

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

«Допущено до захисту»
Гарант ОПП

Валентин НАЗАРЕНКО

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання
освітньо-професійної програми
«Сучасні методи маркшейдерського забезпечення процесів
видобування корисних копалин»
за спеціальністю 184 Гірництво

**на тему: «Обґрунтування методики створення інтерактивного 3D
плану інфраструктури гірничого підприємства за результатами
маркшейдерських зйомок та перспективні напрямки його
впровадження»**

Керівник роботи



Ганна БРУЙ

Консультант від бази практики

Євген РАСВИЧ

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

Здобувач

Ігор КИРИЧЕНКО

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

Голова ЕК

Дмитро МІТЧЕНКО

Запоріжжя 2026

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет гірничо-металургійний
Кафедра гірничої справи
Ступінь вищої освіти магістр
Спеціальність 184 Гірництво
ОПП Сучасні методи маркшейдерського забезпечення процесів видобування корисних копалин

ЗАТВЕРДЖУЮ
Гарант ОПП

Валентин НАЗАРЕНКО
08.12.2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Кириченко Ігор Георгійович
(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи **«Обґрунтування методики створення інтерактивного 3D плану інфраструктури гірничого підприємства за результатами маркшейдерських зйомок та перспективні напрямки його впровадження»**

керівник роботи Бруй Ганна Валеріївна, к.т.н., доцент, доцент кафедри гірничої справи

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

затверджені наказом Університету від 10.09.2025р. №239/10.09.2025

2. Термін подання роботи 28.01.2026 р

3. Вихідні дані до роботи Нормативні документи з маркшейдерської справи, навчальна, наукова та методична література з спеціальних дисциплін, науково-дослідницькі роботи з тематики відкритої розробки родовищ, технологічні інструкції, дані ПРАТ «ІНГЗК» м. Кривий Ріг, результати власних експериментів та досліджень тощо.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань): Зміст. Перелік умовних скорочень. Анотація. Вступ. 1. Геологічна характеристика родовища (1.1 Загальні відомості про родовище; 1.2. Геологічна будова.) 2. Загальна характеристика Індулецького гірничо-збагачувального комбінату. 3. Гірничі роботи (3.1. Система розробки родовища та її параметри; 3.2. Технологія та організація гірничих робіт; 3.3. Буровибухові роботи; 3.4. Заходи для забезпечення охорони праці і промислової безпеки) 4. Маркшейдерські роботи (4.1. Методика маркшейдерського контролю геометричних елементів підіймальних установок шахти «Вентиляційна»; 4.1.1. Перевірка співвідношення геометричних елементів одноканатних підіймальних

установок; 4.1.2. Допустимі величини деформацій споруд баштового типу та точність їх визначення; 4.1.3. Методика контролю вертикальності шахтних копрів; 4.1.4. Обчислення координат полігонометричного ходу між центрами головного барабану підіймальної машини та шківів; 4.1.5. Визначення довжини струни каната та кутів девіації; Висновки; 4.2. Комплекс спеціальних маркшейдерських знімальних робіт конвеєрного обладнання та будівельних конструкцій; Висновки) 5. Обґрунтування методики створення інтерактивного 3d плану інфраструктури гірничого підприємства за результатами маркшейдерських зйомок та перспективні напрямки його впровадження (5.1. Розробка та впровадження інтерактивного 3D плану інфраструктури гірничого підприємства; 5.2. Автоматизація процесу щомісячного поповнення фактичної поверхні кар'єру; 5.3. Створення 3D моделі промислової будівлі з обладнанням. Промислові випробування лазерного сканера; 5.4. Розробка автоматизованої системи обробки та візуалізації об'ємів корисної копалини в закритих складах; 5.5. Аналіз факторів підвищення операційної ефективності гірничого підприємства за рахунок впровадження Інтерактивного 3D плану; 5.6. Розрахунки операційної ефективності впровадження інтерактивного 3D плану для умов Інгулецького ГЗК). Висновки. Перелік використаних джерел.

5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Розділ 1. Дев'ять рисунків. Розділ 3. Один рисунок. Розділ 4. Десять рисунків, чотири таблиці. Розділ 5. Двадцять рисунків. Результати розрахунків.

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

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
1	Доц. Бруй Г.В.
2	Доц. Бруй Г.В.
3	Доц. Бруй Г.В.
4	Доц. Бруй Г.В.

7. Дата видачі завдання 08.12.2025 р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1	08.12.25 – 14.12.25
2	Розділ 2	15.12.25 – 19.12.25
3	Розділ 3	20.12.25 – 24.12.25
4	Розділ 4	25.12.25 – 04.01.26
4	Розділ 5	05.01.26 – 18.01.26
45	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	18.01.26 – 21.01.26
6	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	22.01.26 – 24.01.26
7	Рецензування завершеної роботи. Захист	25.01.26 – 28.01.26

Здобувач

Ігор КИРИЧЕНКО

Керівник роботи



Ганна БРУЙ

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	7
ВСТУП	10
РОЗДІЛ 1. ГЕОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОДОВИЩА	13
1.1. Загальні відомості про родовище	13
1.2. Геологічна будова	17
РОЗДІЛ 2. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ІНГУЛЕЦЬКОГО ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНОГО КОМБІНАТУ.....	25
РОЗДІЛ 3. ГІРНИЧІ РОБОТИ.....	28
3.1. Система розробки родовища та її параметри	28
3.2. Технологія та організація гірничих робіт	29
3.3. Буровибухові роботи	30
3.4. Заходи для забезпечення охорони праці і промислової безпеки ..	31
РОЗДІЛ 4. МАРКШЕЙДЕРСЬКІ РОБОТИ	Ошибка! Закладка не определена.
4.1. Методика маркшейдерського контролю геометричних елементів підймальних установок шахти «Вентиляційна»	Ошибка! Закладка не определена.
4.1.1. Перевірка співвідношення геометричних елементів одноканатних підймальних установок	Ошибка! Закладка не определена.
4.1.2. Допустимі величини деформації споруд баштового типу та точність їх визначення	Ошибка! Закладка не определена.
4.1.3. Методика контролю вертикальності шахтних копрів.....	Ошибка! Закладка не определена.
4.1.4. Обчислення координат полігонометричного ходу між центрами головного барабану підймальної машини та шківів	Ошибка! Закладка не определена.

4.1.5. Визначення довжини струни каната та кутів девіації **Ошибка!**

Закладка не определена.

4.2. Комплекс спеціальних маркшейдерських знімальних робіт конвеєрного обладнання та будівельних конструкцій**Ошибка! Закладка**

не определена.

РОЗДІЛ 5. ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДИКИ СТВОРЕННЯ ІНТЕРАКТИВНОГО 3D ПЛАНУ ІНФРАСТРУКТУРИ ГІРНИЧОГО ПІДПРИЄМСТВА ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ МАРКШЕЙДЕРСЬКИХ ЗЙОМОК ТА ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ ЙОГО ВПРОВАДЖЕННЯ **Ошибка!**

Закладка не определена.

5.1. Розробка та впровадження інтерактивного 3D плану інфраструктури гірничого підприємства **Ошибка! Закладка не определена.**

5.2. Автоматизація процесу щомісячного поповнення фактичної поверхні кар'єру **Ошибка! Закладка не определена.**

5.3. Створення 3D моделі промислової будівлі з обладнанням. Промислові випробування лазерного сканера**Ошибка! Закладка не определена.**

5.4. Методика 3D моделювання за проектними даними **Ошибка! Закладка не определена.**

5.5. Розробка автоматизованої системи обробки та візуалізації об'ємів корисної копалини в закритих складах**Ошибка! Закладка не определена.**

5.6. Аналіз факторів підвищення операційної ефективності гірничого підприємства за рахунок впровадження Інтерактивного 3D плану **Ошибка! Закладка не определена.**

5.7. Розрахунки операційної ефективності впровадження інтерактивного 3D плану для умов Інгулецького ГЗК**Ошибка! Закладка не определена.**

ВИСНОВКИ 34

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 36

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ПРАТ ІНГЗК – приватне акціонерне товариство Інгuleцький гірничо-збагачувальний комбінат

РЗФ – рудозбагачувальна фабрика

ВГМУ – відділ головного маркшейдера Управління

ГІС К-MINE – географічна інформаційна система К-MINE

АРМ – автоматизоване робоче місце

БД – база даних

БпЛА – безпілотний літальний апарат

LiDAR – повітряний лазерний сканер

GNSS – глобальна система супутникової навігації

ЦМР – цифрова модель рельєфу

АНОТАЦІЯ

Кириченко Ігор Георгійович. ORCID ID: 0009-0009-0401-741X.
«ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДИКИ СТВОРЕННЯ ІНТЕРАКТИВНОГО 3D ПЛАНУ ІНФРАСТРУКТУРИ ГІРНИЧОГО ПІДПРИЄМСТВА ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ МАРКШЕЙДЕРСЬКИХ ЗЙОМОК ТА ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ ЙОГО ВПРОВАДЖЕННЯ» на прикладі ПРАТ ІНГЗК на базі ГІС K-MINE. – Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 184 Гірництво, ОПП «Сучасні методи маркшейдерського забезпечення процесів видобування корисних копалин» – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, 2026.

