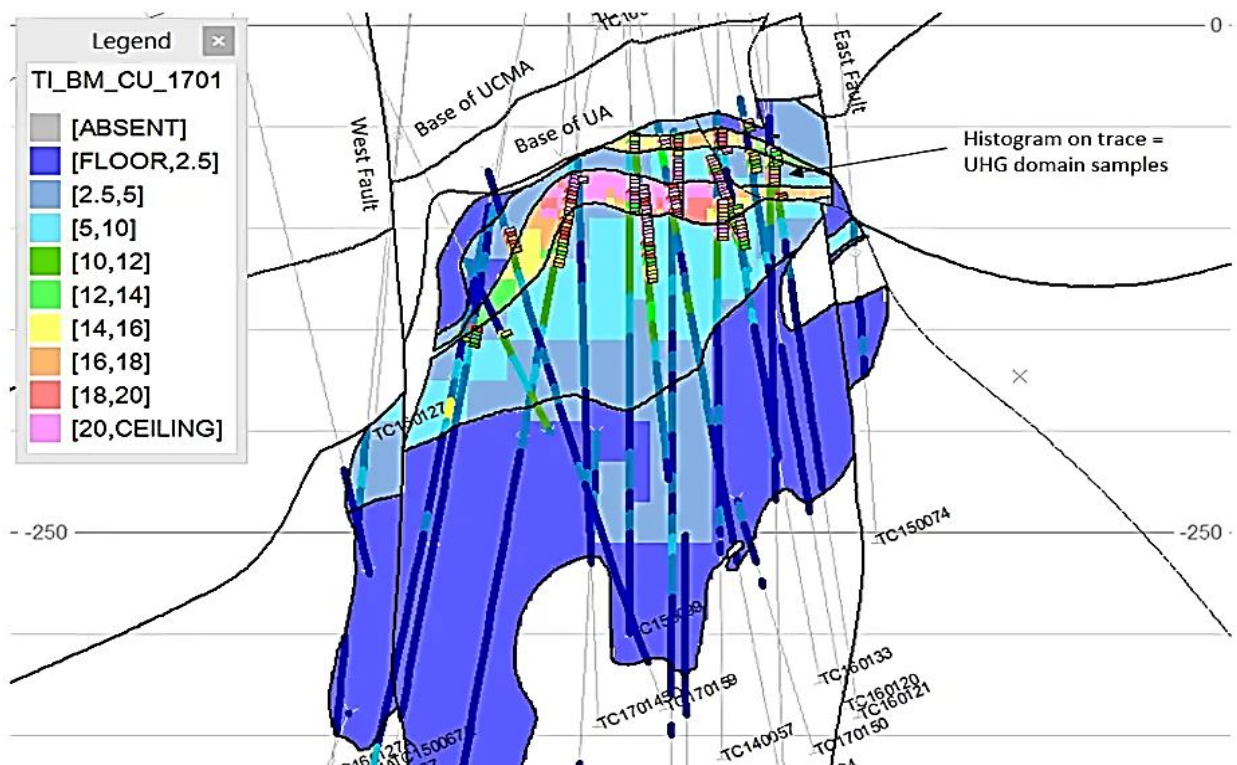


Рис. 3.1. 3D-моделювання мідних мінералів ковеліту та енаргіту [42]

Після значної програми буріння з ущільненням протягом 2016-2017 років, SRK оновив MRE разом з геологічним персоналом Nevsun для внеску в попереднє техніко-економічне обґрунтування (PFS). На основі доступної значної бази даних SRK інтегрував міждисциплінарні дані, що включають техніко-економічні, геотехнічні та металургійні міркування, для створення надійних літологічних, альтераційних, структурних та мінералізаційних моделей для внеску в передові дослідження гірничих робіт. Основний фактор, що визначає вартість, – вміст міді – був оцінений у 3D шляхом окремого моделювання мідних мінералів ковеліту та енаргіту, щоб відобразити їх незалежний розподіл та від-

носний час утворення, що згодом було використано для визначення якості концентрату.

Примітно, що остаточна модель забезпечила «вказану» впевненість у вмісті міді та золота з точки зору якості відбору проб та аналізу, а також їх просторового розподілу в свердловинних ділянках. Латеральні протяжності змодельованих розподілів вмісту були визначені на основі детального структурно-геологічного моделювання (на додаток до районованого літологічного контролю та контролю змін), яке включало як геологічні спостереження, так і геотехнічні набори даних, забезпечуючи надійну геологічну основу та геотехнічну модель домену. Це дозволило відобразити значну частину родовища як запаси руди в PFS.

3.1.3. Економіка та фінанси в коригуванні гірничої промисловості

Надзвичайно важливою є оптимізація планування гірничодобувного проекту за допомогою комплексної техніко-економічної оцінки.

Оптимізація гірничодобувного проекту здійснюється за допомогою оцінки активів, бенчмаркінгу, фінансового моделювання й економічної ефективності.

Експерти з техніко-економічного аналізу допомагають в оцінці активів, проектів та об'єктів на всіх етапах їх розвитку. Надаються розроблені індивідуально техніко-економічні моделі, які допомагають зрозуміти вартість активу та оптимізувати планування протягом усього життєвого циклу видобутку, від оцінки рівня обсягу до етапів доцільності та під час процесу комплексної перевірки.

Завдяки незалежності експертів та глобальному досвіду, фахівці можуть надавати об'єктивні консультації та експертизу для будь-якого проекту в усьому світі. Під час складання звітів спираються на ринкові дані та власну історичну базу даних міжнародних бенчмарків. Ця інформація, у поєднанні з відвідуваннями об'єктів та ретельним оглядом проектів на сьогоднішній день, дозволяє впевнено визначати – для будь-якого проекту чи товару, на будь-якому етапі

розробки – справедливу вартість, яка базується на ґрунтовному базовому технічному розумінні.

Вирішуються:

- незалежна оцінка активів на всіх етапах розробки проекту;
- технічні дослідження, що використовуються для звітності про мінеральні ресурси та запаси руди, а також у численних нормативних документах та документах на ринок капіталу;
- бенчмаркінг для порівняльного аналізу собівартості виробництва;
- фінансове моделювання для порівняльної оцінки економічних показників;
- незалежна перевірка вартості проекту та модельні аудити для цілей комплексної перевірки;

Необхідно чітко уявляти, як вивчення родовищ й оцінка варіантів видобутку корисних копалин допомагає оцінити економічну доцільність видобутку руди.

3.1.4. Допомога в коригуванні гірничих операцій

Залишитися конкурентоспроможними на світових ринках можна лише завдяки практичним рішенням, що оптимізують витрати та підвищують продуктивність, тому й удосконалюється даний сервіс в гірничих операціях, щоб допомогти гірничодобувним компаніям зменшити ризики, мінімізувати капіталовкладення й оптимізувати переробку сировини.

Сучасні гірничодобувні компанії широко користуються глобальним досвідом роботи експертів над тисячами проектів. Завдяки поєднанню систематичного аналізу процесів, мережі фахівців з дисциплін та розуміння того, які зміни є практичними, можна виявити можливості та допомогти втілити їх у реальність.

Нинішні команди операційної підтримки очолюють провідні консультанти з досвідом роботи на рудниках, які працювали з клієнтами, визначаючи першопричини проблем, і продемонстрували, чи криються відповіді в більш точному

аналізі, визначенні чітких ключових показників ефективності, впровадженні нових технологій чи реінжинірингу. Зокрема, зараз збирають команди з усієї групи SRK, щоб надати клієнтам відповідні технічні, операційні та мовні навички, необхідні для впровадження рішень з наступних питань .:

- контроль вмісту руди та геометалургійний аналіз;
- аналіз даних ефективності видобутку;
- оптимізація від рудника до комбінату;
- моделювання складних гірничих середовищ для підвищення ефективності;
- оптимізація аерології;
- управління зворотним засипанням та рекультивацією;
- стратегії декарбонізації.

3.1.5. Моделювання рудників

Максимізація потенціалу проекту за допомогою динамічного моделювання дозволяє приймати обґрунтовані рішення, оскільки створює динамічні моделювання процесів, які допомагають прогнозувати майбутню продуктивність та пропонує вдосконалення проектування й експлуатації рудників, що оптимізують виробництво, зменшують ризики та скорочують витрати. У рамках цих аналізів лежить прагнення постійно покращувати здоров'я та безпеку гірничодобувних працівників. Створення методів дискретного моделювання виробничих процесів і об'єктів (рис. 3.2) допомагає планувати розширення, оцінювати варіанти проектування та процесу, виявляти і долати вузькі місця, прогнозувати продуктивність, оптимізувати графіки розробки та виробництва, а також оцінювати вплив упровадження нового обладнання та технологій в існуючі системи. Такі моделі охоплюють всю систему та фіксують взаємодію між усіма системами потоків та обладнання.



Рис. 3.2. Динамічне моделювання транспортної системи [Джерело: <https://cdn-web-content.srk.com/upload/baseentities/334/P-Mine-Simulation20210119140359516.webp> [43]

Наразі накопичено значний досвід по всьому світу, від малих до великих міжнародних компаній, оскільки різні проекти включали гірничодобувні операції рудників, потужністю від 1000 до 160 000 тон на день.

Значний позитивний ефект мало коригування підтримки гірського масиву за експлуатації кар'єру Hollinger [44].

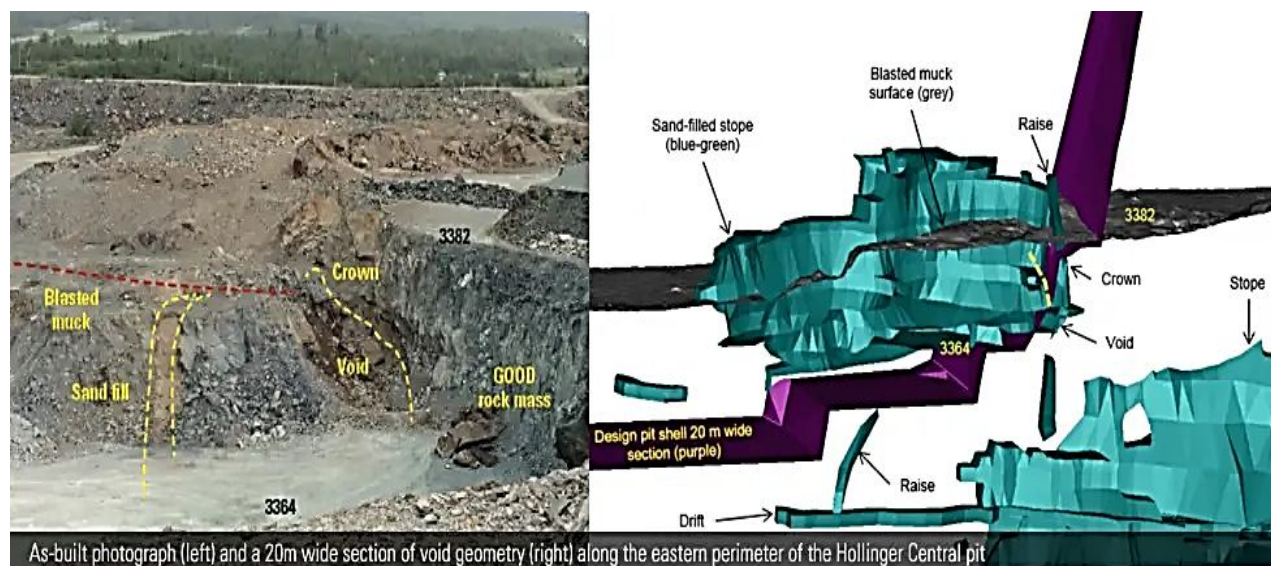


Рис. 3.3. Фотографія збудованих об'єктів (ліворуч) та 20-метровий відеорозріз (праворуч) геометрії пустот вздовж східного периметра центрального кар'єру Холлінгера [45]

Кар'єр Hollinger Open Pit, один із золотих рудників Porcupine компанії Goldcorp, розташований у золотодобувному місті Тіммінс, що на півночі Онта-

рію, Канада. Табір Porcupine, розташований над послідовністю архейських базальтових вулканічних порід, призвів до заснування Тіммінса. Підземні та відкритий рудники Hollinger, відкриті в 1909 році, працювали з 1910 по 1968 рік і виробляли приблизно 20 мільйонів унцій золота. До 1930 року використовувався метод усадки, а потім до кінця 1960-х років використовувався метод видобутку з виїмкою та засипкою (зворотне заповнення пухким піском). У 1970-х і 80-х роках численні невеликі кар'єри відкритого типу видобували корисні копалини з крон-стійок, а деякі підземні видобутки тривали до 1984 року. Шахтні виробки були затоплені в 1988 році.

