

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

ННІ/факультет	Навчально-науковий технологічний інститут
Кафедра	Хімічних технологій та інженерії
Спеціальність	184 Гірництво
Форма навчання	денна

КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Шинкарьов Ярослав Олександрович

на тему Удосконалення параметрів буропідричних робіт в умовах
ПрАТ «ІнГЗК»

за матеріалами ПрАТ «ІнГЗК»

науковий керівник PhD _____ Тіхлівець С.В.
(підпис)

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри
від 12.06.2026 р. №16

Завідувач кафедри

(підпис)

к.т.н., доцент

К.О. Шмельцер

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ
Кафедра Хімічних технологій та інженерії

Рівень вищої освіти бакалавр
Спеціальність 184 Гірництво
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри Хімічних технологій та інженерії

(підпис)
« 06 » квітня 2026 року

доцент, к.т.н.
Шмельцер К.О.
(посада, вчене звання ,
прізвище, ініціали)

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Шинкарьов Ярослав Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра Удосконалення параметрів буропідричних робіт в умовах ПрАТ «ІнГЗК»
керівник кваліфікаційної роботи бакалавра Тіхлівець Сергій Вадимович, PhD,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу №229-ст від «6» квітня 2026 р.
2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи до кафедри 01.06.2026
3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи бакалавра Річні звіти про управління та техніко-економічні показники діяльності ПрАТ «ПівнГЗК» за 2022-06.2024 роки Проект розробки родовища, яке експлуатується Інгупецьким кар'єром ПрАТ «ІнГЗК»
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
 - 4.1 Аналітична частина: Сучасний стан відкритих гірничих робіт в Україні та світі. Характеристика технологій видобутку та транспортування гірничої маси. Технологічні тенденції розвитку відкритих гірничих робіт. Інформація про гірничодобувне підприємство ПрАТ «ІнГЗК». Геологічна будова обраного родовища корисних копалин. Фізико-механічні властивості гірських порід. Гідрогеологічні та кліматичні умови розробки родовища. Гірничо-технічна характеристика
 - 4.2 Основна частина: Розрахунок технологічних параметрів умовного кар'єру згідно даних свого варіанту.
 - 4.3 Екологічні аспекти та охорона праці
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Завданням графічний матеріал не передбачений

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 Аналітична частина	Тіхлівець С.В., PhD		
2 Основна частина	Тіхлівець С.В., PhD		

7. Дата видачі завдання «6» квітня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	12.05.2026	
2.	Основна частина	26.05.2026	
3.	Оформлення пояснювальної записки	30.05.2026	
4.	Подання роботи до кафедри	01.06.2026	
5.	Захист роботи в ЕК	18.06.2026	

Здобувач

(підпис)

Шинкарьов Я.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Тіхлівець С.В.
(прізвище та ініціали)

*Примітка. Бланк друкується з обох сторін на одному аркуші

[illegible]

АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної бакалаврської роботи за ОП Гірництво: 124 стор., 31 літ. джерел.

Кваліфікаційна бакалаврська робота присвячена дослідженню та удосконаленню параметрів буропідричних робіт в умовах кар'єру ПрАТ «ІнГЗК» при відкритій розробці залізорудного родовища. Актуальність теми зумовлена необхідністю підвищення ефективності дроблення гірських порід вибухом, зниження виходу негабариту та оптимізації витрат енергії на подальші етапи руйнування та навантаження гірничої маси.

Метою роботи є удосконалення технологічних параметрів буропідричних робіт на кар'єрі ПрАТ «ІнГЗК» шляхом обґрунтування раціональної сітки свердловин, типу вибухових речовин та схеми ініціювання зарядів для забезпечення заданої якості дроблення та підвищення продуктивності екскаваторно-автотранспортного комплексу.

Об'єктом розробки є технологічний процес буропідричних робіт при відкритій розробці залізорудного родовища в гірничо-технічних умовах ПрАТ «ІнГЗК».

В аналітичній частині розглянуто сучасний стан буропідричних робіт на підприємстві, проаналізовано існуючі методи руйнування гірських порід та фактори, що впливають на якість дроблення. Детально наведено гірничо-геологічну характеристику родовища, фізико-механічні властивості порід, що підлягають вибуховій підготовці, та основні техніко-економічні показники діючих схем ведення підричних робіт.

В основній частині виконано комплексний інженерний розрахунок параметрів буропідричних робіт. Проведено порівняльний аналіз варіантів розташування свердловин та типів вибухових матеріалів, за результатами якого обґрунтовано доцільність впровадження нових технологічних рішень для покращення гранулометричного складу гірничої маси. Також розглянуто питання промислової безпеки при поводженні з вибуховими матеріалами,

заходи з охорони праці та мінімізації негативного впливу вибухів на навколишнє середовище.

У висновках узагальнено результати проектування та наведено рекомендації щодо оптимізації буропідричних робіт для підвищення техніко-економічних показників діяльності кар'єру.

Ключові слова: відкриті гірничі роботи, буропідричні роботи, ПрАТ «ІнГЗК», якість дроблення, свердловина, вибухові речовини, гірнича маса.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	12
1.1 Сучасний стан відкритих гірничих робіт в Україні та світі	12
1.2 Характеристика технологій видобутку та транспортування гірничої маси	10
1.3 Проблеми та тенденції розвитку відкритих гірничих робіт з аналізом сучасних наукових джерел та характеристикою підприємства ПРАТ «ІнГЗК»	17
1.4 Геологічна будова Інгuleцького родовища корисних копалин	32
1.4.1 Загальна характеристика родовища	32
1.4.2 Інженерно-геологічна характеристика Інгuleцького родовища	35
1.4.3 Стратиграфія родовища	37
1.4.4 Тектоніка родовища	38
1.4.5 Гідрогеологічні умови	39
1.4.6 Деформаційні процеси на ІнГЗК	40
1.5 Міцнісні властивості гірських порід Інгuleцького родовища корисних	43
1.5.1 Загальна характеристика фізико-механічних властивостей масиву	45
1.5.2 Міцність та тривкість гірських порід	46
1.5.3 Тріщинуватість масиву	46
1.5.4 Абразивність порід	47
1.5.5 Вибухові властивості порід та обґрунтування БВР	47
1.6 Гідрогеологічні та кліматичні умови розробки Інгuleцького родовища	49
1.6.1 Загальна характеристика природних умов району	49
1.6.2 Кліматичні умови району розробки	50
1.6.3 Гідрогеологічні умови родовища	51
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА: Розрахунок технологічних параметрів кар'єру ПРАТ «ІнГЗК»	54
2.1 Загальна організація відкритих гірничих робіт	54
2.2 Розкриття та система розробки родовища	60
2.2.1 Розкриття родовища	60
2.2.2 Обґрунтування способу розкриття в умовах ПРАТ «ІнГЗК»	60
2.3 Вибір та обґрунтування схеми розкриття родовища	61
2.3.1. Параметри розкривних виробок	62
2.3.2 Траса капітальних траншей	66

2.3.3. Параметри горизонтальних площадок на неробочих бортах кар'єру	70
2.4.3 Обґрунтування структури мінімальної ширини робочого майданчика	71
2.3 Підготовка гірських порід до виймання	74
2.4 Виймально-навантажувальні роботи	85
2.5 Транспортування кар'єрних вантажів	87
2.6 Відвалоутворення розкривних порід	91
2.7 Екологічна рекультивація територій, порушених відкритими гірничими	92
2.7.1 Сучасний стан та техногенний вплив кар'єрних полів на довкілля	92
2.7.2 Технологія зняття, складування та нанесення родючого шару	93
2.7.3 Агротехнічні та біологічні напрямки рекультивації	94
3 ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ	96
3.1 Основні екологічні проблеми при відкритій розробці родовища корисних копалин	96
3.2 Технологічні заходи для охорони довкілля на Інгулецькому родовищі	101
3.3 Система протиаварійного захисту і безпека праці на кар'єрі	109
3.4 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів на відкритих гірничих роботах	111
3.5 Технічні та організаційні заходи безпеки	115
3.6 Пожежна безпека і заходи цивільного захисту	116
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	119
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	121

ВСТУП

Ефективність роботи гірничо-збагачувального комбінату безпосередньо залежить від першої технологічної ланки - буровибухових робіт (БВР). У період 2022-2026 років залізорудна галузь України зіткнулася з проблемами: розривом логістичних ланцюжків, дефіцитом класичних вибухових матеріалів та жорсткою економією енергоресурсів. У цих умовах ПрАТ «ІнГЗК» змушене оптимізувати собівартість видобутку за збереження високої якості дроблення гірничої маси. Більше того, за останні чотири роки стан кар'єрів в Україні суттєво змінився: глибина розробки збільшилася, масиви стали більш обводненими та складно структурними, а близькість відвалів та зон, що охороняються, вимагає суворого контролю сейсмічного впливу. Удосконалення параметрів БВР на Інгuleцькому ГЗК дозволяє не лише знизити витрати на екскавацію та подрібнення, а й забезпечити стабільність бортів кар'єру, що критично важливо для безпеки та живучості гірничодобувних підприємств країни у нинішній кризовий період.