Сучасні гірничі підприємства стикаються з численними викликами, такими як складні геологічні умови, високі вимоги до екологічної безпеки, необхідність оптимізації витрат тощо. У таких умовах інтерактивний 3D план інфраструктури гірничого підприємства стає незамінним інструментом для управління виробництвом.

Метою цієї роботи є дослідження основних аспектів обґрунтування методики створення та перспективних напрямків впровадження у виробничий процес Інтерактивного 3D плану та його впливу на операційну ефективність гірничого підприємства. Розглянуто інноваційний підхід маркшейдерської служби до створення тривимірних моделей гірничодобувного комплексу, що є основою для інтерактивного планування.

Об'єкт дослідження – виробнича та інженерна інфраструктура Інгuleцького гірничо-збагачувального комбінату. Процес автоматизації маркшейдерських робіт, включаючи методику створення та впровадження інтерактивного 3D плану, що може значно покращити ефективність виробничих процесів гірничого підприємства.

Предмет дослідження – інноваційна методика створення Інтерактивного 3D плану та автоматизації: зокрема, нові технології та підходи до автоматизації маркшейдерських робіт, таких як використання БПЛА, лазерного сканування та геоінформаційних систем (ГІС), Технології створення тривимірних моделей гірничодобувного комплексу, використовуючи сучасні програмні пакети та інструменти.

В першому розділі надаються загальні відомості про Інгулецьке родовище та його геологічну будову.

В другому розділі розкривається загальна виробнича структура підприємства.

В розділі «Гірничі роботи» викладений опис системи розробки родовища, технології та організації гірничих робіт, в т.ч. буровибухових, а також заходів для забезпечення охорони праці і промислової безпеки.

Розділ «Маркшейдерські роботи» присвячений методології маркшейдерського контролю геометричних елементів підймальних установок шахти «Вентиляційна» цеху Дробильна фабрика та комплексу спеціальних маркшейдерських знімальних робіт конвеєрного обладнання та будівельних конструкцій надбункерної ділянки РЗФ-1.

В профільному розділі викладено методологію створення Інтерактивного 3D плану з прикладом покрокового моделювання рудозбагачувальної фабрики та запропоновано методи автоматизації маркшейдерських робіт, зокрема автоматизація обробки та візуалізації об'ємів корисної копалини в закритих складах. Виконано аналіз факторів, за рахунок яких очікується підвищення операційної ефективності роботи підприємства і проведено попередні розрахунки економії за умови впровадження Інтерактивного 3D плану.

Ключові слова: ГІРНИЧЕ ПІДПРИЄМСТВО, АВТОМАТИЗАЦІЯ МАРКШЕЙДЕРСЬКИХ РОБІТ, ІНТЕРАКТИВНИЙ 3D ПЛАН, ГЕОІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА (ГІС).

ВСТУП

Актуальність теми. Зростання витрат на видобуток, екологічні вимоги та необхідність підвищення продуктивності – це основні складні питання для пошуку рішень всіх сучасних гірничих підприємств. Інтерактивний 3D план інфраструктури гірничого підприємства: ПРАТ ІНГЗК є сучасним інструментом управління, за допомогою якого можливо ефективно планувати та контролювати виробничі процеси на гірничому підприємстві. Використання інтерактивних технологій у створенні 3D плану сприяє підвищенню точності та оперативності прийняття рішень. [1, 3, 5].

Інтерактивний 3D може бути використаний для оптимізації видобутку корисних копалин, планування та контролю виробничих процесів, підвищення безпеки на підприємстві, поліпшення екологічної ситуації, збереження достовірної інформації про фактичний стан виробничих об'єктів промислового майданчика: трубопроводів різного призначення (підземних, наземних, надземних), колодязів, ліній електромереж та зв'язку, будівель та споруд, транспортних комунікацій тощо. І це тільки невеликий перелік завдань, які вирішуються на його основі. Тривимірна візуалізація служить фундаментальним інструментом для розуміння та управління гірничими роботами [17, 18]. Дана робота має на меті дослідити етапи створення і впровадження Інтерактивного 3D плану як засобу підвищення операційної ефективності гірничих підприємств в умовах Інгuleцького ГЗК.

У численних дослідженнях [12, 13, 15, 19, 20] були розглянуті методи та додатки на основі географічної інформаційної системи (ГІС), які використовуються для вирішення завдань гірничих підприємств. Автори Y Choi, J Baek, S Park роблять висновок, щодо широких перспектив використання ГІС під час планування гірничих робіт та ефективної експлуатації підприємства [3].

Маркшейдерська служба відіграє ключову роль у створенні та впровадженні інтерактивного 3D плану. Вона забезпечує точні геодезичні дані, необхідні для моделювання та аналізу виробничих процесів. Завдяки використанню сучасних технологій, таких як комплекси БПЛА, 3D-сканування та геоінформаційні системи (ГІС) маркшейдери відображають не тільки реальний стан об'єктів інфраструктури, а й безпосередньо сам масив гірських порід. Це дозволяє оперативно вносити корективи в плани, реагуючи на зміни в умовах роботи. Тому тема кваліфікаційної роботи безумовно актуальна в реаліях сучасного гірничодобувного підприємства.

Метою цієї роботи є дослідження основних аспектів обґрунтування методики створення та перспективних напрямків впровадження у виробничий процес Інтерактивного 3D плану та його впливу на операційну ефективність гірничого підприємства. Розглянуто інноваційний підхід маркшейдерської служби до створення тривимірних моделей гірничодобувного комплексу, що є основою для інтерактивного планування.

Завдання роботи:

- провести аналіз сучасних методик і підходів до створення і впровадження електронного 3 генерального плану гірничого підприємства;
- дослідити діяльність маркшейдерської служби у процесі щомісячного поповнення фактичної поверхні кар'єру;
- розробити методику створення 3D моделі промислової будівлі;
- розробити методику 3D моделювання за проєктними даними;
- виконати аналіз факторів підвищення операційної ефективності гірничого підприємства за рахунок впровадження Інтерактивного 3D плану.

Об'єкт дослідження – виробнича та інженерна інфраструктура Інгулецького гірничо-збагачувального комбінату. Процес автоматизації

маркшейдерських робіт, включаючи методику створення та впровадження інтерактивного 3D плану, що може значно покращити ефективність виробничих процесів гірничого підприємства.

Предмет дослідження – інноваційна методика створення Інтерактивного 3D плану та автоматизації: зокрема, нові технології та підходи до автоматизації маркшейдерських робіт, таких як використання БПЛА, лазерного сканування та геоінформаційних систем (ГІС), Технології створення тривимірних моделей гірничодобувного комплексу, використовуючи сучасні програмні пакети та інструменти.

Структура і об'єм роботи. Кваліфікаційна робота складається з анотації, вступу, 5 розділів, які включають 40 рисунків і 5 таблиць, висновків, списку використаних джерел з 29 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 78 сторінок.

РОЗДІЛ 1. ГЕОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОДОВИЩА

1.1. Загальні відомості про родовище [22]

В адміністративному відношенні Інгулецьке родовище магнетитових кварцитів знаходиться у Криворізькому районі Дніпропетровській області, Інгулецькому районі м. Кривий Ріг (рис.1.1).



Рисунок 1.1 – Схематична карта району розташування родовища

Інгулецьке родовище магнетитових кварцитів розташоване в південній частині Криворізького басейну. Продуктивна товща його входить до складу вузької смуги метаморфічних порід, витягнутої в напрямі південь-північ на західному схилі долини річки Інгулець. [22]

Межами Інгулецького родовища є:

- на півдні – замикання горизонтів залізистих порід,
- на півночі – балка «Зелена»,
- на заході та сході – положення горизонтів залізистих кварцитів.

Загальна довжина родовища 5,3 км, ширина – від 0,5 до 1,3 км, площа – 286,3 га. [22]

Уздовж східної околиці родовища протікає річка Інгулець із середньою річною витратою 15-20 м³/сек. Річка пересікає територію Кривбасу майже в меридіональному напрямку. Зараз стік річки зрегульований греблями Карачунівського і Іскрівського водосховищ. В межах району Інгулецького родовища довжина річки складає приблизно 15 км. При спорудженні кар'єру ділянка русла р. Інгулець довжиною 1500 м була відведена на схід на відстань 400 м. Схили річних долин прорізани багаточисельними балками та ярами. В цілях гідрозахисту кар'єру ПРАТ «ІНГЗК» поверхневий стік вищеназваних балок був зрегульований рядом ставків. [22]

Рельєф поверхні, в основному, рівнинний з невеликими балками Скелювата, Березнегувата і Візирка зі слабким ухилом на південь.