SRK завершив техніко-економічне обґрунтування у 2010 році для проекту відкритого кар'єру, а з 2013 року допомагав впроваджувати цей проект.

За певними цінами на золото достатній вміст руди для видобутку в кар'єрі глибиною 150 м, порода обробляється на сусідньому заводі Dome Mine. Порожнечі (субвертикальні вибої, стволи та з'єднувальні штреки/проходи) іноді розташовані на відстані майже 20-50 м одна від одної, простягаючись на глибину кілька сотень метрів на площі 2 км² під містом. Конструкція кар'єру була обмежена регіональною автомагістраллю (і водонапірною вежею міста) вздовж північної стіни, а житлові будинки та підприємства – розташовані з усіх інших боків ділянки.

Холлінгер розробляється за допомогою трьох 6-метрових та двох 9-метрових підступів, що утворюють 18-метрові уступи переважно на рівні від задовільного до доброго. Всі вибухові роботи проводяться за допомогою вибухових матів для зменшення летючої породи та шуму. Оскільки рудник розташований в межах міста, пошкодження необхідно мінімізувати. Раніше були проведені вибухові випробування для визначення глибини пошкоджень, спричинених підриванням блоків різних розмірів обмеженими масовими вибухами (МВ). Ці випробування показали, що трирядний МВ на попередньо зрізану остаточну стінку не спричинює надмірних пошкоджень. Щоб ще більше зменшити пошкодження, відстань між свердловинами перед зсувом коригується відповідно до ґрунтових умов у безпосередній близькості від пустот.

Ця стратегія значно зменшує пошкодження задньої стінки до менше ніж 4 м. Багаторазове використання зондових свердловин для попередньої підтримки гірської породи перед вибуховими роботами є частиною виробничого циклу. Заливка тросів у кінцеві схили, над та вздовж пустот, перед вибуховими роботами зменшує обсяг необхідного відновлення укосів та стіни. Ця схема має 8-метрові тросові свердловини з інтервалом 4 м, пробурені під кутом -45° та -05° від лінії перед зсувом. На Північній стіні домінуюче оголення ($72/155^\circ$) є основним контролем кута лицьової поверхні уступу. Цей сильно шаруватий гірський масив має тенденцію до розшаровування під час вибухових робіт. Щоб зменшити стирання гребня уступу від розшаровування, попередня підтримка застосовується за допомогою 6-метрових тросів з інтервалом 6 м, просвердлених під кутом -45° у гребінь від лінії перед зсувом.

Для кожної з більших порожнин, що зустрічаються на кількох уступах, впроваджуються індивідуальні конструкції опор.

3.2. Керівні принципи та логіка коригуючого проектування кар'єрів

Найбільш наглядно та зрозуміло логіка перетворень (коригування) в гірничодобувній промисловості представлена за допомогою інтегрованих технологій Deswik [46].

Deswik [47] – світовий технологічний лідер (Австралія), який надає комплексні програмні рішення та спеціалізовані консультації для гірничодобувної та металургійної галузей. Маючи компетенцію світового рівня й інноваційні рішення, експерти допомагають своїм клієнтам досягати успіху.

Повторимо: важливо пам'ятати, що програмне забезпечення допомагає в процесі проектування, а не в самому проектуванні. Проектуванням керує інженер, який його виконує. У [46] Julian Poniewierski пояснює рекомендації та міркування щодо проектування кар'єру засобами Deswik.

Проектування кар'єрів за своєю суттю визначається конкретними характеристиками ділянки, включаючи місцеві рекомендації та законодавство, а також рекомендації виробників обладнання.

Кінцева мета проектування кар'єру включає наступне:

- визначення запасів руди;
- включення до графіка планування життєвого циклу кар'єра;
- надання необхідних рекомендацій для розробки кар'єру, які будуть детально описані та сплановані інженерами-конструкторами в короткостроковій перспективі.

Отже, проект має бути зосереджений на:

- ефективності експлуатації (вантажні перевезення, земляні роботи та, можливо, буріння);
- мінімізації витрат/максимізації цінності (менше пустої породи, більше руди);
- гнучкості планування (чи практично планувати та підтримувати продуктивність?);
- безпеці (в проекті не враховують непередбачені обставини та ризики).

Даний процес є ітеративним: проектування може вимагати кількох спроб для досягнення задовільного остаточного проекту. Проектування може вимагати підходу «знизу вгору», «зверху вниз» або комбінації обох підходів.

Іноді потрібно поєднувати багато конкуруючих факторів та придумувати нові ідеї проекту. З практикою та досвідом проектувальник стає швидшим та розробляє кращі проекти. Ознайомлення з процесами та операціями покращує здатність швидко проектувати, що має особливе значення, враховуючи оперативний характер коригування.

Щодо безпеки: хороший проект може сприяти безпеці виробничих операцій. Поганий проект може створювати непотрібні ризики для безпеки. Якщо відхилятися від стандартних принципів найкращої практики (наприклад, дво-смугова під'їзна дорога в 3,5 рази ширша за вантажівку), потрібно бути готовими захищати свої критерії проектування на нараді керівництва, якщо в кар'єрі станеться аварія або навіть смертельний випадок.

Документування принципів проектування та міркувань буде корисним для майбутніх проектувальників кар'єрів. Також корисно робити нотатки щодо ви-

конання під час етапів проектування (це допоможе з остаточною документацією та визначити, що спрацювало, а що ні).

Початок роботи: Параметри проектування кар'єру

Перш ніж розпочати проектування кар'єру, необхідно ознайомитись із загальними параметрами проектування кар'єру за типом матеріалу та/або геотехнічною областю, а точніше з наступними параметрами (рис. 3.1):

Ширина берми

- ширина захисної берми та інтервали розміщення (якщо потрібно або необхідно);
- кут укосу (кут передньої поверхні уступу);
- висота уступу;
- кута між межами виїзду (IRA);
- загальні межі кута ухилу (OSA);
- ширина пандуса;
- ухил пандуса;
- ширина та нахил крутого повороту;
- мінімальний радіус для кривих;
- гальмівні шляхи вантажівки (з навантаженням та без навантаження - на максимально дозволених або досяжних швидкостях);
- вимоги до планування дренажу, включаючи дренажні ухили для уступів та берм;
- мінімальна робоча ширина - дно котловану, кінці уступу, ширина фазового відсікання;
- бажана ефективна робоча ширина уступу;
- необхідні засоби безпеки (наприклад, захисні поручні тощо);
- геотехнічні зони, яких слід уникати під час розміщення поручнів.

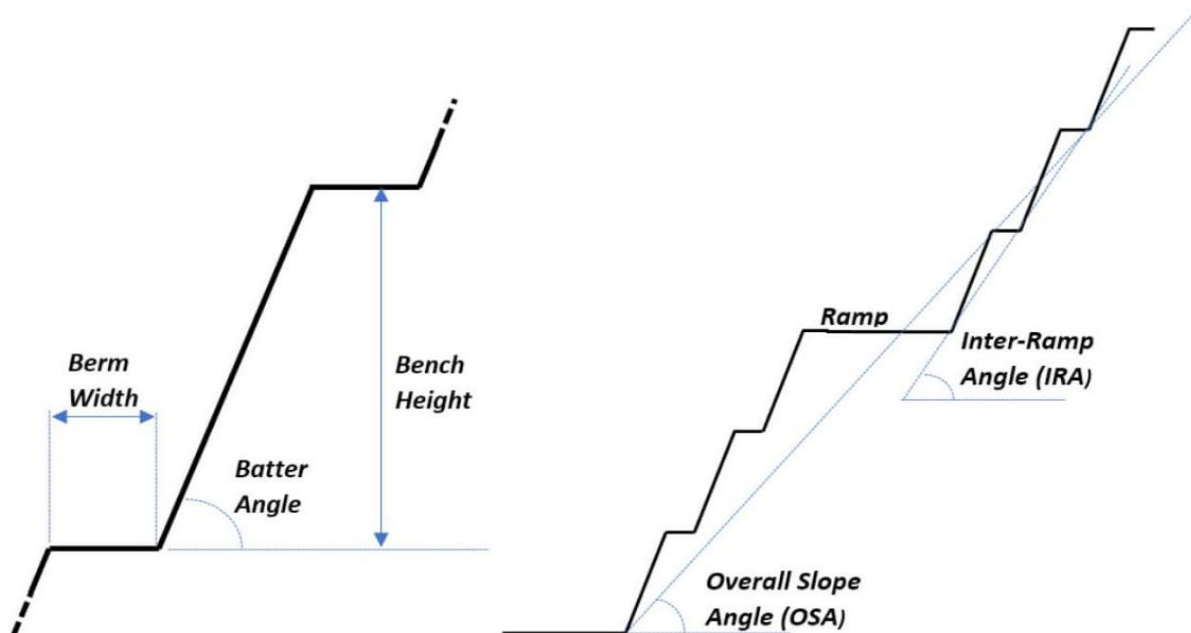


Рис. 3.1. Термінологія, що використовується для проектування кар'єрів
 [Джерело: <https://www.deswik.com/api/PublicMedia/969d5c84-8e73-4aa7-ae10-08dd9800125b/download/Medium/44ef274a-f195-42ec-6d66-08dd980005b2> [48]]

Також варто ознайомитися з припущеннями щодо оптимізації кар'єру (Whittle/Pseudoflow):

Як було отримано загальний кут укосу борта кар'єру (ЗКУ)? Чи містить він зарезервований простір у кресленні кар'єру для огорожень? На якому етапі проектування, яка ширина потрібна для огорожень, і скільки ширин огорожень враховується в секції стіни? Може статися так, що припущення оптимізації кар'єру більше не відповідають параметрам проектування (наприклад, коригування розташування огорожень відповідно до ЗКУ). Тому буде важко дотримуватися такої оптимізаційної області. Крім того, залежно від відмінностей між оптимізаційною областю кар'єру та остаточним проектом, може знадобитися повторити крок оптимізації кар'єру, використовуючи нові параметри ЗКУ завершеного проекту.

Необхідно перевірити отримані контури оптимізації кар'єру для базування проекту, зокрема щодо «вертикальних контурів».

Це пояснюється тим, що процес оптимізації кар'єру був виконаний на блоковій моделі, яка не була достатньо розширена, щоб охопити створювану оболонку.

Належить перевірити фактичні нахили обвідної оптимізації кар'єру з OSA, що використовується в процесі оптимізації. Ймовірно, існує різниця, яка називається «помилка нахилу».

Значення оптимізаційного нахилу, введені в оптимізацію кар'єру, можуть бути недосяжні за допомогою розмірів блокової моделі, оскільки нахили визначаються з'єднувальними центроїдами, і блоки потім або «входять», або «виходять». Велика «помилка нахилу» може зробити неможливим коригуюче підлаштування обвідної до параметрів проектування кар'єру, оскільки самі нахили обвідної можуть бути неправильними.

3.2.1. Чинники, які слід враховувати протягом проектування

Як правило, проектування починається знизу та просувається вгору.

Можуть бути випадки, коли потрібно буде проектувати зверху вниз і знайти спосіб поєднати два проекти. Це майже напевно станеться, якщо є бажана точка виходу з кар'єру для виїзду, тому необхідно переглянути попередні проекти, щоб побачити, що передбачали попередні проектувальники. Враховується, де виїзд повинен виходити знизу, щоб отримати доступ до вищих горизонтів з мінімальним видаленням порожньої породи.