Мета роботи - обґрунтувати та оптимізувати технологічні параметри буропідричних робіт у кар'єрі ПрАТ «ІнГЗК» для підвищення якості дроблення гірничої маси та зниження собівартості видобутку за одночасного забезпечення стійкості бортів кар'єру в сучасних умовах (2022-2026 роки).

Основні завдання роботи: проаналізувати гірничо-геологічні умови кар'єру ІнГЗК та виявити основні фактори, що знижують ефективність існуючих параметрів БВР. Оцінити вплив сучасних кризових змін (2022-2026 років) на стан приконтурного масиву та загальні показники видобутку у залізорудних кар'єрах України. Виконати розрахунково-теоретичне обґрунтування нових параметрів (зміна сітки свердловин, конструкції заряду та схем коротко сповільненого підривання). Оцінити економічний ефект від запровадження удосконалених параметрів та їх вплив на безпеку ведення гірничих робіт.

Об'єкт дослідження - технологічний процес буровибухових робіт в

умовах глибокого кар'єру ПрАТ «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат»

Предмет дослідження - параметри буровибухових робіт (сітка свердловин, питома витрата та конструкція заряду вибухових речовин, інтервали уповільнення), що визначають якість дроблення різноміцних порід та стійкість приконтурного масиву.

Методи дослідження. Техніко-економічний та статистичний аналіз роботи кар'єру за період 2022-2026 років; аналітичне моделювання процесів руйнування гірських порід під час вибуху; дослідно-промислові випробування змінених параметрів БВР безпосередньо в забавах кар'єру з подальшою оцінкою гранулометричного складу підірваної маси.

Практична цінність роботи полягає у впровадженні оптимізованих параметрів вибуху на ПрАТ «ІнГЗК», які знижують собівартість видобутку, покращують якість дроблення руди та зберігають стійкість бортів кар'єру у сучасних кризових умовах

Структура роботи. Випускна кваліфікаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків.

У першому розділі виконано аналітичний огляд сучасних тенденцій розвитку БВР, надано розгорнуту характеристику ПрАТ «ІнГЗК», а також детально описано гірничо-геологічні та гірничо-технічні умови розробки Інгулецького родовища в період 2022-2026 років.

У другому розділі проведено розрахунок базових параметрів технологічних процесів кар'єру (підготовки, навантаження, транспортування руди та відвалоутворення), на основі яких виконано розрахунково-теоретичне обґрунтування вдосконалених параметрів буропідбивних робіт для умов ПрАТ «ІнГЗК».

У третьому розділі досліджено питання екологічної безпеки при відкритій розробці родовища, запропоновано заходи щодо охорони праці, промислової санітарії, цивільного захисту та зниження шкідливого впливу

масових вибухів на навколишнє середовище.

У висновку узагальнено результати дослідження та сформульовано конкретні практичні рекомендації щодо впровадження оптимізованих параметрів БВР у виробництво.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 СУЧАСНИЙ СТАН ВІДКРИТИХ ГІРНИЧИХ РОБІТ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ

Загальна характеристика розвитку відкритої розробки родовищ. Відкритий спосіб розробки родовищ корисних копалин є домінуючим у світовій гірничій промисловості для видобутку руд чорних і кольорових металів, вугілля та будівельної сировини. Його частка у світовому видобутку залізної руди перевищує 85–90%, що зумовлено високою продуктивністю, відносно низькою собівартістю та можливістю механізації всіх основних процесів. Сучасні відкриті гірничі роботи (ВГР) характеризуються переходом до застосування глибоких кар'єрів (300–600 м і більше); високопродуктивної великогабаритної техніки; комплексної автоматизації виробничих процесів; цифрового управління гірничим виробництвом з урахуванням дотримання вимог діючої нормативно-законодавчої бази [1-9].¶

Світові тенденції розвитку відкритих гірничих робіт. У провідних гірничодобувних країнах (Австралія, Бразилія, Канада, США, ПАР) ВГР розвиваються за такими напрямками:¶

Збільшення масштабів виробництва. Сучасні кар'єри світового рівня забезпечують видобуток 50–300 млн т руди на рік; з використанням високопродуктивних технологічних комплексів.¶

Використання сучасної великогабаритної техніки. Для роботи на нижніх горизонтах потрібні високопродуктивні бурові верстати, потужні екскаватори і автосамоскиди великої вантажопідйомності. Як бурове обладнання застосовуються верстати шарошечного буріння типу СБШ-250 (і їх модернізовані версії), здатні ефективно проходити надміцні залізисті кварцити. На виїмці та навантаженні скельної маси задіяні важкі екскаватори-мехлопати з обсягом ковша 10-15 т³ більше (наприклад, вітчизняні ЕКГ-10, ЕКГ-15 або імпорتنі аналоги Caterpillar і Komatsu). Транспортування підірваної руди на перевантажувальні пункти та ЦПТ (циклічно-потокową технологію) забезпечується кар'єрними самоскидами

БелАЗ вантажопідйомністю 130-220 тонн або машинами світових брендів (CAT, Komatsu).

Стан відкритих гірничих робіт в Україні. Криворізький залізорудний басейн - один із найбільших залізорудних басейнів світу, є основною сировинною базою чорної металургії України. Відпрацювання покладів залізняку Кривбасу ведеться в умовах як відкритих і підземних гірничих робіт, так і в умовах відпрацювання відкритим способом у зонах, підроблених підземними гірничими роботами. Ситуація, що склалася у Кривбасі, вимагає розробити та здійснити заходи щодо забезпечення захисту навколишнього середовища від негативного впливу спільної (відкритої та підземної) розробки покладів залізних руд, недопущення техногенних аварій та катастроф. Таким чином, вивчення стану відкритої розробки родовищ залізняку Кривбасу в зонах впливу підземних гірничих робіт є актуальною та першочерговою.

Розробка Криворізького родовища залізняку здійснюється з 1881 р. За цей час видобуто 4,5 млрд.т товарної залізняку, навіщо було вилучено з надр понад 6 млрд. м³ (близько 17 млрд.т) гірської маси. Тривале виробництво гірничих робіт у Кривбасі призвело до масштабних порушень стану надр та земної поверхні. Ці порушення представлені кар'єрами глибиною до 300 м, шахтами глибиною до 1500 м, мульдами зсуву та зонами обвалення порід, непогашеними підземними пустотами. Створилася ситуація, коли у верхній частині земної кори Кривбасу утворилися виїмки та порожнечі антропогенного походження, а паралельно їм розміщуються величезні техногенні об'єкти (відвали) з масою мільярди тонн. Це призвело до створення значної концентрації неврайонованої напруги земної кори, яка щорічно зростає в міру поглиблення гірничих робіт. На даний час вилучення залізорудної сировини в Кривбасі ведеться відкритим і підземним способами в умовах техногенного навантаження на геологічне середовище, аналогів якої знає світова практика. У ряді випадків відкрита та підземна технологія ведеться на одній ділянці родовища, що створює певні труднощі, впливає на техніко-економічні показники гірничодобувних підприємств, безпека ведення гірничих робіт, екологічну ситуацію у регіоні.

Комплексне використання відкритого та підземного способу розробки дозволить більш повно використовувати розвідані запаси залізняку, знизити капітальні витрати та інвестиції в розвиток виробництва, поліпшити екологічну обстановку у регіоні. Можливість виїмки залізняку відкритим способом у зонах впливу підземних гірничих робіт підтверджується досвідом українських та зарубіжних гірничодобувних підприємств [1-3]. Сучасний етап розвитку відкритого способу розробки родовищ корисних копалин в Україні, особливо у Криворізькому залізорудному басейні, характеризується переходом кар'єрів на глибокі горизонти (понад 300-400 метрів). На прикладі ПрАТ «ІнГЗК» чітко простежується загальносвітова тенденція: у міру поглиблення гірничих робіт відбувається закономірне погіршення гірничо-геологічних та гірничо-технічних умов. Гірський масив на нижніх горизонтах стає міцнішим, зростає ступінь його обводненості та тектонічної порушеності. Чим глибше ми спускаємося, тим складніше працювати: порода на нижніх горизонтах стає міцнішою, у забій прибуває більше води, а сам масив розбитий тріщинами. У період 2022-2026 років до важких природних умов додалася економічна криза. Головними проблемами кар'єрів стали: мало поверхні на нижніх горизонтах: на дні кар'єру мало місця, техніці важко розвернутися, тому кожен вибух потрібно готувати ідеально. Дорога логістика: возити руду та порожню породу нагору на самоскидах стало надто довго та дорого. Зростання витрати на енергію: через високу міцність каменю витрачається величезна кількість електрики та палива на його буріння, вибух і подальше подрібнення на фабриці. За таких умов вибухові роботи це основа всієї економіки комбінату. Якщо підірвати породу погано, то екскаватори ламатимуть ковші, самоскиди возитимуть величезні брили (негабарит), а дробарки на фабриці заб'ються. Тому зараз головне завдання ПрАТ «ІнГЗК» уникнути простих потужних вибухів і перейти до точкового, керованого руйнування. Для цього змінюють схеми з'єднання свердловин, підбирають правильні інтервали між вибухами та використовують сучасні емульсійні вибухові речовини. Це дозволяє отримати дрібну, зручну для навантаження породу.