В даний час рельєф родовища ускладнений кар'єрами, відвалами окислених і порожніх порід, зонами зрушення та іншими техногенними спорудами. Відмітки сучасного рельєфу коливаються від +75 м на півдні до + 140 м на півночі.

Родовище розробляється Інгулецьким гірничо-збагачувальним комбінатом з 1961 р.

Інгулецьке родовище магнетитових кварцитів розташоване у крайній південній частині Криворізького басейну, відноситься до його Лихманівського (Інгулецького) залізрудного району (рис. 1.2). [22]

За ступенем розвіданості та промислового освоєння на родовищі умовно виділено дві ділянки: південна і північна. Раніше до південної ділянки відносилась площа між південним замиканням синклінальної

складки і 90 м.о. (6 розвідувальний профіль рудника «Інгулець»), включаючи територію діючого кар'єру (ділянки 12 і 12 П). Північна ділянка займала площу між 6 і 49 розвідувальними профілями шахти «Центральна» колишнього рудника «Інгулець». [22]

У теперішній час межа південної ділянки збігається з межами ліцензійної площі (12 розвідувальний профіль шахти «Центральна»). Межа Північної ділянки – між 12 і 29 розвідувальними профілями шахти «Центральна» (Рис.1.3). Шахтами і кар'єрами колишнього рудника «Інгулець» розроблялися поклади багатих гематит-мартитових руд північної частини південної ділянки.

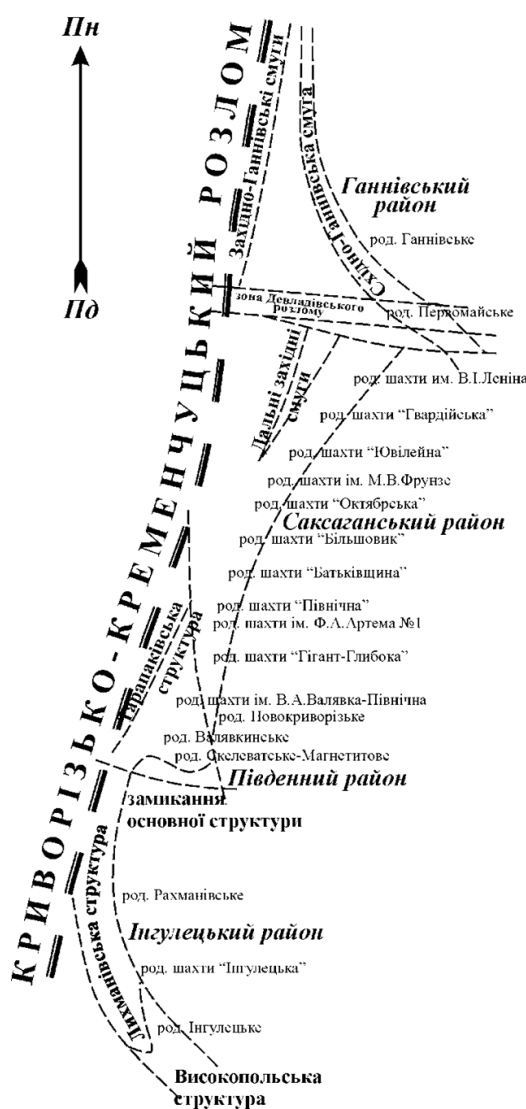


Рисунок 1.2 – Положення Інгулецького родовища в межах Криворізького басейну

Поверхня родовища мала спокійний рельєф з відмітками від 25,0 м до 91,6 м, нахилена на південь, з невеликими балками Скелювата і Березнегувата, що впадають в долину річки Інгулець, яка протікає уздовж східної границі родовища.

Проте в даний час рельєф родовища ускладнений кар'єрами, відвалами окислених і порожніх порід, зонами зрушення та іншими техногенними спорудами. Відмітки сучасного рельєфу коливаються від 75 м на півдні до 140 м на півночі. [22]

Клімат району помірно-континентальний, з короткою малосніжною зимою і тривалим жарким літом. Зима настає в другій половині листопада і триває до березня місяця, супроводжується частими відлигами.

Середньорічна температура ґрунту плюс 8°C. Середня глибина промерзання ґрунту 0,8-1,0 м.

Переважає напрямок вітрів в зимово-осінній період північно-східний, а в літній – північний. Середньорічна швидкість вітру 5-6 м/с.

У сейсмічному відношенні район родовища, згідно ДБН.В.1.1-12:2014, відноситься до 7 зони інтенсивності. [22]

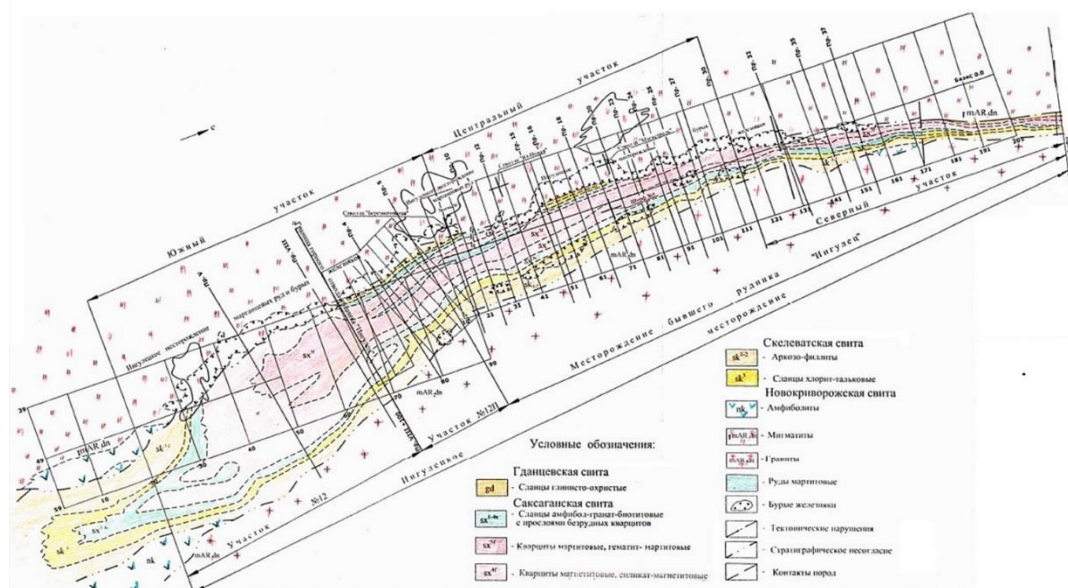


Рисунок 1.3 - Схематична геологічна карта Інгулецького родовища

1.2. Геологічна будова [22]

Інгулецьке родовище магнетитових кварцитів приурочене до замкової частини Лихманівської синкліналі. Замкова частина синкліналі на розрізах в межах родовища має коритоподібну форму. Східне крило синкліналі характеризується субмеридіональним простяганням, західним, часто зворотним падінням. Східне крило простежується далеко на північ, де воно стає одночасно західним крилом Тарапако-Лихманівської антикліналі. Західне крило синкліналі невтримане по простяганням. По західній границі Лихманівської синкліналі проходить Західний розлом, який на всьому простяганні, крім південної частини, зрізає її західне крило, і служить границею порід метаморфічного комплексу і розвинених на захід гранітів-мігматитів. [22]

У структурному відношенні родовище представляє собою синклінальну складку, ускладнену трьома поздовжніми розривними порушеннями. Західне крило синклінальної складки падає на схід під кутом $45-60^\circ$, східне – на захід під кутом $70-85^\circ$, шарнір занурюється на північний схід під кутом $18-20^\circ$. [22]

Крім того, характерною особливістю синкліналі є змінна потужність порід, що складають її. Західне крило синкліналі на всій протяжності має значно меншу потужність, ніж східне, що надає їй асиметричний характер (рис. 1.4-1.9). Загальне простягання синкліналі в цілому субмеридіальне, хоча на окремих ділянках характерні значні відхилення по широті. Так, на ділянці замикання простягання осьової поверхні – північно-західне, з азимутом падіння $65-75^\circ$, далі на північ простягання змінюється на меридіональне, а потім на північ – північно-східне, з азимутом падіння $285-290^\circ$. [22]

На півдні родовища (м.о. 30-48) синкліналь має відкритий характер, ширина в продуктивній товщі становить 1000 м і більше при

висоті складки 350-400 м; залягання порід субгоризонтальне, ускладнене дрібною складчастістю (рис. 1.5).