Де повинні виходити верхні контури кар'єру?

Чи потрібно кілька виїздів для підвищення продуктивності та безпеки (але якою ціною додаткового видалення порожньої породи)?

Чи можна засипати ділянку порожньою породою, щоб уникнути її транспортування на поверхневий відвал?

Чи можна використовувати засипку для доступу до блоку?

Чи можна розмістити виїзд у ділянці/стіні, яка матиме тривалий термін служби та буде використовуватися протягом кількох фаз/розрізів (наприклад, стінка стратиформного родовища), для яких потім буде вигідно побудувати якісні маршрути доступу (наприклад, якісну основу та підґрунтову дорогу)?

Деякі виїзди можуть бути тимчасовими (наприклад, забезпечувати доступ для бурових установок та гірничодобувних самоскидів або доступ для насосів та інфраструктури, а не лише для транспорту).

Враховуються наслідки планування, якщо відрізати доступ до ділянки на пізнішій стадії проектування (перша ділянка має бути повністю видобута, перш ніж доступ до неї буде відрізано, що може призвести до проблем планування).

Використовують контури оптимізації кар'єру з розрізами як орієнтир для кожного уступу. Аналогічно, можна мати модель зрізу руди на основі блоків (кольорове кодування за значенням або категорією) для кожного уступу.

Вирізаються важливі геологічні особливості (зони зсуву, розломи, дамби) за уступом для використання в процесі проектування.

Може знадобитися спроектувати остаточний нижній розріз (траншею для видобутку руди екскаватором без пандуса, з виведенням вантажівки з виїмки до екскаватора). Проектують котловани та пандуси, щоб мінімізувати час проїзду вантажівки для завантажених транспортних засобів та витрати на перевезення, як з точки зору технічного обслуговування, так і з точки зору експлуатації (і враховують, що це може передбачати компроміс для зворотних поїздок для нерозвантажених транспортних засобів).

Нумерація й умовні позначення

Визначають умовні позначення на місці для кольорів та типів ліній проектування поліліній кар'єру. Наприклад, використовують різні кольори та типи ліній для ліній гребнів, ліній кромek, ліній центральної зони, ліній фактичного огляду та ліній контурів. Крім того, можна використовувати пунктирні лінії для підшов укосів, суцільні лінії для верхніх площадок та штрих-пунктирні лінії для ліній проектування середньої висоти.

Транспортні та захисні берми

У великих, глибоких кар'єрах захисна берма (надзвичайно широка берма) може знадобитися періодично (приблизно кожні шість уступів) і повинна бути достатньо широкою, щоб забезпечити доступ для очищення розсипів.

Проектування площадок уступів

У цій частині розглядається комп'ютерне проектування кар'єрів та включення проїздів у проект. Вона не охоплює деталі будівництва, обслуговування й експлуатації пандуса, за винятком випадків, коли комп'ютерне проектування кар'єру впливає на ці аспекти. Також не розглядаються вимоги до проектування високошвидкісних наземних транспортних смуг.

Гарним критерієм для проектування (та обслуговування) транспортних маршрутів є те, що оператор повинен мати можливість залишити вантажну платформу та прямувати до місця розвантаження, тримаючи ноги рівно на землі протягом усієї поїздки (за винятком випадків, коли досягнуто встановлених безпечних обмежень швидкості).

Вимоги до проектування лінії видимості на горизонтальних та вертикальних кривих обговорюються, але не розглядаються детально. Для отримання додаткової інформації з цієї теми див. USBM IC 8758 та [49]. Гальмівний шлях вантажівок (завантажених підйомом та розвантажених спуском) має бути відомий та врахований, якщо борти конструкції кар'єру перешкоджають панорамному огляду. «Лінія видимості» також може враховувати «вид» лазерів та інших датчиків, що використовуються в автономній навігації вантажівок (зокрема, це може бути проблематично на виїзді з рампи кар'єру, і буде необхідно поступово змінювати нахил рампи для досягнення рівної поверхні).

Деякі з перелічених нижче елементів проектування зміняться, якщо використовуються автоматизовані вантажівки та/або системи вилкових навантажувачів з електроприводом, оскільки вони не були враховані в наступних рекомендаціях.

3.2.2. Загальне довгострокове проектування кар'єру проти проектування експлуатаційного

У довгостроковому проектуванні кар'єру зазвичай не звертають уваги на експлуатаційні деталі, такі як розхил та поперечний ухил, але повинні забезпечити, щоб ці питання можна було вирішити в рамках проектування на експлуатаційному рівні.

Товщина дороги: Хоча це зазвичай не потрібно в більшості проектних робіт з кар'єру, в поганих ґрунтових умовах (особливо на деградованих глибоких, вологих ґрунтах та глині) глибина дорожнього покриття для належно побудованої дороги може сягати 3 м. Це необхідно враховувати в геометричному проектуванні кар'єру (дорогу потрібно буде прорізати на нижчому рівні, ніж дорога, як вона була побудована).

Ухил з їзду

Перевіряється наявність будь-яких законів або правил, що регулюють допустимі ухили з їзду в місцевій юрисдикції кар'єру (державній/провінційній/федеральній). Наприклад, у розділі 3.5 Керівних принципів аудиту управління дорожнім рухом DMIRS Західної Австралії (DMIRS, 2016) зазначено: «Підтвердьте, що ухили дороги не перевищують 10%, де це можливо».

З'ясовують, який ухил шукає або якому надає перевагу операційна команда.

Ухил 10% (1 з 10) є загальноприйнятим стандартом в Австралії для жорстких самоскидів. Однак у Північній Америці ухил 8% (1 з 12) є поширеним з експлуатаційних та технічних міркувань.

Звичайно використовуваний ухил 10% може призвести до значних та непередбачених витрат на технічне обслуговування. Для багатьох вантажівок з механічним приводом (наприклад, Cat 793C) ухил 10% з опором коченню 2,5% переводить вантажівку в положення кривої тяги, таке що у разі незначних нерівностей/відхилень дорожнього покриття (наприклад, нерівність 10 см на колісній базі 5,9 м, що призводить до зміни ухилу на 1,9%) або коливань навантаження вантажівка буде шукати перемикання передачі (перемикання на 1-шу або на 2-гу передачу). При ухилі 8% швидкість вантажівки знаходиться приблизно посередині діапазону 2-ї передачі, тому вона може краще справлятися з нерівностями дорожнього покриття.

На з'їзді з ухилом 10%, де часто відбувається перемикання передач, операторам потрібно буде заблокувати вантажівку на 1-й передачі, що потім вплине на загальну середню швидкість.

Ця проблема перемикавання передач і пов'язана з цим потреба у збільшенні потужності є ймовірною причиною суттєвої різниці у вартості компонентів, що показано на рис. 3.2. Термін служби компонентів диференціала та компонентів "ходової частини" (підшипників, гальм, осей тощо) скорочується вдвічі, коли градієнт з'їзду збільшується з 8% до 10% (тому витрати подвоюються, а експлуатаційна готовність знижується).

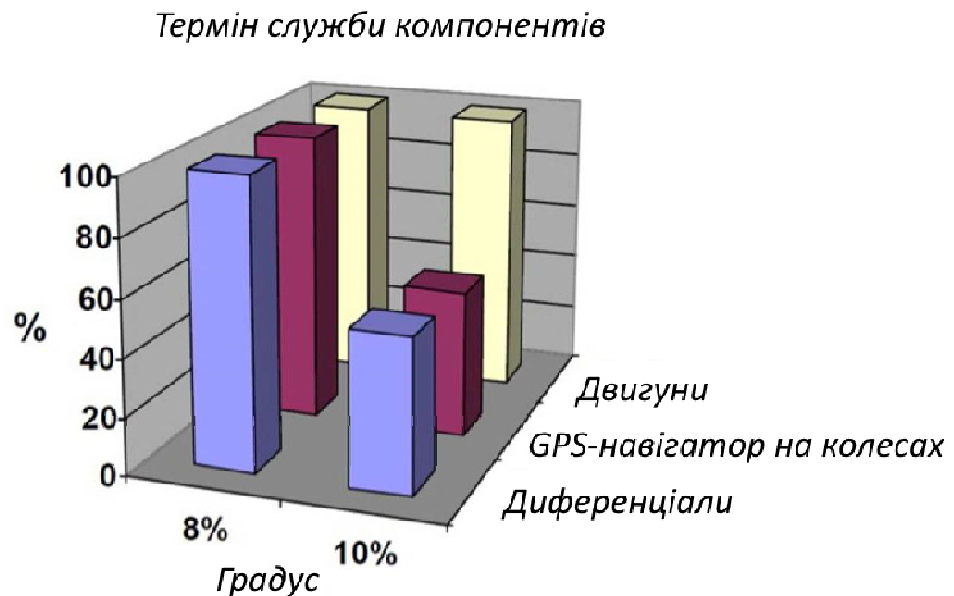


Рис. 3.2. Значна різниця в терміні служби компонентів та вартості обслуговування самоскида для ухилу 8% порівняно з ухилом 10% [Джерело: Caterpillar [50]. Якщо використовується електричний самоскид без трансмісії, ця проблема 8%/10% зникає [Джерело: <https://www.deswik.com/api/PublicMedia/69b90cafa7ae-4da1-ae17-08dd9800125b/download/Medium/7f605474-9e99-404b-6d7e-08dd980005b2> [51]

Використання з'їзду 8% порівняно з 10%, призводить до вищої швидкості роботи екскаватора (або іншої OSA для оптимізації кар'єру і, отже, іншої проєктної області).

Але в той же час експлуатаційні витрати більшості з задіяних у вантажопотоках самоскидів для глибокого кар'єру (а отже, і витрати на видобуток, враховані в оптимізації кар'єру) зі з'їздом 8% будуть нижчими (головним чином через нижчі витрати на обслуговування, оскільки вища швидкість вздовж з'їзду 8% компенсується додатковою відстанню переміщення, що призводить до подібної тривалості циклу).

Для визначення найбільш економічно ефективного підходу щодо визначення перспектив розвитку протягом життєвого циклу кар'єру необхідним є комплексний аналіз сценаріїв оптимізації усієї сукупності складових кар'єру, проектування, планування та розрахунку витрат.

Остання задача вимагає застосування методів, характерних для теорії систем і системного аналізу, оскільки сам кар'єр як об'єкт аналізу й управління розглядається як цілісна *кар'єр-система*

Підсумовуючи сказане, якщо знати тип вантажівки, що використовується, та опір коченню під час операції, слід звернути увагу на швидкості перемикання передач у межах кривої тяги вантажівки й уникати градієнта сталої швидкості, який призвів би до того, що транспортний засіб «зависне» навколо обертів двигуна, що вимагатиме перемикання передачі.

Уникають таких градусів для довгих ділянок з'їзду в конструкції. Наприклад: на рис. 3.3 нижче ухил 10% з опором коченню 2,5% позначено лінією «1» (загальний опір = $10\% + 2,5\% = 12,5\%$), що є доволі близьким до точки перемикання передачі.

Тим часом центр положення другої передачі, позначений лінією «2», становить приблизно 11% загалом.

Це означає, що для значення опору коченню на рівні 2,5% ухил в діапазоні від 8,5% до 9% є хорошим вибором для формування з'їзду з постійним градусом на 777D.