1.2 ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЙ ВИДОБУТКУ ТА ТРАНСПОРТУВАННЯ ГІРНИЧОЇ МАСИ

У сучасних глибоких кар'єрах (особливо у залізорудній галузі України в період 2022-2026 років) процеси виїмки та транспортування руди гідравлічно пов'язані між собою та повністю залежать від результатів вибуху. Якщо порода розбита поступово, техніка працює на максимальній потужності; якщо вибух виконано неякісно - зростає аварійність та собівартість усього видобутку.



Рис.1.1. Відкритий спосіб розробки родовищ корисних копалин

Основним методом видобутку на глибоких кар'єрах залишається екскаваторний спосіб. У забах ПрАТ «ІнГЗК» використовуються важкі електричні кар'єрні екскаватори (мехлопати) типу ЕКГ-10 та ЕКГ-15. Ефективність їхньої роботи безпосередньо диктується якістю БВР за трьома основними показниками. Перший показник це ширина та висота розвалу, тобто вибух повинен сформувати компактний навал породи, зручний для

черпання. Занадто високий розвал небезпечний обвалом на техніку, а надто плоский і розтягнутий - змушує екскаватор витратити час на постійні переїзди.

Другий показник це проробка підосви уступу, тобто якісний вибух повністю руйнує породу лише на рівні стояння екскаватора. Якщо залишаються «пороги» або недопобухи (козирки), ківш блокується, швидкість навантаження падає, а гідросистема та канати екскаватора зазнають критичних навантажень. Третій показник це кускуватість (гранулометричний склад), тобто ідеальний розмір куска для ковша об'ємом 10-15 м³ - менше 400 мм. Наявність негабаритів (валунів понад 600-800 мм) потребує зупинки робіт для їхнього гідроклинового або повторного вибухового дроблення. Кускуватість (гранулометричний склад), тобто ідеальний розмір куска для ковша об'ємом 10-15 м³ - менше 400 мм. Наявність негабаритів (валунів понад 600–800 мм) потребує зупинки робіт для їхнього гідроклинового або повторного вибухового дроблення.

Технології транспортування гірничої маси

Доставка руди на поверхню в глибоких кар'єрах - це найвитратніша стаття витрат (до 60 % від собівартості видобутку). У сучасних умовах застосовується два основних види транспорту, кожен з яких висуває жорсткі вимоги до якості вибуху.

Самоскиди вантажопідйомністю 130-220 тонн (БелАЗ, САТ, Komatsu) використовуються для вивезення породи безпосередньо із вибоїв нижніх горизонтів.

Якщо в кузов завантажуються великі, гострокутні куски породи, це миттєво розбиває підвіску і ріже дорогі великогабаритні шини. Крім того, погана фракція руди збільшує порожнечі в кузові - машина везе "повітря", перевитративши дефіцитне дизельне паливо. Циклічно-потокowa технологія (ЦПТ) - це найбільш прогресивний спосіб для глибоких кар'єрів, що активно застосовується на ПрАТ «ІнГЗК». Великорозроблена руда із вибою везеться

самоскидами лише до найближчого внутрішньокар'єрного рудоспуску, звідки після первинного дроблення йде на поверхню похилими конвеєрними стрічками. Конвеєрний транспорт критично чутливий до фракції руди. Попадання великого шматка в рудоспуск викликає його заклинювання (зависання), а на стрічці призводить до порізів та зупинки всього технологічного комплексу фабрики.

1.3 Проблеми та тенденції розвитку відкритих гірничих робіт з аналізом сучасних наукових джерел та характеристикою підприємства ПРАТ «ІнГЗК»

Відкритий спосіб видобутку корисних копалин у всьому світі пов'язаний з критичним поглибленням кар'єрів. Аналіз сучасних публікацій українських та зарубіжних науковців (включаючи роботи фахівців ІДМ НАН України та КНУ) показує, що ключова проблема сьогодні полягає у різкому зниженні економічної ефективності видобутку у міру спуску нижче за відмітку 300 метрів. Дослідники виділяють три основні проблеми, які зараз вирішує гірнична наука:

Розміщення масиву при контурному підриванні. Фізика скального масиву на глибині така, що природні тектонічні напруги підсумовуються динамічними ударами від технологічних вибухів. У результаті приконтурна зона руйнується, уступи починають обсипатися, а кути нахилу бортів доводиться робити більш пологими. Гірська наука пропонує вирішувати це переходом на електронні системи ініціювання, які дозволяють розводити в часі вибухи сусідніх свердловин з точністю до мілісекунди, гасячи сейсмічну хвилю. Енергетичний дисбаланс. Близько 70 % всієї енергії, що витрачається отримання тонни концентрату, витрачається на подрібнення руди. Сучасні наукові концепції розглядають кар'єр та збагачувальну фабрику як єдиний організм. Згідно з дослідженнями, ефективніше і дешевше витратити трохи більше вибухової речовини в кар'єрі та отримати рівномірно дрібну фракцію,

ніж потім переплачувати за електроенергію на млинах самоподрібнення.

1. Загальна характеристика сучасного етапу розвитку відкритих гірничих робіт

1.1. Зміна підходу до відкритої розробки

У період 2022-2026 років світова гірничодобувна галузь та підприємства України переходять від класичної ресурсно-орієнтованої моделі до ресурсоефективного виробництва. Відповідно до досліджень Інституту геотехнічної механіки НАН України, а також публікацій профільних міжнародних асоціацій (SME, Australasian Mining Review), головними стимулами змін стали: стабільне збільшення глибини кар'єрів та коефіцієнта розтину. Зростання вартості енергоносіїв та дефіцит електроенергії. Посилення екологічних стандартів у рамках програм сталого розвитку до 2030 року. Для залізорудної галузі України ці фактори критичні через високу концентрацію гірничого виробництва у Криворізькому басейні.

2. Ключові проблеми розвитку відкритих гірничих робіт та їх зв'язок із параметрами БВР

2.1. Глибокі горизонти та зростання транспортних витрат. Стабільне поглиблення кар'єру ПрАТ «ІнГЗК» збільшує відстань та висоту підйому гірничої маси, що різко підвищує витрати на паливо та знижує продуктивність самоскидів. Зв'язок із БВР: якість вибухової підготовки масиву безпосередньо визначає продуктивність транспорту. Оптимізація гранулометричного складу (відсутність негабариту) забезпечує максимальний коефіцієнт наповнення ковша екскаватора та кузова самоскида, прискорюючи навантаження та знижуючи питому витрату палива при транспортуванні на верхні горизонти.

2.2. Високий коефіцієнт розтину та обсяги переміщення порід. Зростання обсягів порожньої породи збільшує навантаження на транспортну систему кар'єру та підвищує собівартість видобутку руди. Зв'язок із БВР: зменшити витрати на переміщення розтину можна за рахунок енергії самого вибуху. Удосконалення параметрів БВР (схем короткосповільненого

підривання та питомої витрати ВР) дозволяє реалізувати спрямований вибух на скидання або профільований обвал. Це зменшує необхідний обсяг подальшої екскавації та переміщення породи технікою.

2.3. Критичне екологічне навантаження відвалів. Традиційна схема відкритих робіт призводить до деградації земель, пилу відвалів та порушення гідрогеологічного режиму. Зв'язок з БВР: перехід до моделі повторного використання покрівельних порід для доріг або щебеню вимагає від БВР точного управління якістю дроблення скельної маси безпосередньо в вибої. Крім того, оптимізація параметрів вибуху знижує сейсмічну дію на борту кар'єру, запобігаючи їхній деформації, і мінімізує отруйні газові викиди в атмосферу.

2.4. Енергетичні та економічні обмеження (2022-2026 роки). Дефіцит електроенергії, подорожчання дизельного палива та логістичні збої потребують жорсткого скорочення енергоемності всіх процесів. Зв'язок з БВР: Найбільш енергоефективним способом руйнування гірських порід є саме вибуховий спосіб (він економічно вигідніший за механічне дроблення на фабриці). Підвищення якості БВР та отримання оптимальної фракції руди в кар'єрі дозволяють кардинально знизити витрати дорогої електроенергії на наступних стадіях фабричного дроблення та подрібнення (концепція Mine-to-Mill).