Далі на північ (м. о. 54-66) занурення шарніра складки різко збільшується, одночасно зі збільшенням висоти складки зменшується її ширина і на північ (м. о. 70-76). Лихманівська синкліналь набуває характеру вузької ізоклінальної складки, ширина якої в кілька разів менше її висоти (рис. 1.6-1.7). [22]

Зі зміною характеру складки змінюються і елементи залягання порід. Кути падіння різко збільшуються і в північній частині родовища вони досягають 75-80° (рис. 1.8-1.9).

Для порід Інгулецького родовища характерна дрібна складчастість. Переважно це складки волочіння та складки дисгармонійного зім'яття. [22]

За інтенсивністю розвитку дрібних складок, їх формою, напрямком занурювання складчастих структур в загальній структурі родовища виділяється декілька ділянок.

Східне крило синкліналі має загальне моноклінальне залягання, ускладнене дрібними складками та зонами зім'ятих порід. Складки та зони зім'ятих порід мають вигляд флексурних вигинів. Падіння порід західне під кутом 70-90°, місцями (північніше м.о. 54) перекинута східне. Ширина ділянки 350-450 м. [22]

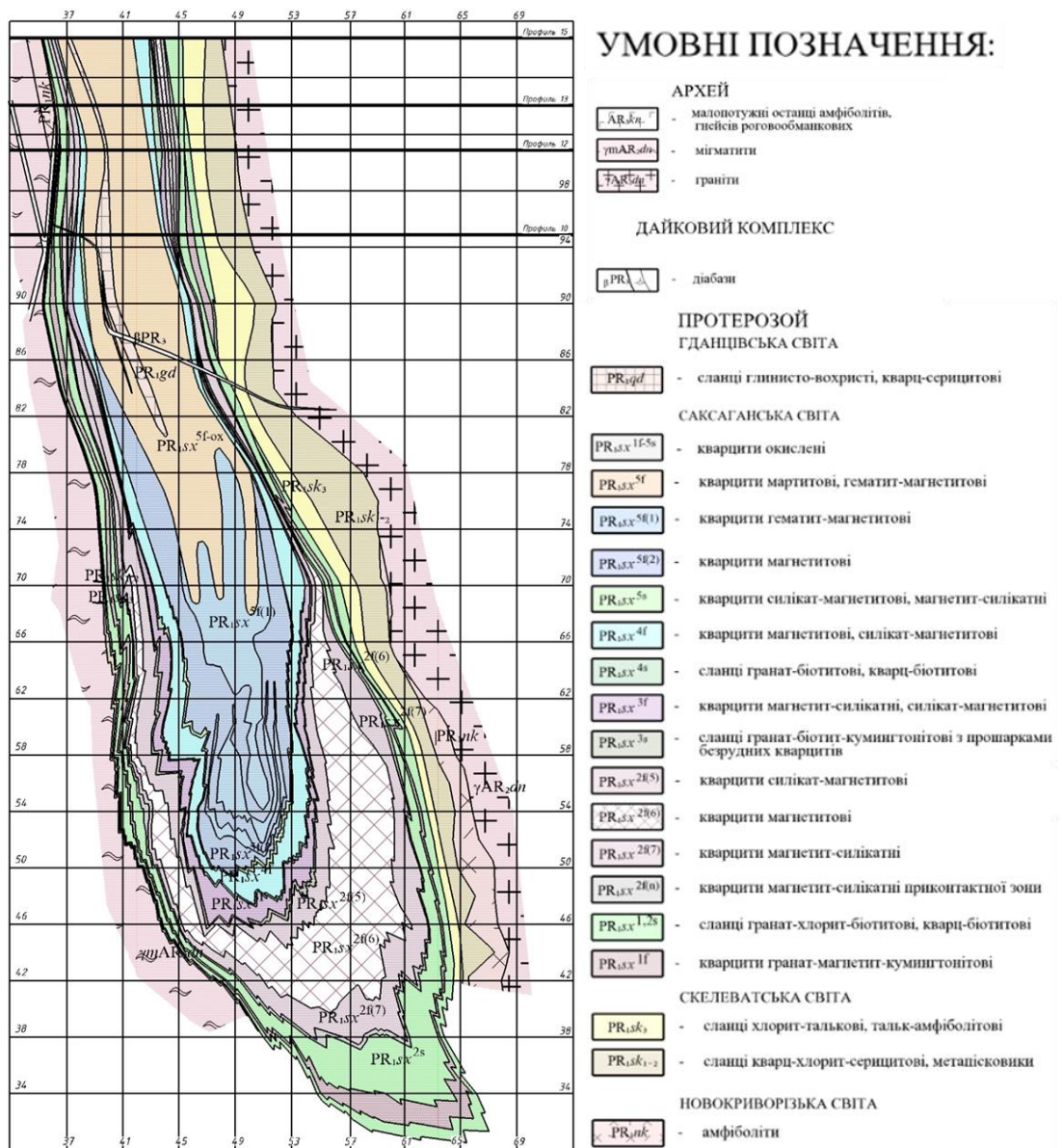


Рисунок 1.4. – Геолого-структурний план Інгулецького родовища

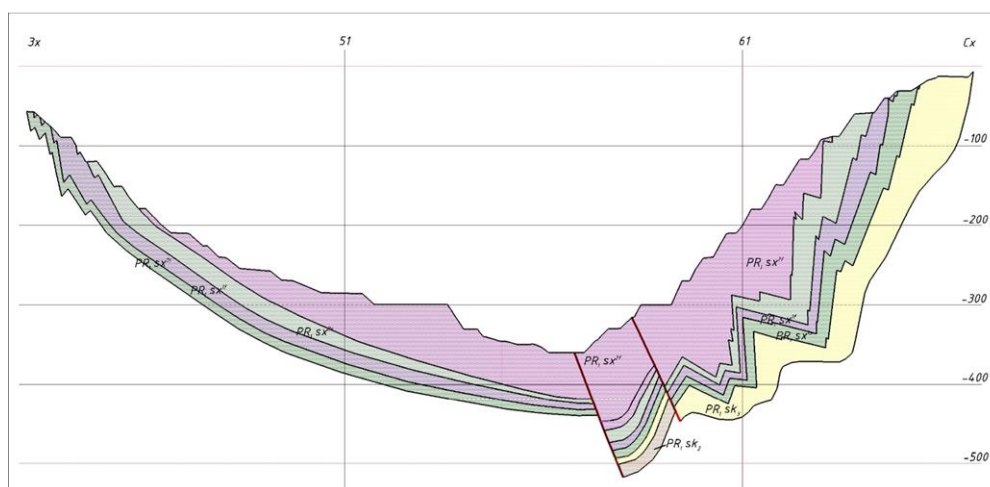


Рисунок 1.5. – Геолого-структурний розріз в м.о. 42.