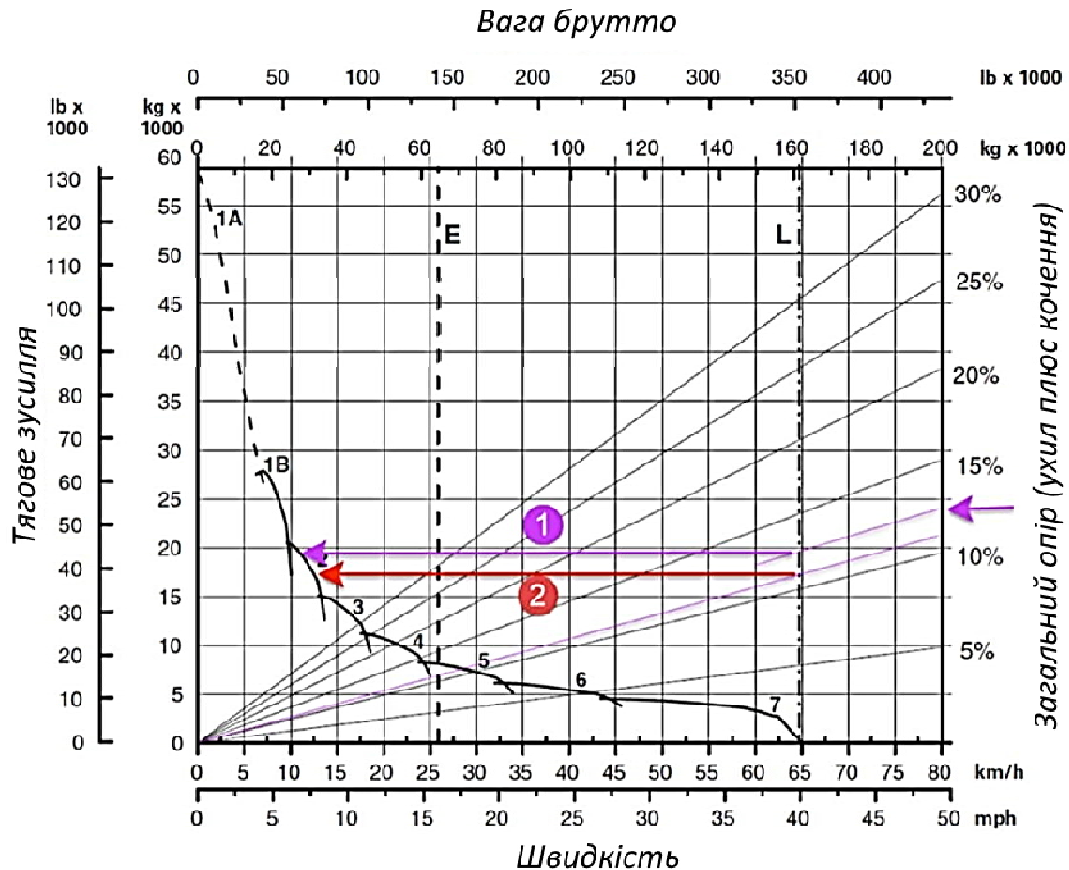


Рис. 3.3. Крива тяги 777D – Порівняння загального опору 12,5% проти 11%
 [Джерело: <https://www.deswik.com/api/PublicMedia/61dc32fe-d0e2-4198-ae12-08dd9800125b/download/Medium/2e0f1ff2-9d98-4aad-6d6e-08dd980005b2> [52]

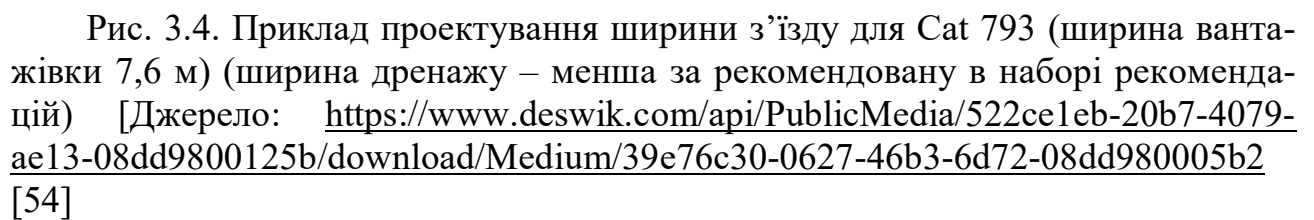
Шестиколісні шарнірно-зчленовані вантажівки можуть долати крутіші схили, скажімо, 12% (або 1:8).

Перехрестя зі з'їздами повинні бути рівними, а ділянки під'їзду (довжина вантажівки) також рівними. Зверніть увагу, що в Керівництві з аудиту управління дорожнім рухом Західноавстралійського DMIRS [53] зазначено: «Слід уникати ухилів, що перевищують 2-3%» для перехресть.

Не проектують з'їзди з ухилом 12% до останнього уступу в кар'єрах, використовуючи жорсткі вантажівки. Деякі проектувальники проектують з'їзд 12% для двох останніх сходинок у кар'єрі, вважаючи, що це допоможе збільшити видобуток руди на дні кар'єру, мінімізуючи неефективність використання вантажівок. Однак з'їзд 12% матиме два непередбачувані наслідки:

(а) Менше навантаження вантажівок, оскільки в іншому випадку вони зіткнуться з умовами застою на ділянках з високим опором коченню.

Залишають варіант 12% на розсуд операційної команди, коли вони досягнуть дна. Не враховують це в довгостроковому проєкті.



Ширина залежить від найбільшої вантажівки в автопарку, яка буде використовуватися.

= 3,5-кратна ширина вантажівки для прямого двосмугового пандуса (див. приклад на рис. 3.4);

= від 2 до 2,5-кратної ширини вантажівки на прямих ділянках та кривих з одностороннім рухом.

Забезпечують запобіжний пояс – щонайменше половину висоти шини (див. приклад на рис. 3.4).

Керівництво з аудиту NB DMIRS (2016) [53], розділ 3.14: «Будь-який запобіжний пояс має бути визначений аналізом ризиків, але повинен бути щонайменше половиною (від 50 до 66%) висоти колеса найбільшого транспортного засобу, що рухається цією дорогою».

Забезпечують дренажну систему: її ширина залежить від кількості опадів, що очищаються. Дренажні системи здебільшого являють собою V-подібні канали з бічними ухілами, зазвичай 3H:1V з внутрішньої сторони відносно краю дороги та 2H:1V з зовнішньої, з мінімальною глибиною 0,3 м (що приводить до ширини 1,5 м; див. приклад на рис. 3.5). Однак глибина та ширина залежать від кількості опадів і можуть бути значно більшими.

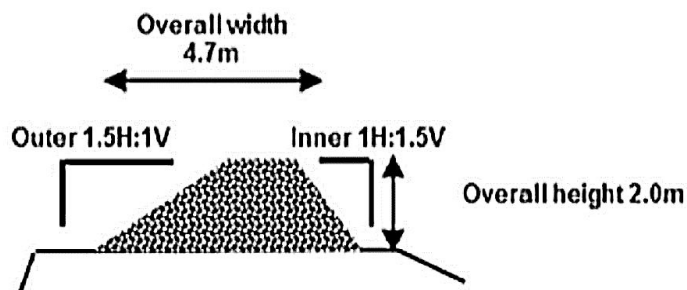


Рис. 3.5. Приклад проектування захисної берми [Джерело: <https://www.deswik.com/api/PublicMedia/34713e62-cca0-4126-ae16-08dd9800125b/download/Medium/6cabfaa6-0039-465b-6d7a-08dd980005b2> [57]

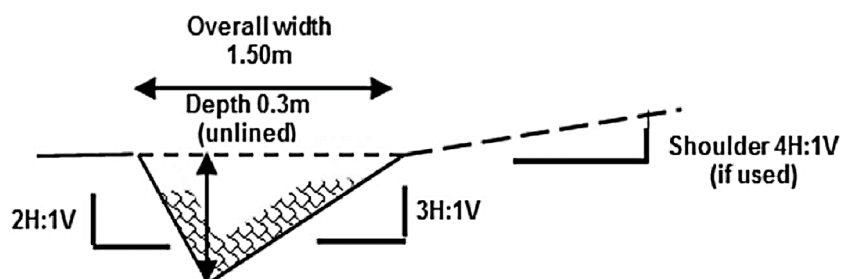


Рис. 3.6. Приклад проектування ширини дренажу [Джерело: <https://www.deswik.com/api/PublicMedia/cdadeb41-9d52-45c8-ae15-08dd9800125b/download/Medium/d19eb200-508f-4848-6d76-08dd980005b2> [58]

Додаткова ширина може знадобитися через:

- постійно мокрі та слизькі дороги;

- недосвідчених водіїв (рудники з високою оборотністю; нетрадиційні гірничодобувні райони з великою плинністю місцевої робочої сили);
- туман;
- потенційну ерозію та зсуви;
- можливість додавання центрального бурту для розділення смуг руху.

Нижні 2-3 рівні часто проектуються з односторонньою шириною з'їзду. У цьому випадку слід розглянути місця для паркування та доступу для вантажівок, які чекають на екскаватор (наприклад, на крутих поворотах).

Напрямок руху/Напрямок спіральних з'їздів

Якщо це можливо (а це не завжди можливо), проектують з'їзди в кар'єрі таким чином, щоб вони рухалися за годинниковою стрілкою (під час транспортування матеріалів угору). Це дозволяє вантажівкам (з лівостороннім кермом) підніматися на кар'єрні вибої із навантаженням вздовж борту кар'єра. Розташування кабіни водія поза дорогою дозволяє йому бачити край дороги, що особливо важливо під час нічної зміни. Притулення завантаженої вантажівки до укосу зменшує вагу на краї пандуса, які можуть стати менш стійкими. Крім того, такі компоненти вантажівки, як рульове керування, колеса, осі, підшипники та гальма, більш схильні до поломок під повним навантаженням, і безпечніше бути далі від краю кар'єра, щоб уникнути неконтрольованого руху у разі таких поломок.

Очевидно, що круті повороти змінять цей проектний намір, але вантажівки все одно працюватимуть таким чином, що водій зможе легко бачити край дороги. Максимізують час/відстань, необхідну вантажівкам для руху вгору за годинниковою стрілкою.

Деякі рудники в країнах, де використовуються автомобілі з лівостороннім кермом і, отже, їздять по правій стороні дороги, віддають перевагу тому, щоб вантажівки дотримувалися загальних правил дорожнього руху (це дозволяє уникнути плутанини).

Однак, як і раніше, визнається, що ця практика далеко не така безпечна, як рух по лівій стороні дороги, настільки, що деякі країни з правим кермом пере-

ходять на використання лівої сторони дороги у своїх кар'єрах для підвищення безпеки.

3.2.3. Геотехнічні фактори

У проектуванні завжди необхідно усвідомлювати геотехнічні ризики. Зокрема, під час встановлення з'їзду слід уникати ділянок з ознакою зсуву та ризиком руйнування. Перехрестя в певній зоні може призвести до регулярної втрати гребнів з'їзду, що там вимагатиме додаткової ширини з'їзду з міркувань безпеки.

Серповидний поворот: ширина та нахил кривої

Повороти ризиковані слід проектувати з внутрішнім радіусом з'їзду, щоб забезпечити мінімальний внутрішній радіус ходу шин, що становить щонайменше 150% від мінімального внутрішнього радіусу кліренса повороту вантажівки при використанні в кар'єрі. (визначення див. на рис. 3.7).

Перевага надається плоским, крутим поворотам. Однак завжди перевіряють, чи мають вони достатній зазор на внутрішній колії. Повороти з плоским крутим закругленням створюють найменше навантаження на трансмісію вантажівки, а у вантажівці з механічним приводом вони, ймовірно, все одно призведуть до перемикання передач, але вони – принаймні відносно неруйнівні.

Якщо крутий поворот спроектовано на схилі, градієнт на внутрішньому радіусі захисного огороження слід встановити на 2-3% менший, ніж градус з'їзду, щоб компенсувати підвищений опір коченню кривої. Розглядають, як завантажений самоскид подолає труднощі будь-якого крутого повороту. Геометрія поступового крутого повороту завжди призведе до перемикання передач просто тому, що неможливо підтримувати постійний градієнт на обох ведучих колесах.