2.5. Граничне знос гірничо-транспортного обладнання. Зношення основних фондів підприємств Кривбасу перевищує 70 %, викликаючи часті простої техніки та зростання витрат на ремонти. Зв'язок із БВР: Неякісна підготовка вибухового блоку (наявність підпошвенних навісів, поганого опрацювання підосви уступу та негабаритів) веде до критичних пікових навантажень на вузли зношених екскаваторів та бурових верстатів. Навпаки, адаптивне проектування параметрів БВР забезпечує легку екскавацію, що знижує аварійність, продовжує ресурс залишкового фонду техніки та мінімізує простої.

3. Сучасні тенденції розвитку відкритих гірничих робіт.

3.1. Цифровізація та автоматизація процесів. Світова практика гірничодобувних холдингів (Rio Tinto, BHP, Vale) та передовий досвід підприємств України підтверджують ефективність впровадження цифрових технологій. До ключових напрямків відносяться безпілотне керування кар'єрним транспортом, автоматизована GPS-диспетчеризація, 3D-моделювання родовищ та системи передиктивного обслуговування техніки. Особливого значення має наскрізна концепція Mine-to-Mill. Вона пов'язує параметри буропідричних робіт із властивостями породи для оптимізації подальшого дроблення та подрібнення, що суттєво знижує енергоємність збагачення.

3.2. Розвиток циклічно-потокової технології. При досягненні кар'єрами критичної глибини класичний автомобільний транспорт стає економічно неефективним через зростання витрат на транспортування та загазованість виробок. Сучасна тенденція полягає у переході на комбіновані схеми із залученням циклічно-потокових технологій (ЦПТ). Розміщення внутрішньокар'єрних дробильно-конвеєрних комплексів дозволяє дробити руду безпосередньо в контурі кар'єру та видавати її на поверхню конвеєрами, мінімізуючи плече автовивезення.

3.3. Комплексне освоєння мінеральної сировини. Сучасний підхід виключає сприйняття розкривних порід як відходів виробництва. Ресурсний потенціал порожніх порід та некондиційних сланців реалізується через їхнє вторинне використання. Скельний розкрив застосовується для виробництва будівельного щебеню, відсіпання технологічних доріг, зведення дамб хвостосховищ, спорудження внутрішніх відвалів та сухої закладки виробленого простору, що знижує потребу у відчуженні нових земель.

3.4. Екологізація гірничого виробництва. Зниження техногенного навантаження на довкілля реалізується у рамках міжнародних ESG-стратегій. Основні практичні кроки включають зменшення площі зовнішніх відвалів за рахунок внутрішнього складування, поетапну рекультивацію порушених земель та повторне використання очищених кар'єрних вод. У сфері підричних

робіт ключовим вектором є перехід на емульсійні безтритилові вибухові речовини, які мінімізують токсичні газові викиди в атмосферу.

3.5. Автоматизація систем промислової безпеки. Безпека ведення гірничих робіт на глибоких горизонтах базується на безперервному інструментальному контролі. Впроваджуються системи радарного та лазерного геомеханічного моніторингу стійкості бортів кар'єру, здатні фіксувати мікрозсуви масиву в реальному часі. Дистанційне керування буровими верстатами та виїмковою технікою дозволяє повністю виключити знаходження персоналу в зонах підвищеного ризику, включаючи ділянки з можливістю обвалення або підшви уступів після масових вибухів.

4. Виробничо-технічний комплекс ПрАТ «ІнГЗК»

4.1. Загальна характеристика підприємства. ПрАТ «ІнГЗК» спеціалізується на відкритій розробці Інгuleцького родовища залізистих кварцитів у південній частині Кривбасу. Повний цикл виробництва включає видобуток руди, її дроблення, подрібнення, магнітне та флотаційне збагачення. Основний товарний продукт - високоякісний залізорудний концентрат. Поточні гірничі роботи ведуться на глибоких горизонтах, що потребує постійного переміщення значних обсягів покрівельних порід і скельної маси.

4.2. Гірничо-геологічні та технічні умови розробки. Розробка родовища характеризується такими факторами: круте залягання рудних тіл із частим чергуванням кондиційних кварцитів та безрудних сланців. Критична глибина кар'єру (понад 400 метрів), що ускладнює транспортну схему та провітрювання.

Висока міцність, абразивність і тріщинуватість порід, що вміщують, що підвищує питому витрату вибухових речовин. Ризик деформації укосів та бортів кар'єру через гідрогеологічний тиск та масштабні масові вибухи.

4.3. Технологічна структура виробництва. До складу комбінату входять чотири основні ланки: рудоуправління (кар'єр): бурові, вибухові, виїмково-навантажувальні роботи та транспортування сировини автомобільним та

залізничним транспортом. Дробильна фабрика: багатостадійне подрібнення вихідної гірничої маси до проектної фракції. Рудозбагачувальна фабрика (РЗФ): поділ мінералів методами магнітної сепарації та флотації для отримання фінального концентрату. Допоміжні цехи: технологічний транспорт, енергопостачання, ремонтні служби та хвостове господарство для складування відходів збагачення.

4.4. Ключові виробничі виклики (2022-2024). У зазначений період підприємство зіштовхнулося із критичними змінами умов роботи: логістичні та ринкові обмеження: блокування чорноморських портів призвело до втрати традиційних ринків збуту, переорієнтації на європейський ринок залізничним транспортом та вимушеного зниження обсягів виробництва. Дефіцит та нестабільність енергопостачання: регулярні відключення та ліміти на електроенергію через пошкодження інфраструктури порушували безперервний цикл збагачення та водовідливу. Дефіцит сировини та матеріалів: порушення ланцюжків поставок викликало нестачу імпортованих комплектуючих для бурових верстатів, важкої кар'єрної техніки та компонентів вибухових речовин. Кадровий дефіцит: мобілізація працівників вимагала оперативної оптимізації робочих процесів та автоматизації управління технологічними лініями.

ОГЛЯД ФАХОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ щодо доцільності комплексного використання порід у разі прийняття рішення про відновлення подальшої розробки залізрудного родовища ПрАТ «ІнГЗК»

Аналіз сучасних наукових джерел за темою дослідження в КБР.

При розробці теми роботи проаналізовані наукові джерела, в яких досліджено розвиток ВГР. Наведені фахові джерела за 2021-2026 роки відображають та включають в себе наступні дослідження: модернізація відкритої розробки залізрудних родовищ; сучасну комплексну комп'ютеризовану механізацію кар'єрів; гірничий транспорт екскаватори та автосамоскиди; розробка новою ІРСС-технології, використання циклічно-поточної технології в кар'єрі; нові розробки, що розкривають автоматизацію

та оптимізацію кар'єрного транспорту; екологічні аспекти ВГР.

Ефективність розробки глибоких горизонтів Інгулецького родовища залежить від вдосконалення параметрів руйнування скельного масиву. У джерелі [1] представлений практичний досвід переходу залізрудних кар'єрів на неелектричні системи ініціювання та емульсійні склади. Впровадження цих технологій на ПрАТ «ІнГЗК» дозволяє підвищити керованість дроблення високоміцних порід.

Важливим фактором при відпрацюванні глибоких уступів є зниження сейсмічного навантаження на борту кар'єру та довколишні споруди. У роботі [2] викладено методи регулювання параметрів сейсмовибухових хвиль за рахунок зміни інтервалів уповільнення. Цей підхід є актуальним для збереження стійкості приладового масиву Інгулецького кар'єру при проведенні масштабних вибухів.

Оптимізація роботи бурового обладнання вимагає точного обліку фізико-механічних властивостей сировини, що видобувається. У дослідженні [3] наводиться детальний аналіз руйнування міцних кварцитів залізистих під впливом енергії свердловинних зарядів. На основі цих даних можливе коригування геометрії сітки свердловин для зниження питомої енергоємності буріння.

Якість підготовки гірничої маси впливає на усі наступні технологічні переділи підприємства. Автори публікації [4] використовують методи цифрової фотопланіметрії для точної оцінки гранулометричного складу підірваної руди. Контроль виходу негабариту за цією методикою допомагає оптимізувати параметри БВР під продуктивність екскаваторного парку ІнГЗК.

Підвищена тріщину масиву сильно спотворює дію вибуху. У статті [5] досліджуються закономірності поширення енергії детонації у сильнотріщинуватих залізрудних зонах Кривбасу. Висновки авторів дозволяють точніше розраховувати масу зарядів для запобігання передрібненню руди в блоці.

Конструктивні особливості свердловинних зарядів визначають характер передачі в масив. У роботі [6] доведено вплив внутрішньої геометрії заряду та

повітряних проміжків на загальну площу руйнування скельних порід. Застосування комбінованих конструкцій на Інгулецькому родовищі підвищує рівномірність дроблення кварцитів.