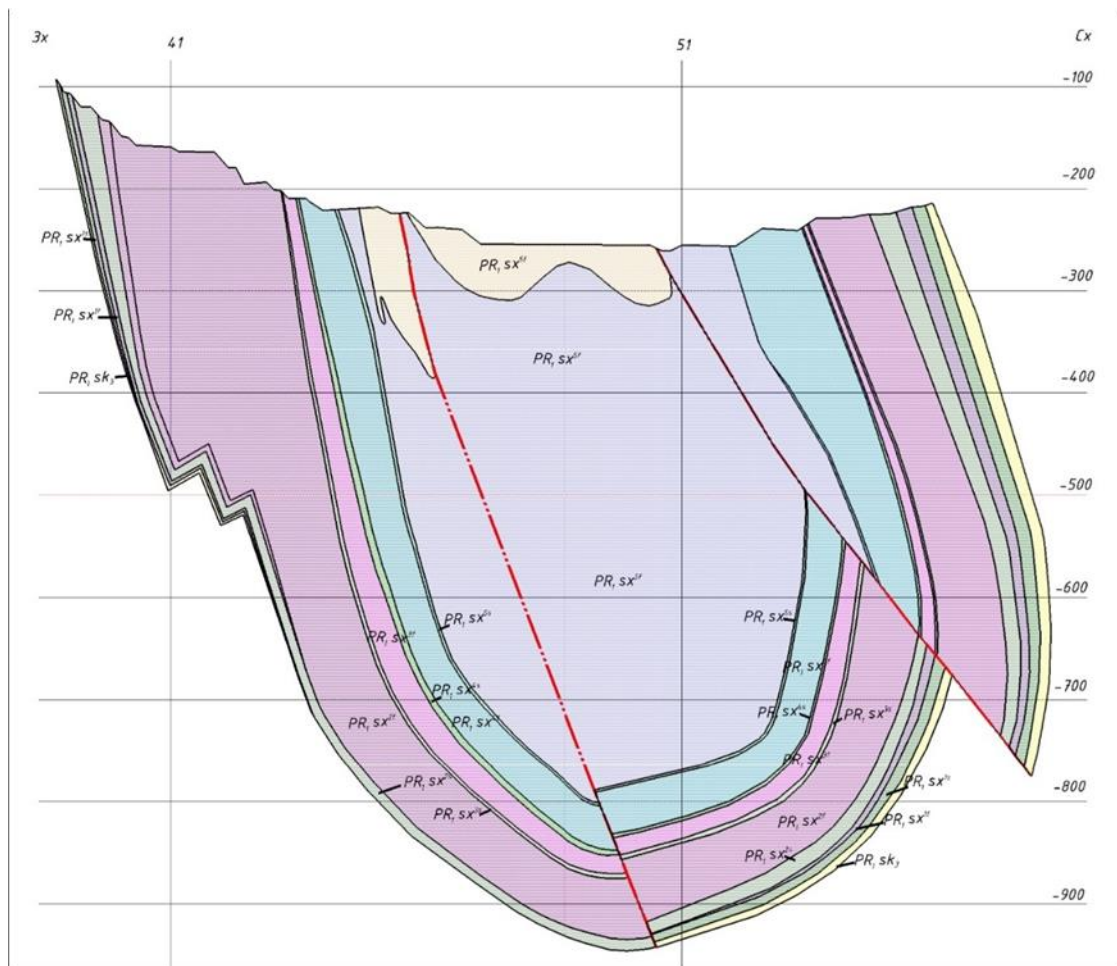


Рисунок 1.8 – Геолого-структурний розріз Інгулецького родовища в м.
о. 70

Замкова частина основної синкліналі представляє собою смугу шириною в 300-400м. Близьке до субгоризонтального залягання порід ускладнене інтенсивно розвинутою складчастістю більш високих порядків з близьким до горизонтального заляганням шарнірів. У загальному вигляді ця ділянка структури має коритоподібну форму. [22]

Західне крило синкліналі також має вид монокліналі з крутим північно-східним заляганням порід, яка також в значній мірі ускладнена дрібними асиметричними складками та рядом флексурних вигинів. Лінії вигинів у флексурах (як і шарніри дрібних складок) мають круте західне, північно-західне падіння. [22]

По простяганню основної синкліналі далі на північ, вона набуває форму все більш стиснутої складки, а шарнір її занурюється так швидко,

що вже в м.о. 72-76 спостерігаються притиснуті одне до одного протилежні крила складки. (рис. 1.9). Ядро складки представлено п'ятим залізистим горизонтом, потужність якого в декілька разів менша за глибину його занурювання в замку складки. [22]

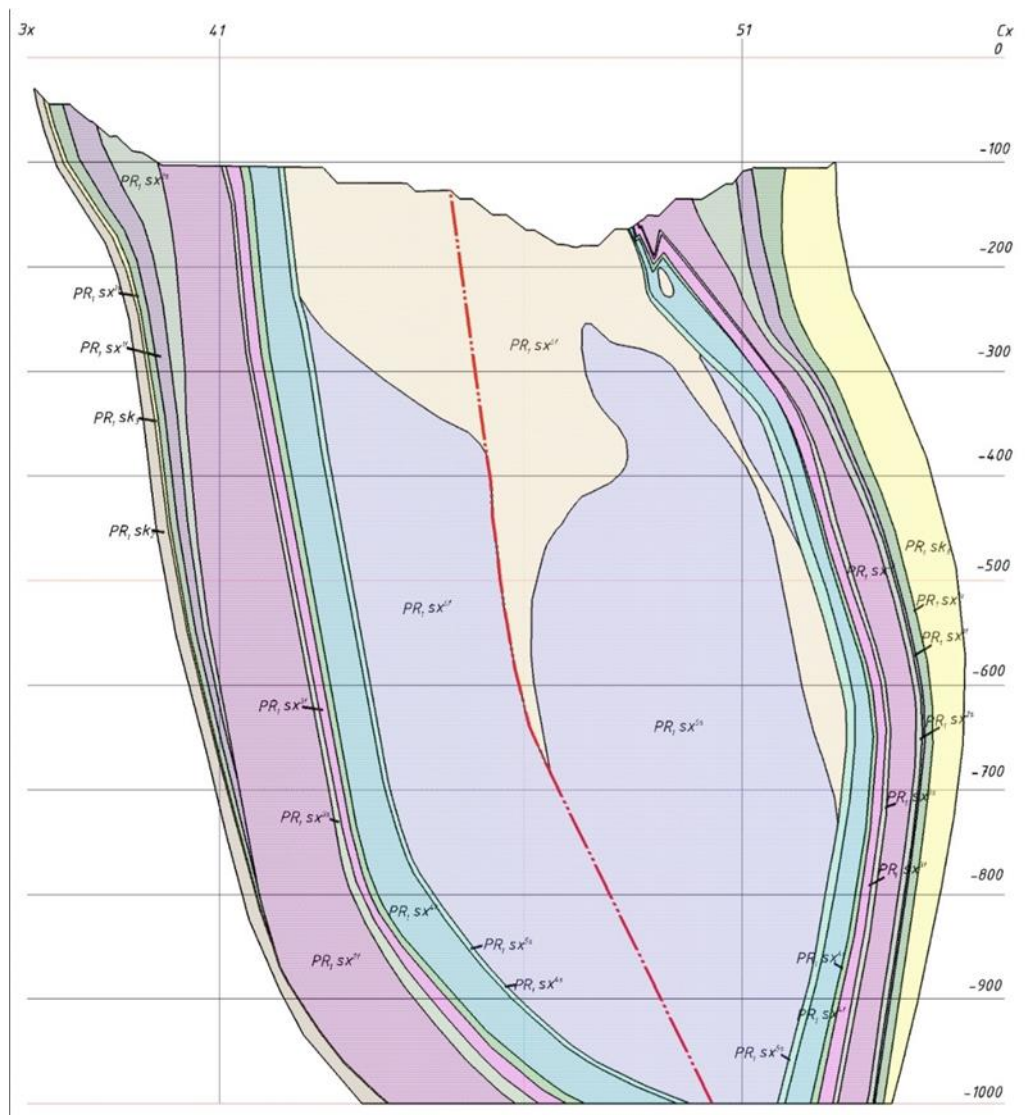


Рисунок 1.9 – Геолого-структурний розріз Інгулецького родовища в м.
о. 76

В межах Інгулецького родовища широко розповсюджені розривні порушення. Найбільш важливу роль відіграє Західний розлом, який відділяє породи криворізької серії від мігматитів, та декілька розривних порушень, що перетинають родовище з південного сходу на північний захід в субмеридіональному напрямі. Вони фіксуються багатьма

свердловинами, а Західний розлом розкритий гірничими виробками підземного конвеєрного комплексу та, частково, кар'єром Інгулецького ГЗК. [22]

Західний розлом представляє собою надзвичайно складну зону, в якій фіксується декілька площин розриву з блоками порід криворізької серії.

Катаклаз в зоні проявляється нерівномірно. Біля контакту з мігматитами, в подрібнених породах, серед дрібно-уламкової основної маси спостерігаються окремі крупні уламки мігматитів, розсланцьованих амфіболітів. На схід від контакту породи представлені, в основному, мілонітами, серед яких появляється значна кількість уламків слюдистих кварцитів, амфіболітів, кварц-серицитових сланців, в яких практично відсутні сліди катаклазу. Навпаки, присутні тут породи талькового складу інтенсивно перем'яті (особливо в лежачому боці) з утворенням мікроплойчатої структури. [22]

Зустрінуті в західному крилі родовища талькові породи, як правило, фіксують головну (шар'яжну) поверхню переміщення тектонічних крил.

Розривні порушення, що проходять через родовище в субмеридіональному напрямку, за своєю природою є частиною широкої сітки розривів, що оперяють Західний насув. Падіння розривів близьке до вертикального, з відхиленням на схід та північний схід. Розташовані кулісоподібно, вони поділяють родовище на ділянки з різною структурою, при цьому крила синкліналі знаходяться приблизно на одному рівні, а ядро складки зміщене відносно них як по вертикалі, так і по горизонталі. Вертикальні зміщення незначні і коливаються від 7-10 м до 30-40 м, горизонтальні – від 50 м до 250 м. [22]

Потужність зон розривних порушень коливається від 3-5 м до 20-25 м.

В межах Лихманівської синкліналі широко розповсюджені поперечні розриви. Частіше вони носять відкритий характер, проте на деяких ділянках у них розвиваються численні дрібні кварцові та кварц-карбонатні жили та прожилки. В межах Інгулецького родовища, через слабку вивченість, характер їх впливу на структуру родовища залишається неясним. [22]

Крім охарактеризованих вище розривних порушень, серед порід родовища широко розповсюджена тріщинуватість. Найбільше поширені тріщини кліважу.