По можливості, круті повороти слід проектувати так, щоб вони збігалися з уступом, щоб радіус повороту збільшувався без зайвого впливу на швидкість видалення відходів. Ширина крутого повороту зазвичай збільшується на 0,5-1,0 ширини вантажівки порівняно з шириною прямих ділянок з'їзду. Це допомагає запобігти зіткненню нависаючих секцій вантажівок. На практиці ці плоскі криві крутого повороту будуть доповнені підйомом або поперечним падінням щонайменше на 2% для дренажу. Крива з більшим радіусом може бути набагато

ефективнішою з точки зору експлуатації, ніж крива з різким ризикуванням, особливо для з'їздів тривалого терміну служби. Використовують максимально можливий радіус і забезпечують його послідовність і плавність, адже погано спроектовані криві призводять до уповільнення циклу та збільшення загальних витрат.

Приклад усіх конструктивних елементів, необхідних для кривої крутого повороту, показано на рис. 3.7, 3.8.

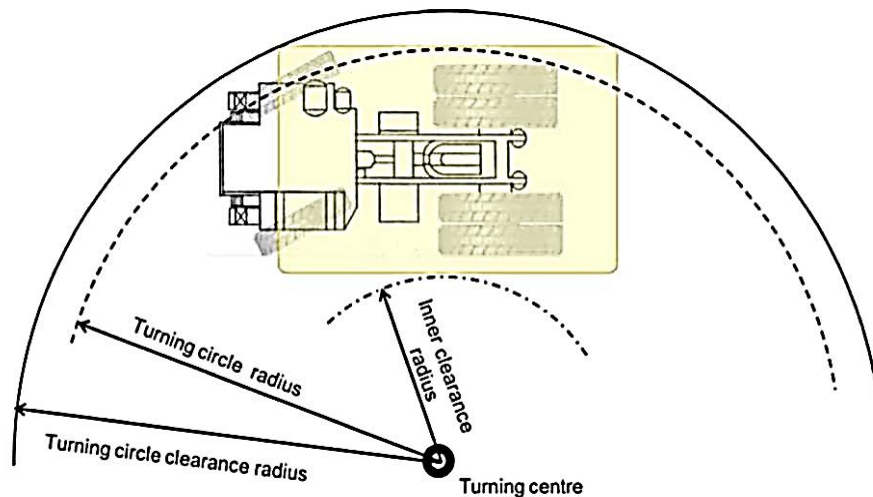


Рис. 3.7. Визначення радіуса кута повороту самоскида [Джерело: <https://www.deswik.com/api/PublicMedia/b02785ad-50e2-4f8d-ae18-08dd9800125b/download/Medium/795f4e23-d09e-4ce0-6d82-08dd980005b2> [59]

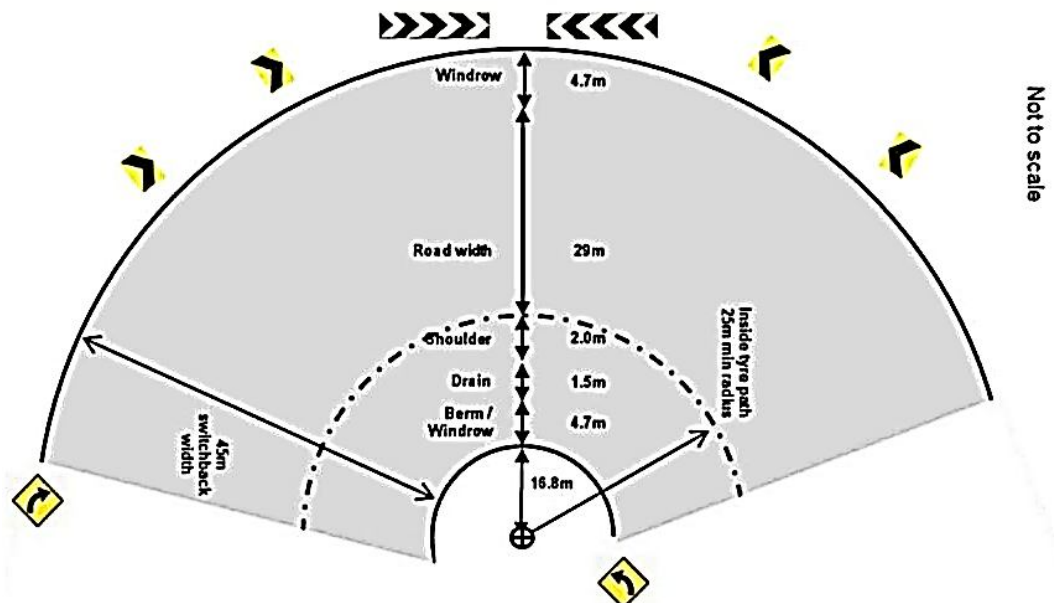


Рис. 3.8. Приклад елементів проектування для крутого повороту автосамрскида на повну ширину (вантажівка шириною 7,25 м) [Джерело: <https://www.deswik.com/api/PublicMedia/f7a29ceb-7728-4eae-ae19-08dd9800125b/download/Medium/a4639bdb-5fec-473f-6d86-08dd980005b2> [60]

Центральна лінія проти найкоротшої крайової лінії

За замовчуванням використовують варіант найкоротшої крайової лінії в конструкціях з'їздів з 2 смугами руху.

Використання варіантів проектування на основі центральної лінії навколо кривих та крутих поворотів може призвести до надзвичайно крутих градієнтів на внутрішніх смугах подвійних з'їздів (див. [61]).

Варіант центральної лінії можна використовувати в конструкціях з'їздів з однією смугою руху (хоча все ж таки краще враховувати внутрішній радіус траєкторії шини як проектний градієнт).

Прямі дороги/Прямі борти

По можливості тримають з'їзди та борти прямими або принаймні з пологими кривими.

Під час проектування рудника та його оптимізаційних контурів розширені виступи можуть почати демонструвати нестабільність та спотворення. Їх слід вирівняти або згладити перед початком процесу проектування, як показано на рис. 3.9.

Перетин з'їзду та берми

Спочатку проектують лінії гребня та підніжжя для визначення перетину з'їзду та площадки уступу, які відображають реальність операції у повній відповідності до просторових характеристик і особливостей проектованої ділянки конкретного кар'єру.

Рекомендується збільшити ширину з'їзду, щоб забезпечити спрощений доступ до берми.

Інші міркування безпеки з'їзду

Вже обговорювався ряд питань проектування, пов'язаних з безпекою.

«Безпечна система визнає, що люди схильні до помилок, що помилки — неминучі, і що коли вони трапляються, дорожня система (гірничотранспортних перевезень) враховує ці помилки, щоб мінімізувати рівень ризику, пов'язаного з небезпекою» [49].

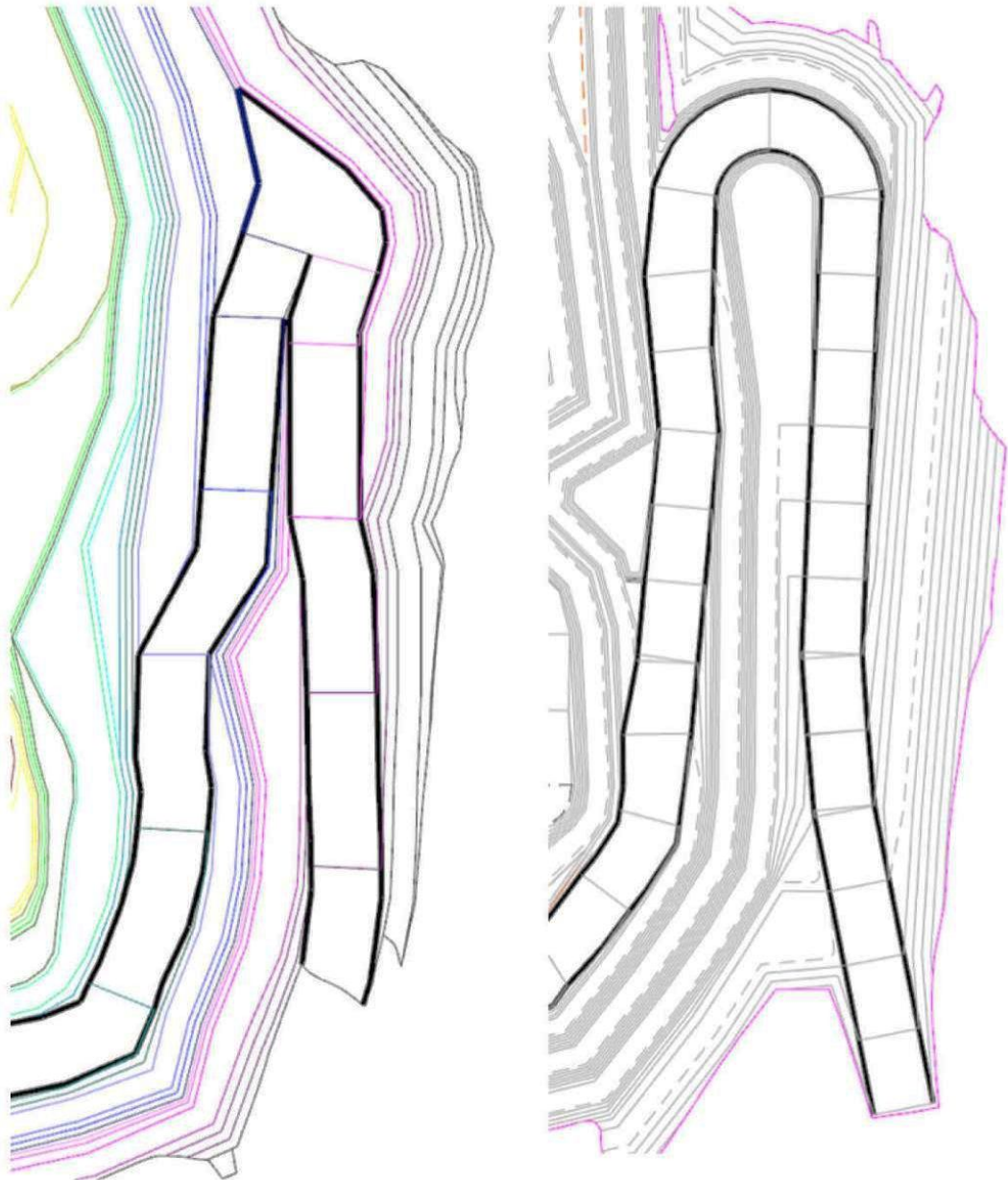


Рис. 3.9. Приклад нестабільного з'їзду (ліворуч), випрямленого (праворуч)
 [Джерело: <https://www.deswik.com/api/PublicMedia/d91a2a5f-f331-4038-ae1a-08dd9800125b/download/Medium/1235d043-a737-42ff-6d8a-08dd980005b2> [62]

Деякі додаткові міркування безпеки при проектуванні з'їзду кар'єра включають:

Відстані спостереження вздовж з'їзду ЗАВЖДИ повинні бути більшими за гальмівний шлях (загальне правило: використовують подвійний гальмівний шлях).

Проблемою є перешкоди на з'їзді на тій самій смузі, що й шлях вантажівок, такі як несправне обладнання (вантажівки, грейдери, пасажирські транспортні засоби тощо) або великий обвал каміння, який може зруйнувати відстійник.

Зокрема, повороти та гребні (див. рис. 3.10) повинні бути спроектовані таким чином, щоб оператори машин могли бачити та уникати небезпеку під час руху зі звичайною робочою швидкістю.

Перехрестя мають бути максимально рівними та не повинні будуватися на гребнях пандусів. Слід уникати різких горизонтальних поворотів у верхній та нижній частинах з'їздів.