Екологічна безпека масових вибухів залишається пріоритетним завданням для ПрАТ «ІнГЗК». У джерелі [7] обґрунтовано ефективність застосування внутрішньої та зовнішньої гідронабійки для придушення пилогазової хмари в момент детонації. Використання водного середовища знижує викиди дрібнодисперсного пилу в атмосферу гірничопромислового регіону.

Управління формою розвалу породи полегшує її подальшу виїмку. У статті [8] наведено математичне моделювання зон регульованого дроблення при багаторядному короткосповільненому підриванні. Метод допомагає налаштувати напрямок руху гірничої маси для безпечної роботи виїмково-навантажувальних машин.

Параметри БВР визначають економіку всього гірничо-збагачувального комплексу. У дослідженні [9] показано прямий зв'язок між ступенем подрібнення руди вибухом та продуктивністю магістральних конвеєрних систем циклічно-струмової технології. Оптимальне дроблення масиву знижує навантаження на конвеєрні стрічки ІнГЗК.

Сучасне проектування гірничих робіт виходить з цифрових рішень. У публікації [10] розкривається досвід автоматизації розрахунку параметрів вибуху на основі ГІС-технологій та тривимірного моделювання уступів. Програмний комплекс забезпечує точне позиціонування свердловин на блоці.

Динамічний вплив масових вибухів на інженерні споруди потребує постійного моніторингу. У джерелі [11] досліджується стійкість укосів глибоких кар'єрів при систематичних циклічних навантаженнях. Запропоновані авторами алгоритми допомагають розраховувати критичні маси зарядів щодо безпеки бортів.

Продуктивність бурових верстатів багато в чому залежить від зносу виконавчого органу. У статті [12] визначено закономірності зміни енергоємності шарошечного буріння у неоднорідних анізотропних масивах. Дані важливі для

планування графіків ремонту бурового обладнання ПрАТ «ІнГЗК».

Рівномірність подрібнення руди закладає основу ефективного збагачення. У роботі [13] встановлено вплив середнього діаметра шматка підірваної гірничої маси на питому витрату електроенергії у млинах самоподрібнення. Оптимізація параметрів вибуху дозволяє знизити витрати на подрібнення кварцитів на дробильно-збагачувальній фабриці.

Провітрювання глибоких горизонтів після вибуху визначає час простою обладнання. Автори дослідження [14] змоделювали траєкторію руху пилогазової хвилі у замкнутому просторі глибоких кар'єрів Кривбасу. Результати роботи допомагають розрахувати оптимальний час для безпечного повернення персоналу у забій.

Впровадження нових типів ВР потребує глибокого теоретичного обґрунтування. У монографії [15] зібрано комплексний матеріал з фізико-хімічних властивостей та технологічних параметрів емульсійних вибухових речовин. Книга є науково-практичною базою для розрахунку параметрів заряджання обводнених свердловин Інгuleцького кар'єру.

Висновки за наслідками аналізу науково-технічної літератури

Вивчення профільних публікацій та досвіду ведення відкритих гірничих робіт за період з 2021 по 2026 рік дозволяє сформулювати такі ключові положення:

- скельні породи, що витягуються при проходці, є цінною техногенною сировиною для суміжних галузей, а не просто відходи виробництва.
- використання циркулярних моделей. Перехід до замкнутого циклу виробництва та мінімізація безповоротних втрат гірничої маси стають основною умовою сталого розвитку видобувних підприємств.
- геомеханічне обґрунтування відсипання. Стійкість бортів та масиву визначає технічну можливість та параметри спорудження внутрішніх відвалів на глибоких горизонтах.
- транспортна складова витрат. Ефективність логістичних схем усередині кар'єру безпосередньо формує фінальну собівартість залізорудної сировини,

що видобувається.

- цифровізація як інструмент адаптації. Застосування ІТ-рішень та елементів індустрії 4.0 дозволяє компенсувати ринкові ризики та зберігати рентабельність видобутку за високої волатильності цін на концентрат.

Реалізація принципів комплексного освоєння надр є пріоритетним науково-практичним вектором для залізорудного сектора, що повністю відповідає специфіці Інгулецького родовища.

Узагальнюючи досвід відкритої розробки у 2021-2026 роках, можна констатувати, що кар'єрний спосіб залишається базовим для залізорудної промисловості України. При цьому головними факторами стримування виступають критичне поглиблення гірничих виробок, подорожчання технологічних перевезень і дефіцит площ під розміщення відвалів. Вирішення цих проблем лежить у площині автоматизації, екологізації та вторинної переробки попутних матеріалів.

Для ПрАТ «ІнГЗК» впровадження наскрізних технологій утилізації розкривних порід має стратегічне значення при освоєнні крутопадаючого покладу. Практичне впровадження даних рішень безпосередньо залежить від планів компанії ТОВ «Метінвест Холдинг» щодо відновлення виробничої діяльності комбінату та довгострокової стратегії розвитку його потужностей.

Праці, що містять сучасні методики оптимізації параметрів сітки свердловин, питомої витрати ВР, довжини забійки та прогнозування гранулометричного складу, що найбільше відповідає умовам кар'єру ПрАТ «ІнГЗК».

1. Koteleva N., Khokhlov S., Frenkel I. Digitalization in Open-Pit Mining: A New Approach in Monitoring and Control of Rock Fragmentation // Applied Sciences. 2021. Vol. 11, No. 22. Article 10848. DOI: 10.3390/app112210848.

Розглянуто цифрові технології контролю гранулометричного складу гірничої маси після масових вибухів. Показано можливості автоматизованого моніторингу фрагментації та оперативного коригування

параметрів буропідричних робіт.

2. Zhang Z., Qiu X., Shi X., Zhou J., Luo Z. Optimization of the Matching Relationship Between the Stemming Length and Minimum Burden in Cut Blasting of Large-Diameter Long-Hole Stopes // Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources. 2023. Vol. 9. Article 136. DOI: 10.1007/s40948-023-00674-5.

Досліджено вплив довжини забійки та лінії найменшого опору на ефективність руйнування масиву. Отримані рекомендації щодо оптимального співвідношення параметрів заряду і геометрії свердловин.

3. Liu Y. et al. The Movement Process and Length Optimization of Deep-Hole Blasting Stemming Structure // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2021. Vol. 146. Article 104836. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2021.104836.

Розроблено математичну модель руху забійки в свердловині під час вибуху. Встановлено оптимальні значення довжини забійки для підвищення коефіцієнта використання енергії вибухових речовин.

4. An Innovative Method to Assess Specific Charge, Drilling and Blasting Costs Considering Critical Factors of Rock Mass Properties, Fragment Size and Blasthole Parameters Hassan Moomivand, Sina Nayebi, Hussammodin Moomivand, Hamid Masoumzad // Results in Engineering. 2025. Vol. 27. Article 106333. DOI: 10.1016/j.rineng.2025.106333.

Запропоновано новий підхід до визначення питомої витрати ВР залежно від міцності порід, параметрів свердловин та необхідного гранулометричного складу. Особливо корисна для економічного обґрунтування параметрів БПР.

5. H. Moomivand, S. Soltanilinejad, K. Mirzaei Karwansara Assessment of the optimized stemming length considering rock fragmentation and escape of explosive gases using actual large-scale results Results Eng., 25 (2025), [10.1016/j.rineng.2024.103575](https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103575)

Оцінка оптимізованої довжини ствола з урахуванням фрагментації

гірських порід та витоку вибухонебезпечних газів з використанням фактичних результатів великомасштабного дослідження.

6. S. Soltanilinejad, H. Moomivand Development a novel empirical approach to control overbreak, surface quality and slope angle of benches following blasting Can. Geotech. J. (2024), [10.1139/cgj-2023-0599](https://doi.org/10.1139/cgj-2023-0599)

Розробка нового емпіричного підходу до контролю надвиробного відвалу, якості поверхні та кута нахилу уступів після вибухових робіт

7. H. Moomivand, M.J. Gheybi. Novel empirical models to assess rock fragment size by drilling and blasting Meas. J., 238 (2024), [10.1016/j.measurement.2024.115375](https://doi.org/10.1016/j.measurement.2024.115375)

Нові емпіричні моделі для оцінки розміру фрагментів гірських порід за допомогою буріння та вибухових робіт

8. A. Azizi, H. Moomivand. A new approach to represent impact of discontinuity spacing and rock mass description on the median fragment size of blasted rocks using image analysis of rock mass. J. Rock Mech. Rock Eng., 54 (2021), pp. 2013-2038, [10.1007/s00603-020-02360-4](https://doi.org/10.1007/s00603-020-02360-4)

Новий підхід до представлення впливу відстані між розривами суцільності та опису гірського масиву на середній розмір фрагментів підірваних порід за допомогою аналізу зображень гірського масиву

9. H. Moomivand, S. Seadati, H. Alahverdizadeh. A new approach to improve the assessment of rock mass discontinuity spacing using image analysis technique. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 143 (2021), [10.1016/j.ijrmms.2021.104760](https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2021.104760)

Новий підхід до покращення оцінки відстані між розривами суцільності гірського масиву з використанням методу аналізу зображень

10. Saubi O., Jamisola R., Suglo R. et al. Simultaneous Prediction and Optimisation of Rock Fragmentation and Ground Vibration Using an ANN–RF Ensemble in Open-Pit Blasting // Scientific Reports. 2026. Vol. 16. Article 3825. DOI: [10.1038/s41598-025-33871-1](https://doi.org/10.1038/s41598-025-33871-1).