У північній частині родовища утворилася зона зрушення порід, що сформувалася в результаті розробки шахтою «Центральна» покладів багатих залізних руд. Тут же знаходяться ділянки інтенсивно вилужених залізистих кварцитів п'ятого залізистого горизонту (PR1sx5f), які представлені дрібнолускуватим гематитом (залізна слюдка) і борошністим кварцом. Ділянки вилужених кварцитів мають низькі фізико-механічні властивості і при насиченні водою можуть мати пливунні властивості. [22]

В геологічному розрізі відзначаються площинна і лінійна кори вивітрювання, в яких відбуваються основні процеси окислення і дезінтеграції порід. Площинна кора вивітрювання в горизонтах залізистих кварцитів на деяких ділянках опускається до глибини 160 м, в сланцевих – до 50 м. Лінійна кора вивітрювання досягає 1500 м.

Осадкові відкладення, що покривають метаморфічні породи, потужністю від 10-15 м до 125 м, представлені пісками, глинами, суглинками, вапняками, лінзами бурих залізняків і оксидів марганцю. До теперішнього часу вони на більшій частині родовища відпрацьовані кар'єром. [22]

Вміщуючими породами для продуктивної товщі магнетитових залізистих кварцитів родовища є окислені залізисті кварцити, залізисто-силікатні сланці і дайка.

РОЗДІЛ 2. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ІНГУЛЕЦЬКОГО ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНОГО КОМБІНАТУ

Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат (ІНГЗК) є одним з провідних підприємств залізорудної промисловості України та входить до складу Групи Метінвест. Основною спеціалізацією комбінату є видобування та збагачення залізистих кварцитів відкритим способом в межах ліцензійної площі з подальшим виробництвом концентрату для металургійної галузі.

Попутно видобуваються із надр окислені (гематитові) кварцити, які складуються у відвали та дамбу шламосховища.

Виробнича структура підприємства характеризується значною територіальною протяжністю та складною конфігурацією об'єктів інфраструктури. До складу ІНГЗК входять кар'єр, відвали, хвостосховище, дробильна та рудозбагачувальні фабрики, транспортні комунікації, енергетичні та інженерні мережі, а також допоміжні виробничі й адміністративні будівлі.

У склад комбінату входять основні об'єкти: [22]

- ❖ Кар'єр з видобутку магнетитових залізистих кварцитів. Кар'єр, як структурна одиниця комбінату, складається з виробничих екскаваторних ділень, бурової ділень, ділень з ремонту електроустаткування, загальноцехової ділень, маркшейдерської та геологічної служби та служби нагляду за зсувом гірничих порід в кар'єрі та на відвалах.
- ❖ Цех технологічного автотранспорту, до складу якого входить дві технологічні автоколони (вантажопідйомність самоскидів 130-220 тонн), одна технологічна автоколони (вантажопідйомність самоскидів 30-45 тонн), автоколони спеціального автотранспорту, дорожня ділень з будівництва та ремонту доріг в кар'єрі, ділень внутрішньокар'єрного транспорту (тракторний парк). [22]

- ❖ Дробильна фабрика, що працює за 4-х стадійною схемою дроблення, оснащена дробарками крупного дроблення ККД-1500/180, дробарками КРД-700/100, дробарками середнього дроблення КСД-2200/400 і дробарками дрібного дроблення КМД-2200/600. [22]
Технологічний процес здійснюється по циклічно-поточній технології. Після дроблення руда крупністю 25-0 мм транспортується на РЗФ-1, крупністю 400-0 мм подається на РЗФ-2.
- ❖ Рудозбагачувальна фабрика №1 виробляє концентрат за трьохстадійною схемою кульового подрібнення на 10 секціях з попереднім збагаченням дрібно дробленої руди за технологією сухої магнітної сепарації (СМС). [22]
- ❖ Рудозбагачувальна фабрика №2 виробляє концентрат ММС за двохстадійною схемою повного рудного самоподрібнення. До РЗФ входить виробнича дільниця з магнітно-флотаційного збагачення концентрату. Для підвищення якості готової продукції концентрат ММС подається на комплекс магнітно-флотаційного збагачення. Вміст заліза в концентраті МФЗ не менше 66,5 % (згідно з технологічною інструкцією). Цех оснащено флотомашинами РІФ-25, контактним чаном КЧ-30, насосами LCC-R300, LCC-R200, LCC-M300, дешламаторами МД-9, вакуум-фільтрами ДОО-100, згущувачем СЦ 18. [22]
- ❖ Цех технічної води і шламового господарства (ЦТВШГ) забезпечує процес збагачення руди технічною водою, гідравлічне транспортування і складування відходів збагачення. Цех оснащено пульпонасосними станціями (ПНС), обладнаними землесосними агрегатами виробництва «Уралгідромаш» (Росія) марки 2ГРТ 8000/71 і високопродуктивними агрегатами виробництва США марки LHD-49 і HHD-76. [22]

Розчистка від шламів аварійної ємності, яка існує для технологічних та аварійних скидів пульпи для стабілізації роботи комбінату, здійснюється земснарядом «Гідромех 4000 Е». [22]

Стаціонарна насосна станція (СНС) забезпечує подачу необхідного для виробництва обсягу води. СНС обладнана насосами марки 24 НДС.

Для підтримання виробничої потужності комбінату з виробництва концентрату у липні 2007 р. введена в експлуатацію 2-а черга шламосховища («Західна карта»), що дозволяє укладати шлами збагачення, які утворюються під час виробництва концентрату. Заповнення нового шламосховища виконується за проектом паралельної роботи шламосховищ першої та другої черги. [22]

- ❖ Залізничний цех – виконує вивозку розкривних порід з кар'єру (дільниця кар'єрного транспорту) та відвантаження концентрату зі складу готової продукції і відправку його на станцію «Інгулець-Новий» (зовнішній транспорт). [22]

- ❖ Ритмічну роботу комбінату забезпечують допоміжні цехи:

Автотранспортний цех, Цех підготовки виробництва, Цех мереж і підстанцій та інші.

РОЗДІЛ 3. ГІРНИЧІ РОБОТИ

3.1. Система розробки родовища та її параметри [22]

Виходячи з гірничо-геологічних умов залягання корисної копалини, прийнята транспортна система розробки з розміщенням розкривних порід у зовнішні відвали (рис. 3.1).

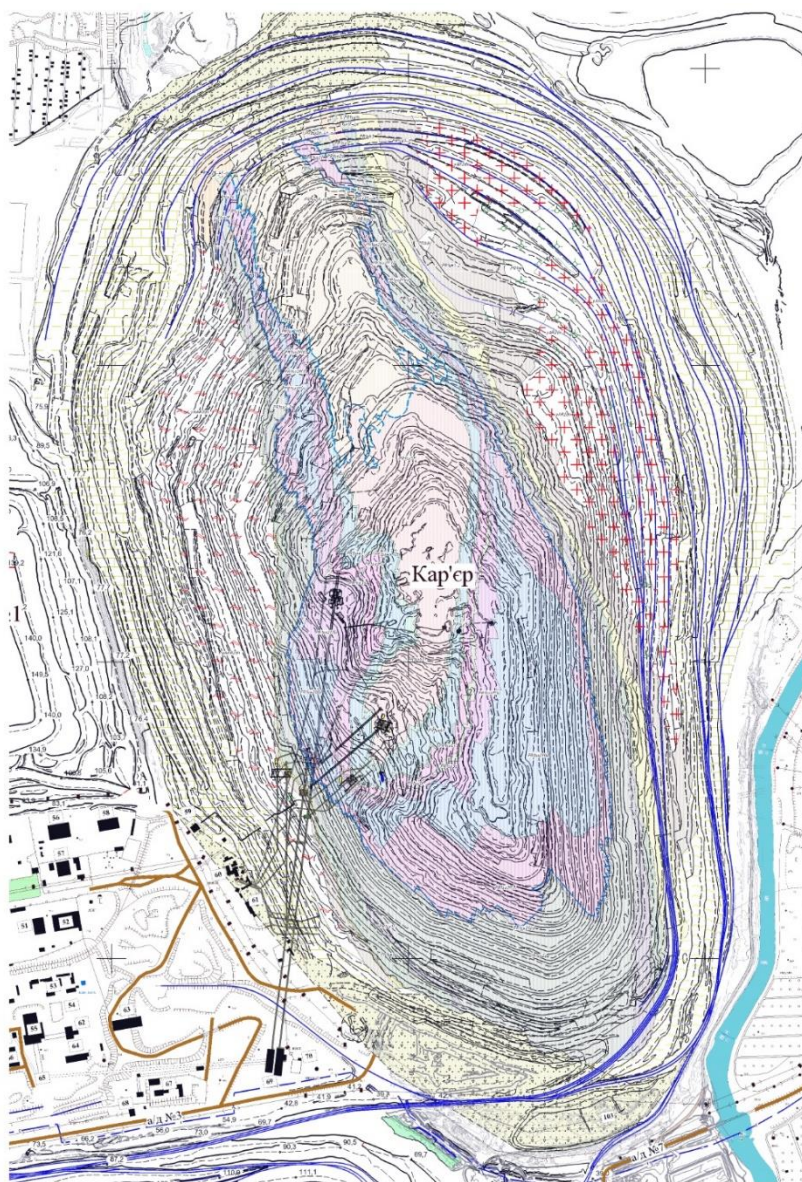


Рисунок 3.1 – Гіпсометричний план покладу корисної копалини, суміщений з планом гірничих робіт

В розробці знаходиться 35 горизонтів, з яких руда видобувається на 24 горизонтах (з гор. -60 м до гор. -420м).