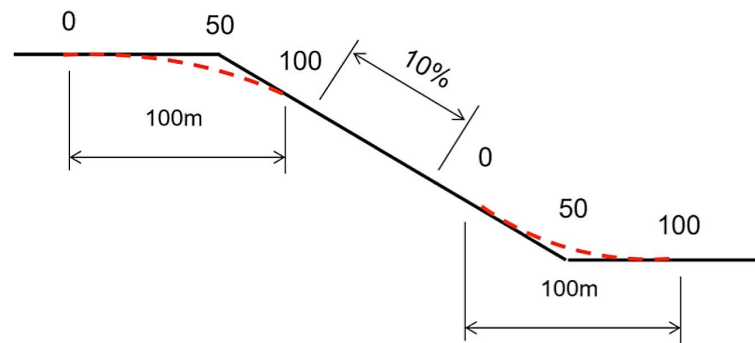


Рис. 3.10. Приклад коригування вертикальності кривої при зміні нахилу з'їзду для збереження на автошляху прямої видимості [Джерело: <https://www.deswik.com/api/PublicMedia/5c02f2d5-47c2-44d6-ae1b-08dd9800125b/download/Medium/339b29b4-70be-4422-6d8c-08dd980005b2> [63]

Інші міркування щодо планування

З'їзд, що забезпечує доступ до уступу на середині його довжини, дозволить вести видобуток щонайменше на двох забоях у протилежних напрямках, збільшуючи коефіцієнт використання уступу. Якщо в процесі виїмки присутні дуже високі уступи, таке розміщення з'їзду допоможе підвищити продуктивність.

Розташування виходу зі з'їзду

Поблизу відвалів – щоб мінімізувати вивезення пустої породи.

Тоннаж пустої породи з обсягів розкриву, ймовірно, буде набагато більшим, ніж тоннаж руди.

Поблизу млина – щоб мінімізувати вивезення руди?

Два виходи. Один – для пустої породи та один – для руди?

Нерівний або гірський рельєф

На нерівній або гірській місцевості, якщо з'їзд розміщено в забої на висхідному схилі або під найкрутішим схилом, до проекту буде додано значну кі-

лькість пустої породи. По можливості з'їзд розташовують на схилі або нижче найнижчої точки місцевості.

Мінімальна ширина видобутку

Три питання, які слід врахувати:

- мінімальна ширина дна кар'єру,
- мінімальна ширина площадки уступу,
- питома площа в межах ширини доступу до уступу – кінці уступів тощо.

Геометрія кар'єру забезпечує відносну кількість та продуктивність доступних робочих зон, але постає ряд запитань:

Яким є радіус повороту самоскида?

Який радіус розвантаження екскаватора?

Рекомендована мінімальна ширина видобутку (дно виробки) = радіус повороту самоскида + ширина безпечної берми

Інше = радіус повороту екскаватора + ширина з'їзду + ширина безпечної берми.

Рекомендована мінімальна ширина уступа = радіус перекидання екскаватора + радіус повороту самоскида + ширина безпечної берми.

Подвоєння цього числа має забезпечити мінімум два робочих забою на уступі.

Самоскид повинен мати можливість об'їхати навантажувач на повному прискоренні.

Чи є місце для робочої зони та тимчасового обхідного з'їзду? (що дозволяє працювати з кількома видобувними платформами? Або позначити її як зону видобутку з однією платформою?)

Які обмеження ширини/вильоту ковша?

Чи використовуються масові вибухи, і з якою шириною? Це може знадобитися, щоб додати відповідну відстань до ширини робочої зони під час підривання вибухового блоку на уступі.

Правильний розрахунок розмірів робочої зони можна виконати, визначивши та додавши безпечні й ефективні зони, необхідні для всіх пов'язаних з цим видів діяльності в руднику, як показано на рис. 3.11.

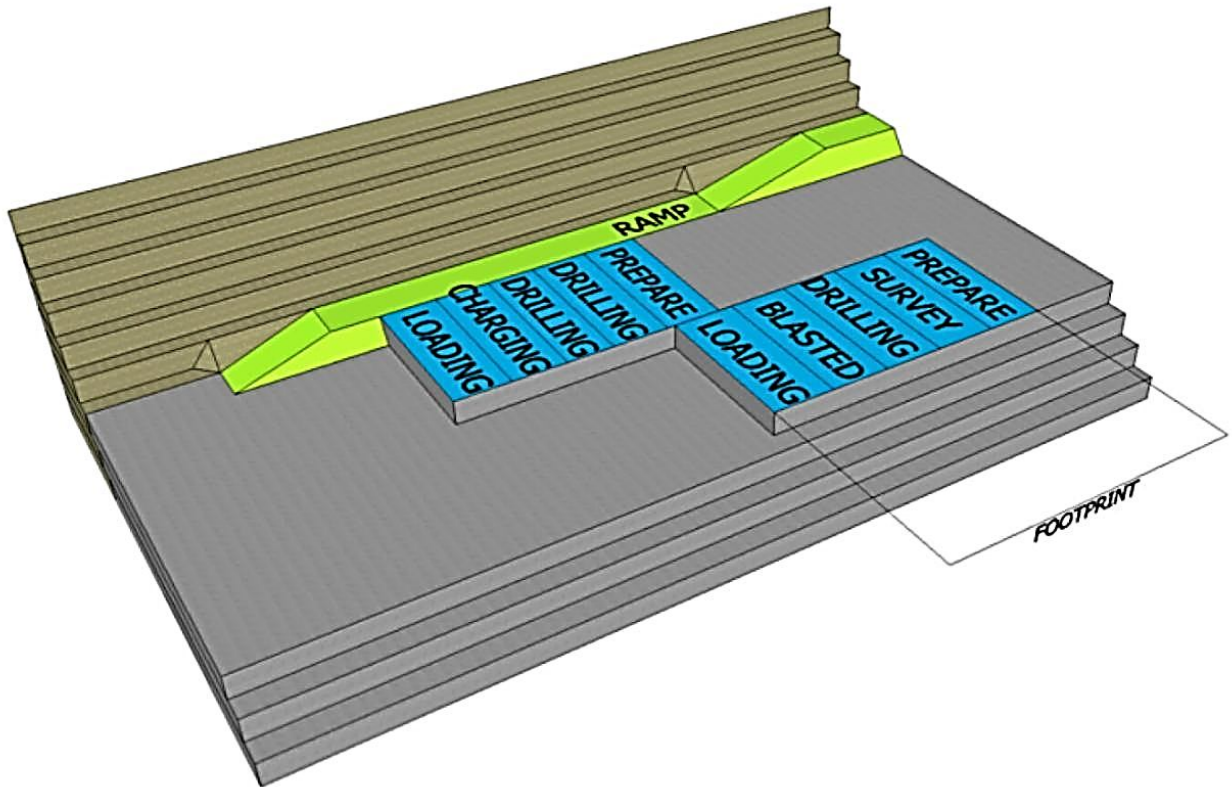


Рис. 3.11. Приклад розрахунку робочого простору в кар'єрі для мінімальної ширини розробки [Джерело: <https://www.deswik.com/api/PublicMedia/62dbfecb-a1a3-4d98-ae1c-08dd9800125b/download/Medium/1ca0caf7-bc53-4dd1-6d90-08dd980005b2> [64]

Вигнуті або прямі стіни

Деякі гірники віддають перевагу стінам з прямими ділянками (примітка: їх легше встановити, підривати та розробляти). Деякі – віддають перевагу гладким, вигнутим стінам (примітка: цього можна відносно легко досягти в окислених матеріалах, але як підривати вигнуту стіну в твердій породі? Відстань між вибуховими свердловинами може перевищувати 5 метрів, тому сама крива насправді є серією прямих ліній).

Концепції етапів

Як правило, спочатку слід спроектувати остаточний контур, а потім розглянути попередні етапи. Це може вимагати ітерацій, оскільки потенційна синергія між етапами буде зрозумілою. Важливо з'ясувати, чи можна використовувати ділянки існуючого остаточного з'їзду для одного з попередніх етапів.

Чи можна розділити взаємодії між етапами, по черзі проектуючи послідовні етапи на протилежних сторонах кар'єру?

Чи можна розробити планування етапів таким чином, щоб забезпечити зворотне засипання всередині кар'єру, уникаючи необхідності транспортування всієї пустої породи на поверхню?

Чи потрібна пускова рампа для підземного порталу, і на якому етапі видобутку знадобиться такий доступ?

Уникають тонких трикутних перетинів або "кутів" між краєм одного етапу та краєм наступного етапу або останнього контуру (див. рис. 3.12). Розробка таких котлованів може бути небезпечною.

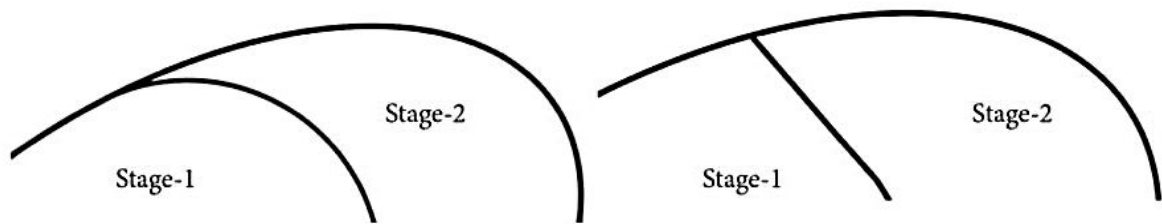


Рис. 3.12. Небезпечний перетин етапів (ліворуч) проти безпечного перетину етапів (праворуч) [Джерело: <https://www.deswik.com/api/PublicMedia/487d0f9a-d0dc-456c-ae1d-08dd9800125b/download/Medium/4dfe4ec7-e318-4dba-6d94-08dd980005b2> [65]]

Можливо, доцільно використовувати внутрішній етап для тестування та експериментування з параметрами крутішого схилу, перш ніж приймати остаточний проект. Ретроспективний аналіз руйнувань схилів на ранній стадії кар'єру забезпечить більш надійне розуміння меж стійкості схилу.

Використання гірничих рамп під еродованими схилами або бермами, заповненими осипом через поступове перетинання, не рекомендується. Існує невідомий ризик для безпеки або фінансові витрати, пов'язані з використанням невеликого обладнання для очищення берм. Якщо проблему неможливо спланувати або спроектувати, необхідні великомасштабні водозбірні берми. Одним із рішень є проектування «збільшеного» з'їзду у внутрішніх етапах, як це використовує Кадія [66]. З'їзд має бути спроектований як комбінація «уловлювальних берм та з'їзду, щоб максимізувати економію часу, яку пропонує утримувальна здатність, забезпечити гнучкість планування та усунути ризик доступу до звичайних берм для видобутку, враховуючи при цьому непередбачені події» [66].

Необхідно переконатися, що розміри етапів кар'єру дозволяють ефективно використання обладнання.

Чи достатньо широким є етап, щоб дозволити встановлення тимчасового з'їзду для розробки кількох уступів у межах цього етапу? Якщо ні, то перед початком роботи наступного етапу доведеться видобути цілком поклад, що значно зменшить експлуатаційну потужність рудника.

Зневоднення та дренаж кар'єру

Чи існують вимоги до проектування для розробки успішної стратегії зневоднення кар'єру?

Бажаю переглянути план ділянки та проект, щоб переконатися, що поверхневі води не потрапляють у кар'єр.

У середовищах з високою кількістю опадів рекомендується використовувати похилі уступи та берми (останні версії програмного забезпечення включають цю опцію в інструментах проектування). Ухил 3% здається добре працює (наприклад, у Ліхирі).

Розглядають, де можна розмістити збірники та дренажні труби, і чи потрібні коригуючі зміни в проекті. Загальною практикою є розташування збірника в кінці дренажної труби, на вигині, та забезпечення безпечного доступу до цього збірника для обслуговування насоса.

Розглядають, як можна встановити водозабірник на ранніх етапах розробки котловану.

Перевірка тріангуляції проектною поверхні

Розфарбовують трикутники поверхні відповідно до ухилу. Це виділить області, які можуть бути не вказані (див. приклад на рис. 3.13).

Вирізають серію близько розташованих контурів – кожний 1 м – та перевіряють їх на наявність аберацій тріангуляції (див. приклад на рис. 3.14), особливо з рампами, де контури повинні бути паралельними на прямих лініях та однаковими при змінах в інших місцях.

Повертають 3D-проекти, щоб підтвердити правильність усіх зображень.