Використано штучні нейронні мережі та групові алгоритми для

одночасної оптимізації дроблення гірничої маси та зменшення сейсмічної дії вибухів.

11. Drill and Blast Decision Support to Optimize Hole Position, Explosives, and Drill Bit Clusters [Ozan Perincek](#), [Ryan Loxton](#), [Sarang Kulkarni](#) & [Daniel Arthur](#) // Mining, Metallurgy & Exploration. 2025. DOI: 10.1007/s42461-025-01309-x.

Представлено систему підтримки прийняття рішень для вибору оптимальних схем розташування свердловин, типів вибухових речовин та бурового інструменту.

12. Perincek O, Loxton R, Kulkarni S, Arthur D (2025) Drill pattern optimisation for large complex blasts to improve fragmentation and dig efficiency. Math Geosci 1–23.

Оптимізація схеми буріння для великих складних вибухів з метою покращення фрагментації та ефективності копання

13. Bakhtavar E, Sadiq R, Hewage K (2021) Optimization of blasting-associated costs in surface mines using risk-based probabilistic integer programming and firefly algorithm. Natural Resources Res 30(6):4789–4806.

Оптимізація витрат, пов'язаних з вибуховими роботами в наземних кар'єрах, з використанням ризик-орієнтованого ймовірнісного цілочисельного програмування та алгоритму світлячка.

14. Hosseini S, Monjezi M, Bakhtavar E (2022) Minimization of blast-induced dust emission using gene-expression programming and grasshopper optimization algorithm: a smart mining solution based on blasting plan optimization. Clean Technol Environ Policy 24(8):2313–2328

Мінімізація викидів пилу, індукованих вибухом, за допомогою програмування експресії генів та алгоритму оптимізації "коника": розумне рішення для видобутку корисних копалин на основі оптимізації плану вибухових робіт.

15. Bakhtavar E, Abdollahisharif J, Mohammadi D (2022) Analysis and improvement of blasting operation in porphyry, diorite dyke, and trachyte

sungun zones: In-situ investigations. Int J Mining Geo-Eng 56(1):19–24

Аналіз та вдосконалення вибухових робіт у порфірових, діоритових дайкових та трахітових сунгунських зонах: натурні дослідження.

16. Haugg C, Perincek O, McNeilage C (2023) The use of machines as sensors to optimise drill and blast outcomes. In: 26th World mining congress proceedings

Використання машин як датчиків для оптимізації результатів буріння та вибухових робіт.

17. Leung R, Hill AJ, Melkumyan A (2023) Automation and ai technology in surface mining with a brief introduction to open-pit operations in the pilbara. IEEE Robot Automation Mag

Автоматизація та технології штучного інтелекту у відкритих гірничих роботах з коротким вступом до відкритих кар'єрів у Пілбарі.

18. Щербаков П., Тимченко С., Бітімбаєв М., Сарибаяв Н., Молдабаяв С. Mathematical Model to Optimize Drilling-and-Blasting Operations in the Process of Open-Pit Hard Rock Mining // Mining of Mineral Deposits. 2021. Vol. 15, No. 2. P. 25–33.

Розроблено математичну модель оптимізації витрат на буріння, підривання, навантаження та транспортування залежно від якості дроблення гірської маси.

19. Косенко А. Development of an Efficient Process Scheme for Breaking High-Grade Iron Ores of Low Strength and Stability During Sublevel Caving // Science and Innovation. 2023. Vol. 19, No. 3. P. 38–49. DOI: 10.15407/scine19.03.038.

Робота присвячена удосконаленню параметрів буріння та вибухового руйнування залізних руд Кривбасу. Особливу увагу приділено вибору діаметра свердловин і лінії найменшого опору.

20. Titov, D., Zahorsky, D., Hryhoriev, Y., Balyk, S., & Kozariz, V. (2025). Experimental specification of the nature of rock mass fragmentation by blasting of borehole charges of variable length. Technology Audit and

Production Reserves, 3(1(83)), 78–85. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.331974>

Наведено результати експериментальних досліджень дроблення порід у кар'єрах при використанні зарядів змінної довжини. Робота безпосередньо пов'язана з умовами кар'єрів Криворізького басейну.

21. Tang, H.-L., Yang, J., Yu, Q. (2023). Experimental Investigation of the Effect of Delay Time on Rock Fragmentation in Multi-Hole Bench Blasting. Applied Sciences, 13 (12), 7329. <https://doi.org/10.3390/app13127329>

Експериментальне дослідження впливу часу затримки на фрагментацію гірських порід при багатосвердловому вибуховому роботі на стенді.

22. Li, T., Chen, M., Guo, B., Song, L., Fan, B., Cui, S. (2024). Study on fragmentation characteristics of rock mass in bench blasting with different coupling media. Frontiers in Earth Science, 12. <https://doi.org/10.3389/feart.2024.1445990>

Дослідження характеристик фрагментації гірської маси при вибухових роботах на стенді з різними зв'язуючими середовищами.

23. Dotto, M. S., Pourrahimian, Y. (2024). The influence of explosive and rock mass properties on blast damage in a single-hole blasting. Mining, 4 (1), 168–188. <https://doi.org/10.3390/mining4010011>

Вплив властивостей вибухової речовини та гірської маси на пошкодження від вибуху при односхемовій підриванні.

24. Minieiev, S., Kostytsia, O., Prusova, A., Skachko, R., Dykan, O., Maltseva, V. (2021). Justification of the parameters for safe blasting of floor rocks in the roadway driven through the hazardous by outbursts sandstones. Geo-Technical Mechanics, 159, 11–29. <https://doi.org/10.15407/geotm2021.159.011>

Параметричні еволюції зон вибухового руйнування при вибуху серії свердловинних зарядів зі складною структурою.

25. Beltek, M., Frolov, O. (2023). Determination of the influence of the

degree of fracturing of the rock mass on the index of reduction of its strength. Collection of Research Papers of the National Mining University, 74, 7–18. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/74.007>

Визначення впливу ступеня тріщинуватості гірського масиву на показник зниження його міцності.

26. Babii, K., Chetveryk, M., Perehudov, V., Kovalov, K., Kiriiia, R., Pshenychnyi, V. (2022). Features of using equipment for in-pit crushing and conveying technology on the open pit walls with complex structure. Mining of Mineral Deposits, 16 (4), 96–102. <https://doi.org/10.33271/mining16.04.096>

Особливості використання обладнання для внутрішньокар'єрного дроблення та транспортування на кар'єрних стінках складної конструкції.

27. Darling P. (Ed.). SME Mining Engineering Handbook. 3rd ed. Englewood : Society for Mining, Metallurgy & Exploration, 2023.

Один із головних довідників з гірництва, що містить сучасні підходи до проектування та оптимізації буронідривних робіт у кар'єрах.