Розкриття верхніх горизонтів (з гор. +80м до гор. + 0,0м) здійснюється безпосередньо в залізничний транспорт. Пухкі розкривні породи з західного та південно-східного борту кар'єру (починаючи с гор.+72м) та скельні розкривні породи (починаючи з гор.-15м) вивозяться автотранспортом на бульдозерний відвал №1 або перевантажувальні пункти, а звідти – електрифікованим залізничним транспортом по східному борту кар'єра на екскаваторний відвал №2, та на дамбу шламосховища для подальшого її будівництва. [22]

3.2. Технологія та організація гірничих робіт [21]

Рихлення скельних порід виконується буровибуховим способом. Буріння скельної гірничої маси здійснюється верстатами шарошечного буріння УСБШ-250А, верстатом шарошечного буріння «Ferdinand», СБШ-250МН, Atlas Copco Pit Viper 271 та Epiroc DM-75E.

Масові вибухи виконуються відповідно до узгодженого графіку.

Для екскавації гірничої маси в кар'єрі та на відвалах використовуються екскаватори ЕКГ з ємністю ковша 8, 10 та 12м³, фронтальний навантажувач САТ-993К та гідравлічні екскаватори Hitachi-2500, Hitachi-3600. [21]

У кар'єрі застосовується циклічно поточна технологія видобутку руди з використанням автомобільно-конвеєрного транспорту: руда із вибоїв технологічним автотранспортом доставляється на концентраційні горизонти -60м, -180м та на -300м, які оснащені дробарками крупного дроблення ККД-1500/180, звідки конвеєрами підземних трактів «Східний», «Західний» та подається на 2-у, 3-ю та 4-у стадії подрібнення.

Режим роботи в кар'єрі – цілорічний, при умові виконання масових вибухів (один раз на два тижні) 345 діб (690 змін). [21]

Основні технологічні процеси:

- підготовка гірських порід до виїмки (буріння та підривання);

- виймально - навантажувальні роботи;
- транспортування гірської маси;
- відвалоутворення та рекультивація.

Разом з основними технологічними процесами в кар'єрі виконуються допоміжні роботи:

- монтаж, демонтаж та переукладення залізничних колій;
- будівництво контактної мережі;
- дроблення негабаритів;
- навантаження скельних розкривних порід для нарощування дамби шламосховища;
- зачистка бурових блоків;
- будівництво, ремонт та підтримка автомобільних доріг та під'їздів до навантажувального обладнання. [21]

3.3. Буровибухові роботи [21]

Ведення вибухових робіт в кар'єрі регламентується розробленим спеціалістами комбінату і узгодженим зі спеціалізованим підприємством «Типовим проєктом буровибухових робіт в кар'єрі ПРАТ «ІНГЗК». На виконання вимог НПАОП 0.00-1.24-10 «Правил охорони праці під час розробки родовищ корисних копалин відкритим способом » та з урахуванням положень НПАОП 0.00-1.66-13 «Інструкції з безпечної організації та проведення МВ свердловинних зарядів на відкритих гірничих роботах». [21]

Підривання гірничої маси проводиться екологічно безпечною безтритиловою емульсійною вибуховою речовиною допущеною до використання на території України, або яка знаходиться у режимі іспитів.

Типовим проєктом передбачається вибухове подрібнення скельних гірничих порід (з коефіцієнтом міцності за шкалою професора М.М. Протод'яконова $f=4\div 20$) методом свердловинних зарядів з

використанням вертикальних (похилих) свердловин долотами діаметром 244 мм та 251 мм та повторне подрібнення негабаритних шматків гірничої маси. [21]

3.4. Заходи для забезпечення охорони праці і промислової безпеки [21]

Запилення і загазованість повітря вище за ПДК може мати локальний прояв в місцях скупчення автосамоскидів в траншеях, з'їздах і на нижніх горизонтах, розташованих в зонах зворотних потоків під час швидкості вітру на поверхні менше 1,0 м/с, а під час застосування засобів пилогазоподавлення - при швидкості вітру менше 0,5 м/с. Вірогідність настання таких періодів не перевищує 10-15%, тобто 35-50 днів на рік тривалістю не більше 2-х годин. В якості засобів пилоподавлення використовуються гідромонітори на базі автосамоскидів БілАЗ (зрошення екскаваторних вибоїв, перевантажувальних пунктів, автодоріг в кар'єрі і на відвалах) та система водного зрошення (під час ведення бурових робіт). [21]

Загальне забруднення атмосфери кар'єру у зв'язку з відсутністю тривалих штилів (більше 10 год.) незначне і необхідності в застосуванні загальнокар'єрної штучної вентиляції не має.

За наглядом стану відвалів і бортів кар'єру організована спеціальна служба за зсувом порід.

Для безпечної роботи автомобільного транспорту передбачається виконання наступних нормативних вимог:

- для запобігання скачуванню автомобілів під укіс влаштовується захисний вал з скельних порід, висота якого складає не менше 1/2 від висоти колеса розрахункового автомобіля; [21]
- план і поздовжній профіль автодоріг, ширина їх проїжджої частини, елементи земляного полотна і ширина узбіч запроектовані відповідно до вимоги норм технологічного проектування, СНіП

«Промисловий транспорт» і «Правил охорони праці під час розробки родовищ корисних копалини відкритим способом» (НПАОП 0.00-1.24-10);

- з метою запобігання обваленню гірничих порід під час руху автотранспорту при проектуванні з'їздів автомобілів з горизонту на горизонт і автодоріг по горизонтах враховується призма обвалення;
- передбачена установка стандартних дорожніх знаків на дорогах відповідно до діючих «Правил дорожнього руху»; [21]
- рух навантажених автосамоскидів до корпусу крупного дроблення і на перевантажувальні майданчики передбачено на підйом;
- перевезення людей в кар'єрі здійснюється спеціалізованим транспортом за маршрутами та в часи, затвердженими керівництвом комбінату.

На залізничному транспорті ширина колії, ухили залізничних колій, а також тип верхньої будови колій приймаються відповідно до Норм технологічного проектування, СНіП «Промисловий транспорт» і «Правил охорони праці під час розробки родовищ корисних копалини відкритим способом» (НПАОП 0.00-1.24-10).

Залізничні колії обладнані пристроями СЦБ і зв'язку, що забезпечують безпеку роботи. [21]

Аварійна ситуація в кар'єрі можлива під час зливових опадів. Для запобігання аварійним ситуаціям в цьому випадку водозбірною ємкістю для прийому зливових вод служить нижній горизонт (дно кар'єру). Відповідно до технології проведення гірничих робіт, прийнятої проектом, допустиме підтоплення нижнього горизонту, як вимушена необхідність, у зв'язку з відсутністю інших можливостей акумуляції зливових вод. Тимчасове припинення проведення гірничих робіт на нижньому горизонті на період відкачування зливових вод протягом 8-10 діб не відіб'ється на загальних обсягах видобутку руди. [21]

З метою запобігання розповсюдження пожежі, у разі її виникнення, розташування усіх промислових будівель і споруд, щодо один одного, виконано з дотриманням необхідних протипожежних розривів, забезпеченням під'їздів до будівель і проїздів між ними. Гірничотранспортне обладнання, робочі місця, будівлі та споруди обладнані первинними засобами пожежогасіння відповідно до нормативів. [21]

ВИСНОВКИ

Інтерактивний 3D план інфраструктури ІНГЗК є потужним інструментом для підвищення операційної ефективності гірничого підприємства. Маркшейдерська служба відіграє важливу роль у створенні та впровадженні цього інструменту, забезпечуючи точність та надійність даних.

В процесі досліджень розглянуто основні фактори, за рахунок яких можливо підвищення операційної ефективності роботи підприємства. Проведені розрахунки доводять суттєву економію коштів за умови використання інтерактивного 3D плану.

Аналіз впровадження Інтерактивного 3D плану Інгuleцького ГЗК вказує на можливість скорочення бюджетних коштів на проведення ремонтних та відновлювальних робіт для будівель та споруд, зниження ризиків аварійних ситуацій, пов'язаних із неузгодженими діями інженерних служб, а також зниження витрат на відновлювальні роботи. Наведені розрахунки демонструють економічний ефект від впровадження.