Порівнюють тоннаж руди та порожньої породи з обвідною оптимізацією кар'єру. Надають зворотний зв'язок особі/команді з оптимізацією кар'єру.

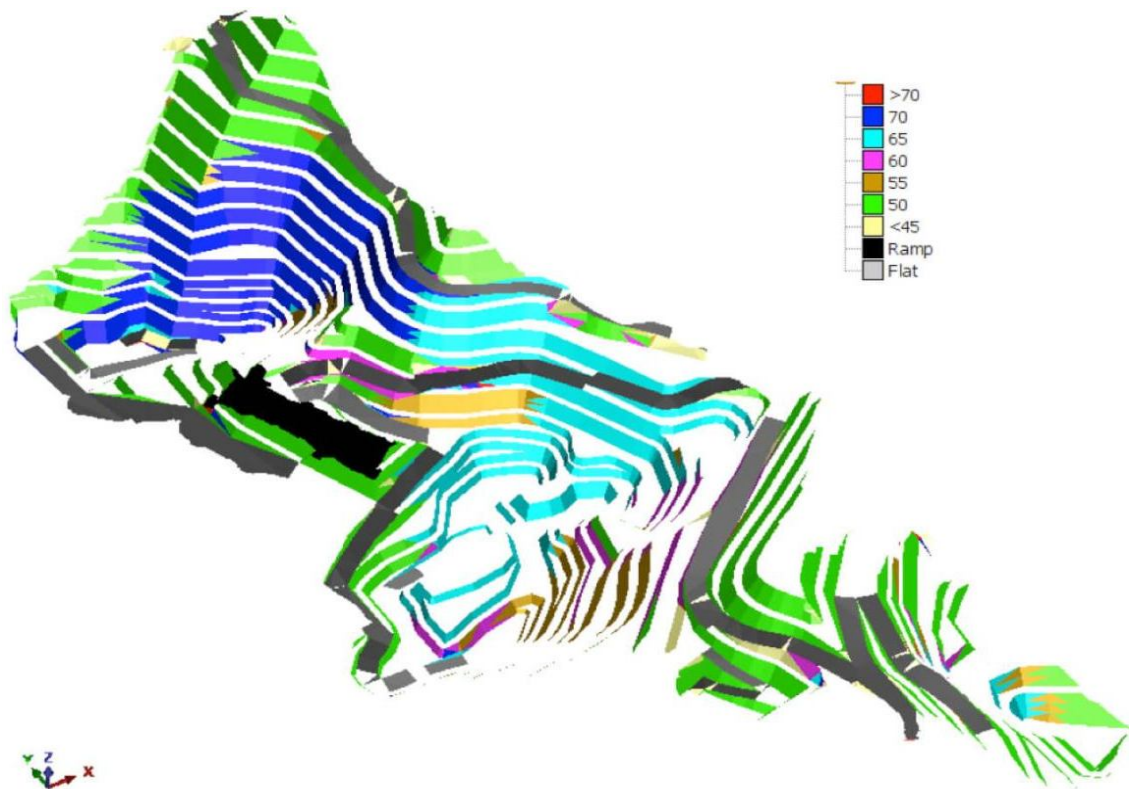


Рис. 3.13. Приклад розфарбовування кар'єру для перевірки застосування проектних ухилів [Джерело: <https://www.deswik.com/api/PublicMedia/8996d054-3bb3-458e-ae1e-08dd9800125b/download/Medium/e76b4331-eb70-4f8d-6d98-08dd980005b2> [67]

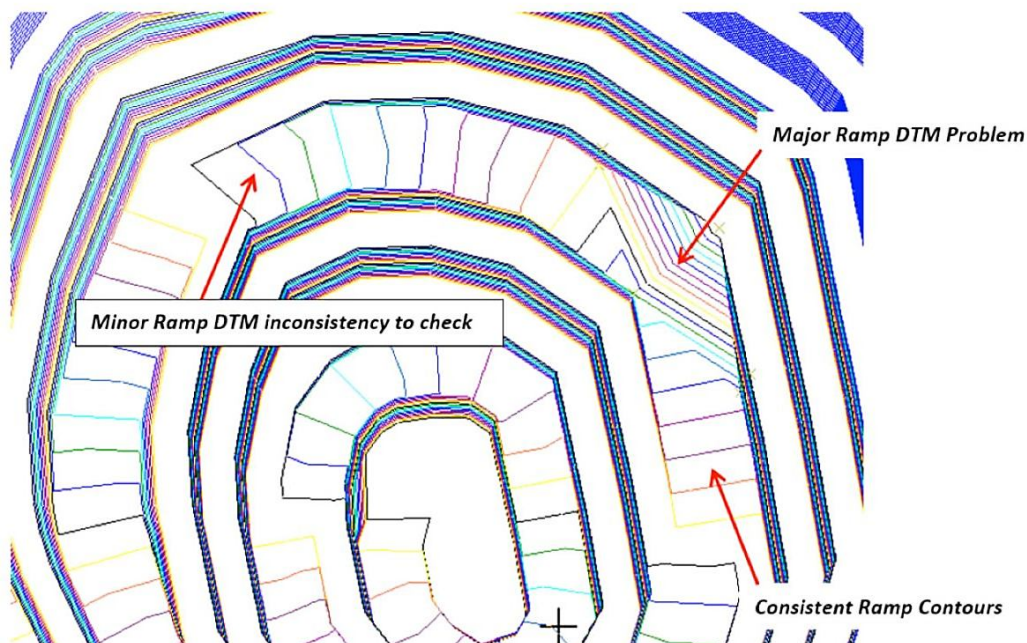


Рис. 3.14. Приклад розрізання кар'єру для перевірки тріангуляції та рампування [Джерело: <https://www.deswik.com/api/PublicMedia/00920f51-ca39-4c44-ae1f-08dd9800125b/download/Medium/2b805136-bb9b-4d30-6d9c-08dd980005b2> [68]

3.4. Фотографічні приклади проблем кар'єрних вантажопотоків та негативних наслідків, зумовлених хибами проектування



Рис. 3.15. Транспортні берми (вище) та з'їзди (знизу) на бортах глибоких кар'єрів [46]



Рис. 3.16. Для чого в кар'єрі влаштовують запобіжні валки [Джерело: <https://www.deswik.com/api/PublicMedia/99acad95-1368-48e8-ae23-08dd9800125b/download/Document/29235b13-7c51-45bb-6da6-08dd980005b2> [69]



Рис. 3.17. Пошкодження вантажівки через погану конструкцію рампи, що створює навантаження на рульову раму та осі [Джерело: <https://www.deswik.com/api/PublicMedia/026a3d94-60a6-4d54-ae24-08dd9800125b/download/Document/84634515-53f2-438c-6da7-08dd980005b2> [70]]



Рис. 3.15. Лівосторонній завантажений кар'єрний спуск. Це – менш бажане розташування (але його можна уникнути через серпантини). Ліворуч: Чукікамата (Chuquicamata). Праворуч: Супер-кар'єр Калгурлі (Kalgoorlie) [Джерело: <https://www.deswik.com/api/PublicMedia/4e5005f1-f607-409d-ae26-08dd9800125b/download/Document/3f17484b-8c83-4b86-6da9-08dd980005b2> [71]]



3.16. Майданчик Фріпорт-Макморан, США. Невдало спроектований крутий поворот [Джерело: <https://www.deswik.com/api/PublicMedia/3a9a2a8e-0807-465c-ae25-08dd9800125b/download/Document/99f316d3-0069-45bc-6da8-08dd980005b2> [72]



Рис. 3.17. Правий бічний завантажений кар'єрний спуск. Це – найменш бажане (найменш безпечне) розташування його на краю кар'єрної порожнини [Джерело: <https://www.deswik.com/api/PublicMedia/2e0bdb23-3c21-44ae-ae27-08dd9800125b/download/Document/7bb78738-c85b-4d53-6daa-08dd980005b2> [73]



Рис. 3.18. Приклад затору вантажівки на повороті з'їзду [Джерело:
[\https://www.deswik.com/api/PublicMedia/238ad180-9346-4877-ae29-08dd9800125b/download/Document/d9a42494-3428-4955-6dac-08dd980005b2 [74]



Рис. 3.19. Нерівномірний рух самоскидів, Грасберг, Індонезія [Джерело:
[\https://www.deswik.com/api/PublicMedia/fce147aa-cd5e-4436-ae2a-08dd9800125b/download/Document/921220c0-68db-4cbc-6dad-08dd980005b2 [75]

Висновки за розділом 3

Узагальнюючи викладені в даному розділі магістерської роботи результати виконаного оціночного аналізу світового досвіду коригування й оптимізації гірничих проектів багатoproфільними експертними та консалтинговими центрами, можна констатувати наступне:

Завдяки незалежності експертів та глобальному досвіду, фахівці можуть надавати об'єктивні консультації та експертизу для будь-якого проекту в усьому світі. Під час складання звітів спираються на ринкові дані та власну історичну базу даних міжнародних бенчмарків. Ця інформація, у поєднанні з відвідуваннями об'єктів та ретельним оглядом проектів на сьогоднішній день, дозволяє впевнено визначати – для будь-якого проекту чи товару, на будь-якому етапі розробки – справедливу вартість, яка базується на ґрунтовному базовому технічному розумінні.

Deswik.Spatial завдяки повній інтеграції даних, можливостям 3D-моделювання та геопросторового аналізу світового рівня є комплексним пакетом САПР для створення детальних проектних планів, підвищення продуктивності та забезпечення раціонального використання довкілля.

Бенчмаркінг за результатами виконаного аналізу достатньо переконливо свідчить про можливість та доцільність трансферу виділених методів коригування об'єктів та процесів у кар'єрах й адаптації їх до умов гірничодобувних підприємств України в цілому та Кривбасу зокрема.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Як свідчить системна оцінка виконаних досліджень, методи коригування з метою адаптації гірничих технологій включають автоматизацію та цифровізацію, такі як використання цифрових двійників та автономних транспортних засобів, а також удосконалення процесів за допомогою програмного забезпечення для управління та відповідних датчиків. Адаптація технологій також зумовлена бажанням підвищити безпеку, ефективність та екологічну стійкість, наприклад, шляхом зменшення викидів, зниження загального негативного впливу на довкілля та кращого збереження ресурсів.

Створення віртуальних копій (моделей) рудників для покращення планування й оптимізації їх функціонування наразі нагально вимагає вносити в них можливість оперативного коригування широкого кола організаційних, управлінських та технологічних процесів і параметрів їхніх складових, чого особливо потребують наступні.

Автономні транспортні засоби та автономне буріння: Зменшення впливу небезпек на працівників та підвищення продуктивності.

Датчики та моніторинг у режимі реального часу: Використання датчиків для моніторингу напруженого стану гірського масиву та його стійкості, ефективності виробничих процесів та раннього виявлення різного роду загроз та небезпек.

Для цього в розпорядженні гірників є цілком доступне високоефективне програмне забезпечення управління операціями. Такі інструменти, як Vulcan, MiningMath, Photographer, MiningMath, K-Mine, а особливо Deswik, розкривають практично необмежені перспективи для: геологічного і комплексного моделювання, автоматизації завдань та управління даними, оптимізації процесів, екологічної стійкості та безпеки, скорочення шкідливих викидів, упровадження відновлюваних джерел енергії та підвищення енергоефективності, а також багато інших видів гірничої діяльності, своєчасне та науково обґрунтоване коригування яких дасть змогу превентивно запобігати можливим збоям у функціонуванні таких складних об'єктів як кар'єр-системи та максимально оперативно адаптувати їх адекватно змінам оточуючого їх ресурсного, соціального і бізнес-середовища.

Бібліографія.