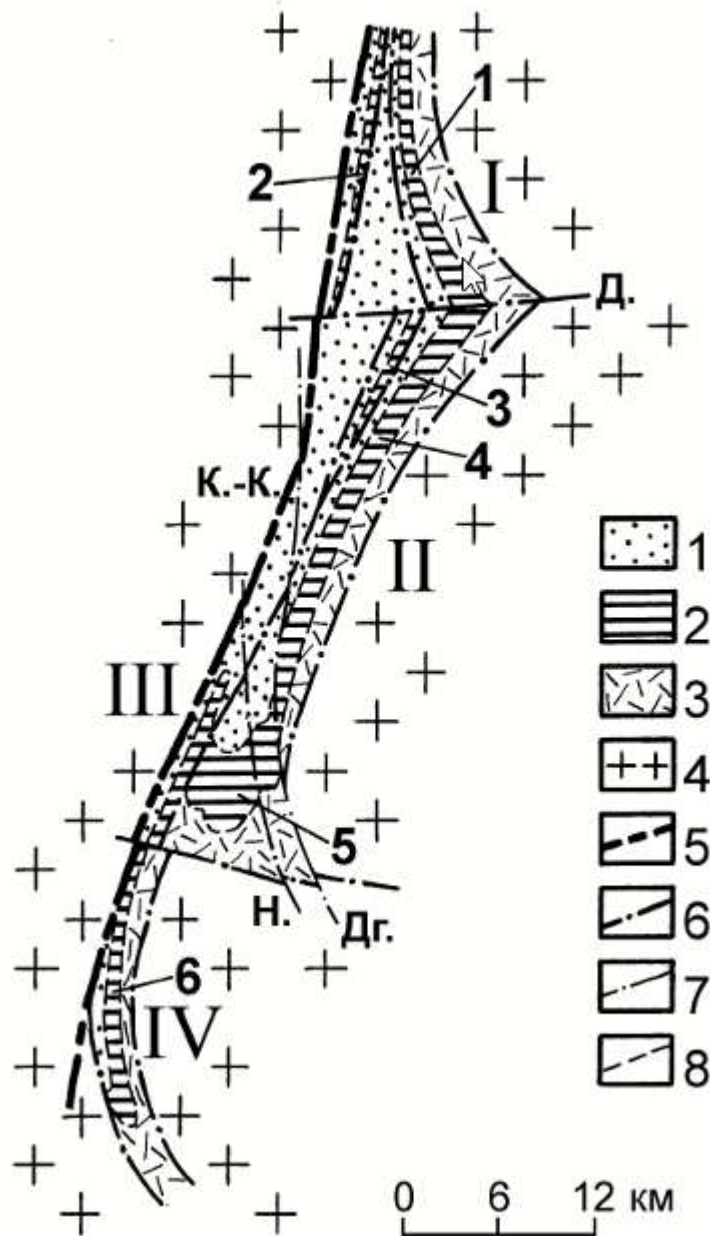
28. Jimeno C., Jimeno E., Carcedo F. Drilling and Blasting of Rocks. Revised edition. Rotterdam : CRC Press, 2022

Детально розглянуто взаємозв'язок між параметрами свердловинної сітки, характеристиками ВР та гранулометричним складом підірваної гірської маси.

1.4 Геологічна будова Інгулецького родовища корисних копалин

1.4.1 Загальна характеристика родовища

Інгулецьке родовище відноситься до Ліхманівського (Інгулецького) залізорудного району, що займає крайню південну позицію у складі Криворізького басейну. На півночі він по серії субшпіротних розломів межує з Південним залізорудним районом Кривбасу (рис. 1.2).



1 - метакластоліти і доломітові мармури глеюватської та гданцівської світ; 2 - залізисті кварцити і сланці саксаганської свити; 3 - метаультрабазити, метакластоліти, metabазити скелеватської та новокриворізької світ; 4 - гранітоїди дніпропетровського та саксаганського комплексів; 5 - Криворізько-Кременчуцький глибинний (мантійний) розлом (К.-К.); 6 - розломи корово-мантійні (Д. - Девладівський); 7 - розломи корові (Дг. - Діагональний, Н. - Новокриворізький); 8 - лінії стратиграфічних контактів.

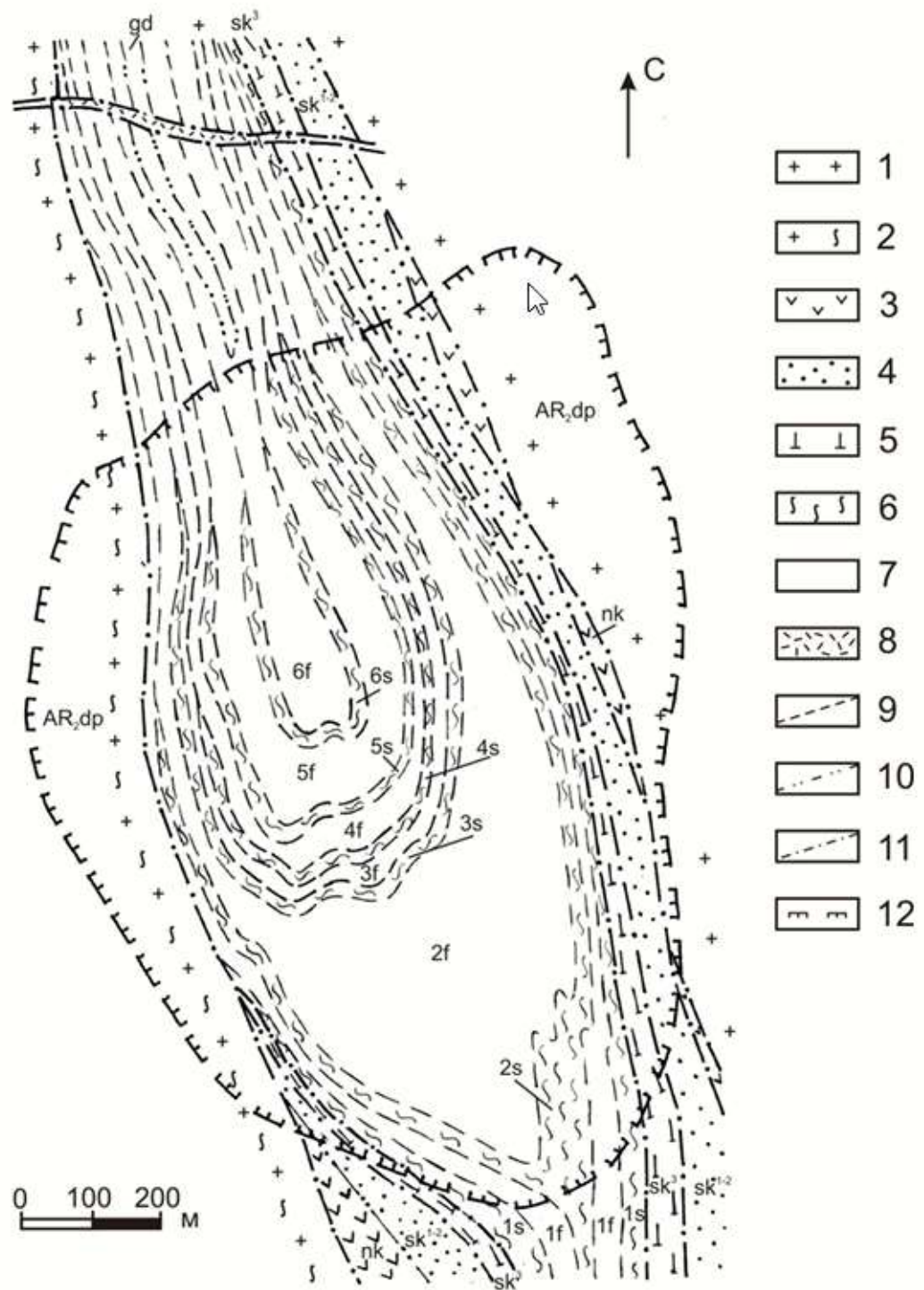
Залізородні райони: I - Північний (Ганнівський); II - Центральний (Саксаганський); III - Південний; IV - Інгулецький (Лихманівський).

Залізородні смуги: 1 - Східно-Ганнівська; 2 - Західно-Ганнівська; 3 - Саксаганська; 4 - Дальні Західні смуги; 5 - ділянка замикання Криворізького синклінорію; 6 - Лихманівська.

Рис. 1.1. Схема розташування Інгулецького родовища в межах

Криворізького залізородного басейну

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [12]



1 - граніти дніпропетровського комплексу; 2 - мігматити дніпропетровського комплексу; 3 - амфіболіти і метакластоліти новокриворізької свити; 4 - метакластоліти скелеватської свити; 5 - тальквмісні сланці скелеватської свити; 6 - сланці саксаганської свити; 7 - залізисті кварцити саксаганської свити; 8 - діабазы; 9 - лінії стратиграфічно узгодженого залягання товщ; 10 - лінії стратиграфічно неузгодженого залягання товщ; 11 - розривні порушення; 12 - контури кар'єру Інгулецького гірничо-збагачувального комбінату.

Рис. 1.3. Схематична геологічна карта Інгулецького родовища

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [12]

Продуктивною товщею району є Ліхманівська залізорудна смуга, у південній частині якої в зоні замикання Ліхманівської синкліналі розташоване Інгулецьке родовище магнетитових кварцитів. На північ від нього вздовж усього простягання Ліхмановської полоси простягається ланцюжок родовищ багатих і бідних гематитових та магнетитових руд. Більшість родовищ багатих руд відпрацьовано кар'єрами та шахтами. Родовище розробляється Інгулецьким гірничо-збагачувальним комбінатом (ІнГЗК) - одним із найбільших підприємств із видобутку та збагачення бідних магнетитових руд. Загальна довжина Інгулецького родовища 5,3 км, ширина - від 0,5 до 1,3 км [1]. Однією з характерних рис геологічної будови родовища є занурення шарніра Ліхманівської синкліналі та в її складі продуктивної товщі родовища в північному напрямку. У цьому ж напрямку протягом усіх 50 років експлуатації родовища відбувається розвиток кар'єру ІнГЗК.