Окрім розглянутих факторів, впровадження Інтерактивного 3D плану дозволить:

- забезпечити актуальною та найбільш повною інформацією про об'єкти інфраструктури підприємства;
- миттєво отримувати необхідні відомості;
- прискорити процеси виконання проектно-конструкторських та ремонтно-будівельних робіт завдяки зниженню трудовитрат та часу на підготовку документації;
- забезпечити безпечне зберігання даних про інфраструктуру підприємства з розмежуванням прав доступу та контролем дій користувачів.

Розроблена методика 3D моделювання промислових будівель, споруд, обладнання, комунікацій тощо за допомогою інструментів ГІС K-MINE по даним проєктної документації дозволить швидко отримувати готові моделі для інтеграції в загальний інтерактивний 3D план інфраструктури підприємства.

Для успішного виконання робіт, пов'язаних з обробкою «хмар» точок даних лазерного сканування та створення точних текстурованих тривимірних моделей необхідно мати більш потужну обчислювальну техніку та спеціальне програмне забезпечення.

Запропонована методика автоматизованої системи обробки та візуалізації об'ємів корисної копалини в закритих складах дозволяє суттєво економити час. Проведені порівняння зі звичайним методом окремого введення даних в ГІС складе 0,5 години на кожен склад – зменшення часу близько 20% . На прикладі ПРАТ ІНГЗК загальна економія по п'яти складам складе 2,5 години. І це лише за рахунок введення даних в систему, без урахування робіт з побудови перерізів та візуалізації результатів знімання.

Впровадження методики автоматизованої системи обробки та візуалізації об'ємів корисної копалини в закритих складах дозволить за допомогою ГІС додатково контролювати залишки готової продукції, порівнювати різні положення складу по датам; поліпшувати, корегувати завантаження та вивантаження продукції; більш точно планувати виробництво; оперативно готувати звітні документи в повному обсязі згідно вимог нормативних документів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бруй Г.В., Кириченко І.Г. Інтерактивний генеральний план - як інструмент підвищення операційної ефективності гірничого підприємства. *International scientific conference "MININGMETALTECH 2024 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education"* : conference proceedings (November 28–29, 2024. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia : "Baltija Publishing", 2024. Vol. 1. P. 262-265. DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-87>
2. Бруй Г.В., Кириченко І.Г. Просторове моделювання у реальному часі об'єктів маркшейдерської зйомки гірничого підприємства. *Науковий Журнал Метінвест Політехніки. Серія: Технічні науки*, № 3, 2025, 210-215 с. DOI <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2025-3-28> .
3. Бруй Г.В., Кириченко І.Г. Розробка та впровадження інтерактивного генерального 3D плану для підвищення ефективності роботи гірничого підприємства. *Міжнародний форум «Безпечна, комфортна, спроможна, територіальна громада» - 2024*: матеріали міжнар. конф., 16-18 жовтня 2024 р., м. Дніпро. – Д.: НТУ «Дніпровська політехніка», 2024. – 53-55 с.
4. Г.І. Рудько, М. В. Назаренко Геоінформаційні технології в надрокористуванні: на прикладі ГІС K-MINE : монографія. К.: "Академпрес", 2011. 336 с.
5. Кириченко І.Г., Бруй Г.В. Маркшейдерсько-геодезичний супровід розробки інтерактивного генерального 3d плану гірничого підприємства. *«Молодь: наука та інновації» 2024: матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених*, Дніпро, 13–15 листопада 2024 року (у 3-х томах) / Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» – Дніпро : НТУ «ДП», 2024. Том 1. стор. 212-213.

6. Комплексні рішення для гірничодобувної промисловості. URL: <https://k-mine.com/wp-content/uploads/2023/01/uaModules2023.pdf> (дата звернення: 04.12.2024).

7. Навігаційно-геодезичний центр : Leica Geosystems : веб-сайт. URL: <https://ngc.com.ua/ua/index.html> (дата звернення: 11.03.2025).

8. НПАОН 74.2-5.02-00. Маркшейдерські роботи на вугільних шахтах та розрізах. Інструкція (КД 12.06.203-2000). [Чинний від 2001-07-01]. Вид. офіц. Донецьк : ТОВ “АЛАН”, 2001. 264 с.

9. НПАОН 74.2-1.07-21. Правила виконання маркшейдерських робіт під час розробки родовищ рудних та нерудних корисних копалин. [Чинний від 2021-03-31]. Вид. офіц. Дніпро. 2021. 292 с.

10. Технічна документація лазерних далекомірів Hilti PD-E <https://www.hilti.ua/content/hilti/EE/UA/uk/op-man.html/2068384/uk>

11. Тимошенко Д.О., Кухар В.В., Воловненко І.В. Порівняння енергоспоживання при виробництві сталі застарілими аглодоменим та мартенівським переділами із сучасною технологією прямого відновлення заліза Midrex H2 та виплавою в дуговій сталеплавильній печі. *Науковий Журнал Метінвест Політехніки. Серія: Технічні науки*, № 2, 2024, 49-54 с. DOI: <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2024-2-8>

12. A.M. Lechner, B. Devi, A. Schleger, G. Brown, P. McKenna, S.H. Ali, S. Rachmat, M. Syukril, P. Rogers. A Socio-Ecological Approach to GIS Least-Cost Modelling for Regional Mining Infrastructure Planning: A Case Study from South-East Sulawesi, Indonesia. *Resources*. 2017. № 6, 7.

13. B. Park, Y. Choi, H.S. Park. Creation of Vector Network Data with Considering Terrain Gradient for Analyzing Optimal Haulage Routes of Dump Trucks in Open Pit Mines. *Tunn. Undergr. Space*. 2013. № 23. P. 353–361.

14. Calin Boje, Annie Guerriero, Sylvain Kubicki, Yacine Rezgui. Towards a semantic Construction Digital Twin: Directions for future research *Automation in Construction*. 2020. Vol. 114. 103179. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103179>

15. K. Sprague, E. de Kemp, W. Wong, J. McGaughey, G. Perron, T. Barrie. Spatial targeting using queries in a 3-D GIS environment with application to mineral exploration. *Comput. Geosci.* 2006. № 32. P. 396–418.
16. P. Pauwels, S. Zhang, Y.-C. Lee. Semantic web technologies in AEC industry: a literature overview. *Autom. Constr.* 2017. № 73. P. 145-165. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.10.003>
17. Quansheng Liu, Xinyu Wang, Xing Huang, Xin Yin. Prediction model of rock mass class using classification and regression tree integrated AdaBoost algorithm based on TBM driving data. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2020. Vol. 106. 103595. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2020.103595>
18. R. Liang, C. Zhang, B. Li, S. Saydam, I. Canbulat. Data-driven visual model development and 3D visual analytics framework for underground mining. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2024. Vol. 153. 106054. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2024.106054>
19. Xueqin Liao, Wei Li, Jinxiang Hou. Application of GIS Based Ecological Vulnerability Evaluation in Environmental Impact Assessment of Master Plan of Coal Mining Area, *Procedia Environmental Sciences*. 2013. Vol. 18. P. 271-276. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2013.04.035>
20. Y. Choi, J. Baek, S. Park. Review of GIS-Based Applications for Mining: Planning, Operation, and Environmental Management. *Appl. Sci.* 2020. № 10(7). 2266. DOI: <https://doi.org/10.3390/app10072266>
21. Пояснювальна записка до плану розвитку гірничих робіт. ПРАТ «ІНГЗК». 2025, Кривий Ріг
22. «Будівництво об'єктів обслуговування для відпрацювання Інгулецького родовища з розширенням кар'єру ПРАТ «ІНГЗК» в межах ліцензійної площі. Проект. Геолого-промислова характеристика родовища. ТОМ 2.3 Пояснювальна записка. ПП «КАІ» 2024, Кривий Ріг.

23. Річний звіт по виконаних роботах «Виконання спеціальних маркшейдерських робіт щодо забезпечення безпечної експлуатації гірничотехнічних об'єктів ПРАТ «ІНГЗК». ТОВ «Гірничопромисловий та будівельний інжиніринг», Кривий ріг, 2024.

24. Кириченко І. Г., Бруй Г. В. Багаторівневий контроль стану транспортних та інженерних мереж у реальному часі на базі ГІС K-MINE Start in Science: студентська науково-технічна конференція : збірник тез і анотацій наукових доповідей. – Одеса : Олді+, 2025. – С. 108-112.

25. НПАОП 0.00-1.77-16. Правила безпеки під час розробки родовищ рудних та нерудних корисних копалин підземним способом. [Чинний від 2016-12-23]. Вид. офіц. Київ : Норматив, 2016. 178 с.

26. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування /Мінрегіонбуд України. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 86 с.

27. ДСТУ 101.00159226.001 – 2003. Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом. [Чинний від 2003-11-28]. Вид. офіц. Київ, 2004. 128 с.

28. ДБН В.1.3-2:2010. Геодезичні роботи у будівництві /Мінрегіонбуд України. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 70 с.

29. ДБН В.1.2-14-2009 Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ /Мінрегіонбуд України. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 30 с.