1. Дриженко А.Ю. Відкриті гірничі роботи/ Дриженко А.Ю. – Дніпропетровськ: НГУ, 2014. – 590 с.
2. Бизов В.Ф., Дриженко А.Ю. Відкриті гірничі роботи. Т. XIII «Виробничі процеси» : підручник для студентів вищих навчальних закладів за напрямком «Гірництво». - Кривий Ріг: Мінерал. 2004. - 341 с.
3. Фролов О. О., Косенко Т. В. Відкриті гірничі роботи: Ч. I. Процеси відкритих гірничих робіт : навч. посіб. для студ. спеціальності 184 «Гірництво». Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. - 151 с.
4. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. — Д. : Донбас, 2004. - Т. 1 : А - К. - 640 с. - ISBN 966-7804-14-3.
5. Гірничий енциклопедичний словник : в 3 т. Донецьк : Східний видавничий дім, 2001.
6. Технологія екологічнобезпечної відкритої розробки нерудних родовищ твердих корисних копалин / В. І. Симоненко та ін. Дніпро : Журфонд, 2022. 365 с.
7. Шапар А.Г. Методичні підходи до вибору та обґрунтування критеріїв і показників сталого розвитку різних ландшафтних регіонів України / А. Г. Шапар [й ін.] ; За науков. ред. А.Г. Шапара ; Нац. академія наук України, Ін.-т проблем природокористування та екології. - 2-е вид., перероб. і доп. - Дніпропетровськ : Поліграфіст, 2002. - 98 с. - ISBN 966-684-025-1.
8. Surface Mining Technology / Mostafa Mohamed Ali et al. Singapore : Springer Nature, 2022. 344 p.
9. Маланчук З.Р., Гавриш В.С., Стріха В.А., Киричик І.М. Технології відкритої розробки корисних копалин. Навчальний посібник. – Рівне: НУВГП, 2013. – 285 с. ISBN: 978-966-327-250-4.
10. СОУ-Н МПП 73.020-078-1:2007. Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. Частина 1. Гірничі роботи, ліквідація гірничодобувних підприємств. Техніко - економічна оцінка та показники. [Чинний від 2007-02-06]. Вид офіц. Київ : «Міністерство промислової політики України», 2007. 277 с.
11. Photo courtesy of Codelco's Chuquibambilla Division, Chile.
12. Lee, Jasen. Kennecott laying off 200 workers. DeseretNews.com.
13. Bingham Canyon Mine <https://cdn.mapme.club/images/5300/53005-samyj-glubokij-karer.jpg>
14. Mcfarland, Sheena. Kennecott Copper Mine recovering faster than predicted. The Salt Lake Tribune. The Salt Lake Tribune.
15. Rio Tinto's Kennecott wins clean air lawsuit in the US | MINING.com.
16. <https://mapme.club/poradi/5300-samij-glibokij-karyer.html>
17. https://www.google.com/search?q=Open+pit+mining+adjustments&oq=Open+pit+mining+adjustments&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOTIHCAEQIRigATIHCAIQIRigAdIBCjExNDc3ajBqMTWoAgiwAgE&sourceid=chrome&ie=UTF-8#sv=CAMSVhozKhFpYy13dUNLYUJ6VzM1eUt3TTIOd3VDS2FCelczNXILd006DjJiYzU0RDB6S2NQMxBNIAQqGwoEc3ZpbRIRaWMtd3VDS2FCelczNXILd00YATABGAcgxu665AwwAg
18. MiningMath <https://br.linkedin.com/company/miningmath-associates>

19. Photographer: Donnelly-Nolan, Julie M.
20. MiningMath. <https://miningmath.com/>
21. <https://miningmath.com/wp-content/uploads/2024/07/mclaughlin-scheduling-1536x802.jpg>
22. Застосування в задачах гірництва алгоритму Лерча-Гроссманна. <https://ru.scribd.com/document/467877703/2-4-3-Lerchs-Grossman-Algorithm>
23. K-MINE. <https://uk.wikipedia.org/wiki/K-MINE>
24. <https://k-mine.com/wp-content/uploads/2024/12/Picture-1-1.png>
25. <https://k-mine.com/wp-content/uploads/2024/12/image-869.png>
26. <https://k-mine.com/wp-content/uploads/2024/12/Group-3695.png>
27. <https://k-mine.com/wp-content/uploads/2024/12/OPT1.mp4>
28. https://k-mine.com/wp-content/uploads/2024/12/OPT_2-1.mp4
29. <https://k-mine.com/wp-content/uploads/2024/12/OPT1.mp4>
30. <https://k-mine.com/wp-content/uploads/2024/12/Picture-7.png>
31. <https://k-mine.com/wp-content/uploads/2024/12/Picture-8.png>
32. <https://k-mine.com/wp-content/uploads/2024/12/DD2-1.mp4>
33. https://k-mine.com/wp-content/uploads/2024/12/Picture-8_1.png
34. https://k-mine.com/wp-content/uploads/2024/12/Picture-8_2.png
35. https://k-mine.com/wp-content/uploads/2024/12/Picture-8_3.png
36. https://k-mine.com/wp-content/uploads/2024/12/Picture-8_5.png
37. https://k-mine.com/wp-content/uploads/2024/12/Picture-8_6.png
38. https://k-mine.com/wp-content/uploads/2024/12/Picture-8_7.png
39. Владимиров Ю. Сулит карьер высокую отдачу. www.gmprom.kz
Журнал «Горно-металлургическая промышленность». 2/2015. – С. 44-47.
https://agmp.kz/wp-content/uploads/2018/05/zhurnal-GMP-2_2015.pdf
40. ТОВ «Науково-дослідний інжиніринговий центр – НДІЦ ERG»
<https://www.erg.kz/ru/enterprises/too-naucno-issledovatel'skii-inziningovyi-centr-erg>
41. Mine Engineering <https://www.srk.com/en/services/mine-engineering>
42. Коригування оцінки мінеральних ресурсів рудника Cukaru-Peki.
<https://www.srk.com/en/projects/cukaru-pekı>
43. Динамічне моделювання транспортної системи. <https://cdn-web-content.srk.com/upload/baseentities/334/P-Mine-Simulation20210119140359516.webp>
44. Коригування підтримки гірського масиву кар'єру Hollinger.
<https://www.srk.com/en/publications/hollinger-open-pit-operational-support>
45. Hollinger. <https://cdn-web-content.srk.com/upload/baseentities/334/P-Mine-Simulation20210119140359516.webp>
46. Services Deswik. <https://www.deswik.com/fr/whitepapers/guidelines-and-considerations-for-open-pit-designers>
47. Deswik. <https://www.deswik.com/fr/>
48. Уступ. <https://www.deswik.com/api/PublicMedia/969d5c84-8e73-4aa7-ae10-08dd9800125b/download/Medium/44ef274a-f195-42ec-6d66-08dd980005b2>
49. Thompson, 2015. «Principles of Mine Haul Road Design and Construction», notes de cours, 156 pp, téléchargeable à partir de l'adresse suivante :

http://mineravia.com/yahoo_site_admin/assets/docs/Principles_of_mine_haul_road_design_and_construction_v5_Sep_2015_RJTs.28192929.pdf

50. Caterpillar, Inc. - Institutional Ownership & Holdings. nasdaq.
51. <https://www.deswik.com/api/PublicMedia/69b90caf-a7ae-4da1-ae17-08dd9800125b/download/Medium/7f605474-9e99-404b-6d7e-08dd980005b2>
52. <https://www.deswik.com/api/PublicMedia/61dc32fe-d0e2-4198-ae12-08dd9800125b/download/Medium/2e0f1ff2-9d98-4aad-6d6e-08dd980005b2>
53. DMIRS, 2016, «Traffic management audit – guide», ministère des Mines, réglementation et sécurité de l'industrie, gouvernement de l'Australie-Occidentale, 27 janvier 2016, page 37. téléchargeable à partir de : http://www.dmp.wa.gov.au/Documents/Safety/MSH_AuditGuide_TrafficManagement.pdf
54. <https://www.deswik.com/api/PublicMedia/522ce1eb-20b7-4079-ae13-08dd9800125b/download/Medium/39e76c30-0627-46b3-6d72-08dd980005b2>
55. Holman. 2006. « Caterpillar Haul Road Design and Management », présentation téléchargeable à partir de : <http://www.directminingservices.com/wp-content/uploads/2010/06/CAT-Haul-Road-Design.pdf>
56. Kaufman W.W. et Ault J.C. 1977. Design of surface mining haulage roads – a manual. Département de l'Intérieur des États-Unis, Bureau des mines, circulaire d'information 8758. téléchargeable à partir de l'adresse suivante : <https://www.osmre.gov/resources/library/ghm/haulroad.pdf>
57. <https://www.deswik.com/api/PublicMedia/34713e62-cca0-4126-ae16-08dd9800125b/download/Medium/6cabfaa6-0039-465b-6d7a-08dd980005b2>
58. <https://www.deswik.com/api/PublicMedia/cdadeb41-9d52-45c8-ae15-08dd9800125b/download/Medium/d19eb200-508f-4848-6d76-08dd980005b2>
59. <https://www.deswik.com/api/PublicMedia/b02785ad-50e2-4f8d-ae18-08dd9800125b/download/Medium/795f4e23-d09e-4ce0-6d82-08dd980005b2>
60. <https://www.deswik.com/api/PublicMedia/f7a29ceb-7728-4eae-ae19-08dd9800125b/download/Medium/a4639bdb-5fec-473f-6d86-08dd980005b2>
61. <https://www.linkedin.com/pulse/truck-says-centre-line-gradient-ramp-designs-julian-poniewierski/>
62. <https://www.deswik.com/api/PublicMedia/d91a2a5f-f331-4038-ae1a-08dd9800125b/download/Medium/1235d043-a737-42ff-6d8a-08dd980005b2>
63. <https://www.deswik.com/api/PublicMedia/5c02f2d5-47c2-44d6-ae1b-08dd9800125b/download/Medium/339b29b4-70be-4422-6d8c-08dd980005b2>
64. <https://www.deswik.com/api/PublicMedia/62dbfecb-a1a3-4d98-ae1c-08dd9800125b/download/Medium/1ca0caf7-bc53-4dd1-6d90-08dd980005b2>
65. <https://www.deswik.com/api/PublicMedia/487d0f9a-d0dc-456c-ae1d-08dd9800125b/download/Medium/4dfe4ec7-e318-4dba-6d94-08dd980005b2>
66. Mumme, A. and Pothitos, F. 2006 Cutback Optimisation and Implementation. 2nd International Seminar on Strategic vs Tactical Approaches in Mining, Perth, section 23.
67. <https://www.deswik.com/api/PublicMedia/8996d054-3bb3-458e-ae1e-08dd9800125b/download/Medium/e76b4331-eb70-4f8d-6d98-08dd980005b2>
68. <https://www.deswik.com/api/PublicMedia/00920f51-ca39-4c44-ae1f-08dd9800125b/download/Medium/2b805136-bb9b-4d30-6d9c-08dd980005b2>

69. <https://www.deswik.com/api/PublicMedia/99acad95-1368-48e8-ae23-08dd9800125b/download/Document/29235b13-7c51-45bb-6da6-08dd980005b2>
70. <https://www.deswik.com/api/PublicMedia/026a3d94-60a6-4d54-ae24-08dd9800125b/download/Document/84634515-53f2-438c-6da7-08dd980005b2>
71. <https://www.deswik.com/api/PublicMedia/4e5005f1-f607-409d-ae26-08dd9800125b/download/Document/3f17484b-8c83-4b86-6da9-08dd980005b2>
72. <https://www.deswik.com/api/PublicMedia/3a9a2a8e-0807-465c-ae25-08dd9800125b/download/Document/99f316d3-0069-45bc-6da8-08dd980005b2>
73. <https://www.deswik.com/api/PublicMedia/2e0bdb23-3c21-44ae-ae27-08dd9800125b/download/Document/7bb78738-c85b-4d53-6daa-08dd980005b2>
74. [<https://www.deswik.com/api/PublicMedia/238ad180-9346-4877-ae29-08dd9800125b/download/Document/d9a42494-3428-4955-6dac-08dd980005b2>]
75. <https://www.deswik.com/api/PublicMedia/fce147aa-cd5e-4436-ae2a-08dd9800125b/download/Document/921220c0-68db-4cbc-6dad-08dd980005b2>