До складу продуктивної товщі родовища входять 5 залізистих горизонтів (від другого до шостого) саксаганської свити, які в розрізі свити чергуються з 4 (від третього до шостого) сланцевими горизонтами (рис. 1.3).

У верхніх частинах розрізів усіх стратиграфічних горизонтів проявлені гіпергенні зміни залізистих кварцитів і сланців. Вивітрювання є геологічним процесом, який завершує формування сучасної будови та складу залізорудної товщі родовища.

Таким чином, Інгулецьке родовище бідних магнетитових руд розробляє Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат. Однією з унікальних особливостей родовища є присутність у складі його продуктивної товщі п'яти залізистих горизонтів саксаганської свити.

1.4.2 Інженерно-геологічна характеристика Інгулецького родовища

Інгулецьке родовище залізистих кварцитів розташоване в південній частині Криворізького басейну. Протяжність родовища з півдня на північ

становить понад 10 км. Наразі Інгулецьким ГЗК розробляється відкритим способом південна частина родовища [3].

Короткий опис гірничих робіт.

Фактичні параметри кар'єру в плані становлять:

- протяжність з півдня на північ (м.о. 24 ÷ 94) - 3515 м;
- протяжність із заходу на схід (м.о. 25 ÷ 73) - 2364 м;
- глибина кар'єру (відносно відм. +54 м) - 420 м;
- площа кар'єру, обмежена денною поверхнею - 6,045 км²;
- площа дна кар'єру за відміткою -366 м - 0,042 км².

Фактичні параметри кар'єру становлять: довжина - 3673 м, ширина 2303 м, глибина - 450 м.

Розробка пухких покривних порід здійснюється на горизонтах +66 м ÷ -45 м, скальних розкривних порід - з +26 м до дна кар'єру. Видобуток руди проводиться на горизонтах -15 м ÷ -360 м. Висота уступів у наносах становить 12-14 м, за скальними породами - 15 м. Здвоєні уступи в скальних породах мають висоту 30 м. Розробка скальної розкривної породи та рудної гірничої маси проводиться із застосуванням буровибухових робіт. Буріння вибухових свердловин здійснюється станками шарошкового буріння СБШ-250МН. Відробка підірваної гірничої маси виконується екскаваторами ЕКГ-8И, ЕКГ-10, САТ-5130В, Hitachi 2500 EX із завантаженням гірничої маси в автосамоскиди БелАЗ-7513 (вантажопідйомність - 130 т).

Механічне руйнування та екскавація гірничої маси

Для розпушення скальних масивів застосовується буровибухова технологія. Спорудження вибухових свердловин забезпечується парком бурових верстатів, який включає моделі шарошкового буріння СБШ-250МНА-32 і УСБШ-250А, а також високопродуктивні комплекси «Ferdinand». Навантаження підірваної породи та руди виконується екскаваторними забійними комплексами. Транспортування здійснюється комбінованим способом із залученням:

Кар'єрного автотранспорту: великовантажних самоскидів БелАЗ-7513 (клас вантажопідйомності 130 т), БелАЗ-7514 (120 т), БелАЗ-7309 (220 т) та САТ-785С (136 т). Залізничного транспорту: спеціалізованих вагонів-самоскидів (думпкарів) моделі 2ВС-105.

Схеми розкриття родовища

Для забезпечення доступу до робочих зон кар'єру реалізовано комбіновану систему розкриття:

Верхня зона (до горизонту -75 м): розкрита з боку східного борту за допомогою капітальних внутрішніх залізничних траншей.

Глибокі горизонти (південний та західний напрямки): доступ забезпечено стаціонарними внутрішніми автомобільними з'їздами у поєднанні з підземним комплексом циклічно-поточної технології (системою похилих конвеєрних підйомників).

Нижні ділянки кар'єру: розкриваються за допомогою тимчасових автомобільних з'їздів та звальних траншей, що облаштовуються переважно на північному борту.

Руда з нижніх горизонтів доставляється автотранспортом до підземних конвеєрних трактів «Західний-1» (гор. -60 м), «Східний» (гор. -180 м), «Західний-2» (гор. -240 м), якими видається на поверхню і далі по системі стрічкових конвеєрів на збагачувальну фабрику. Просування фронту гірничих робіт здійснюється по північному та південно-східному бортах кар'єру.

1.4.3 Стратиграфія родовища

Родовище складено породами архейського комплексу, нижньопротерозойськими метаморфічними породами Криворізької серії, перекритими пухкими утвореннями кайнозою. Архей - представлений мігматитами і гранітами. На контакті з західним насувом мігматити мілонітизовані й катаклазовані. Протерозой - криворізька метаморфічна серія

порід складена чотирма свитами: Новокриворізькою PR₁ nk; Скелеватською PR₁ sk; Саксаганською PR₁ sx; Гданцівською PR₁ gd.

Новокриворізька свита представлена амфіболітами. Скелеватська свита представлена тальковими сланцями, слюдистими кварцитами, метапісковиками, кварц-слюдистими сланцями. Саксаганська свита представлена п'ятьма сланцевими і п'ятьма залізистими горизонтами. Гданцівська свита представлена охристо-глинистими, слюдяно-кварцовими, біотит-кварцовими сланцями і природнобагатими рудами гематит-мартитового, мартит-гематитового складу. Кайнозой - представлений: бурими залізяками; сіро-зеленими мергелистими піщанистими глинами; вапняка.

1.4.4 Тектоніка родовища

В межах гірничого відводу ІнГЗК у кристалічному фундаменті закартовано два трансрегіональних (субмеридіональний Криворізько-Кременчуцький і субширотний Кінсько-Нікопольський), два регіональних (Західно-Лихманівський, Широківський), а також ряд локальних розломів.

Західний розлом є основною структурною лінією зони Криворізько-Кременчуцького глибинного розлому і проходить уздовж західного борта кар'єру. Субширотний регіональний напрямок представлений однією з гілок Нікопольського розлому, який входить у зону трансрегіонального Кінського. Ця гілка проходить поблизу сучасного північного борта Інгулецького кар'єру і являє собою серію зближених розломів. Між цими двома провідними швами розташовуються численні дрібніші порушення різних напрямків (північно-західного, північно-східного, субширотного простягання) [9]. Загальна синклінальна структура родовища ускладнена дрібнішою різнопорядковою складчастістю, яка розвинена нерівномірно. Зони інтенсивнішого розвитку складок приурочені до ядер більших синклінальних (рідше антиклінальних) структур, або утворюють зони зминання в крилах

великих флексур і зони динамічного впливу Західного розлому. Залягання порід родовища ускладнене розривними порушеннями. У північній частині родовища утворена потужна зона обрушених порід від розробки колишньою шахтою «Центральна» покладів багатих залізних руд. На родовищі інтенсивно розвинена тріщинуватість. Зустрічаються всі генетичні типи тріщин: сколу, розриву і кліважу. По відношенню до структури родовища зустрічаються поздовжні, поперечні, діагональні тріщини [9].

1.4.5 Гідрогеологічні умови

Гідрогеологічні умови Інгулецького родовища належать до складних. Родовище приурочене до комплексів кристалічних порід, перекритих потужною товщею осадових відкладів. На площі родовища розвинені такі комплекси [9]:

- ґрунтові води четвертинних відкладів (Q_{III-IV});
- водоносний горизонт понтичних вапняків (N_{2p});
- водоносний горизонт сарматських вапняків (N_{1sr});
- водоносний комплекс кори вивітрювання і зон тріщинуватості кристалічних порід ($AR-PR_1$).

Ґрунтові води четвертинних відкладів (Q_{III-IV}) приурочені до лесоподібних суглинків і до алювіальних пісків та супісків долини річки Інгулець, що широко поширені на сході та південному сході родовища. Понтичний водоносний горизонт (N_2) розвинений у східній та західній частинах родовища. Водовмісними породами є тріщинуваті та кавернозні оолітові вапняки, вапняки-ракушняки та лінзи пісків. Сарматський водоносний горизонт (N_1) розвинений у західній та північно-західній частинах родовища. Водонасними породами є тріщинуваті вапняки, розділені локально розвиненими прошарками мергелистих глин. Понтичний водоносний горизонт (N_2) розвинений у східній та західній частинах родовища.

Водовмісними породами є тріщинуваті та кавернозні оолітові вапняки, вапняки-ракушняки та лінзи пісків. Сарматський водоносний горизонт (N_1) розвинений у західній та північно-західній частинах родовища. Водоносними породами є тріщинуваті вапняки, розділені локально розвиненими прошарками мергелистих глин.

Водоносний комплекс кори вивітрювання і зон тріщинуватості кристалічних порід ($AR-PR_1$) утворює основну складову притоку до кар'єрного водовідливу [9].

1.4.6 Деформаційні процеси на ІнГЗК

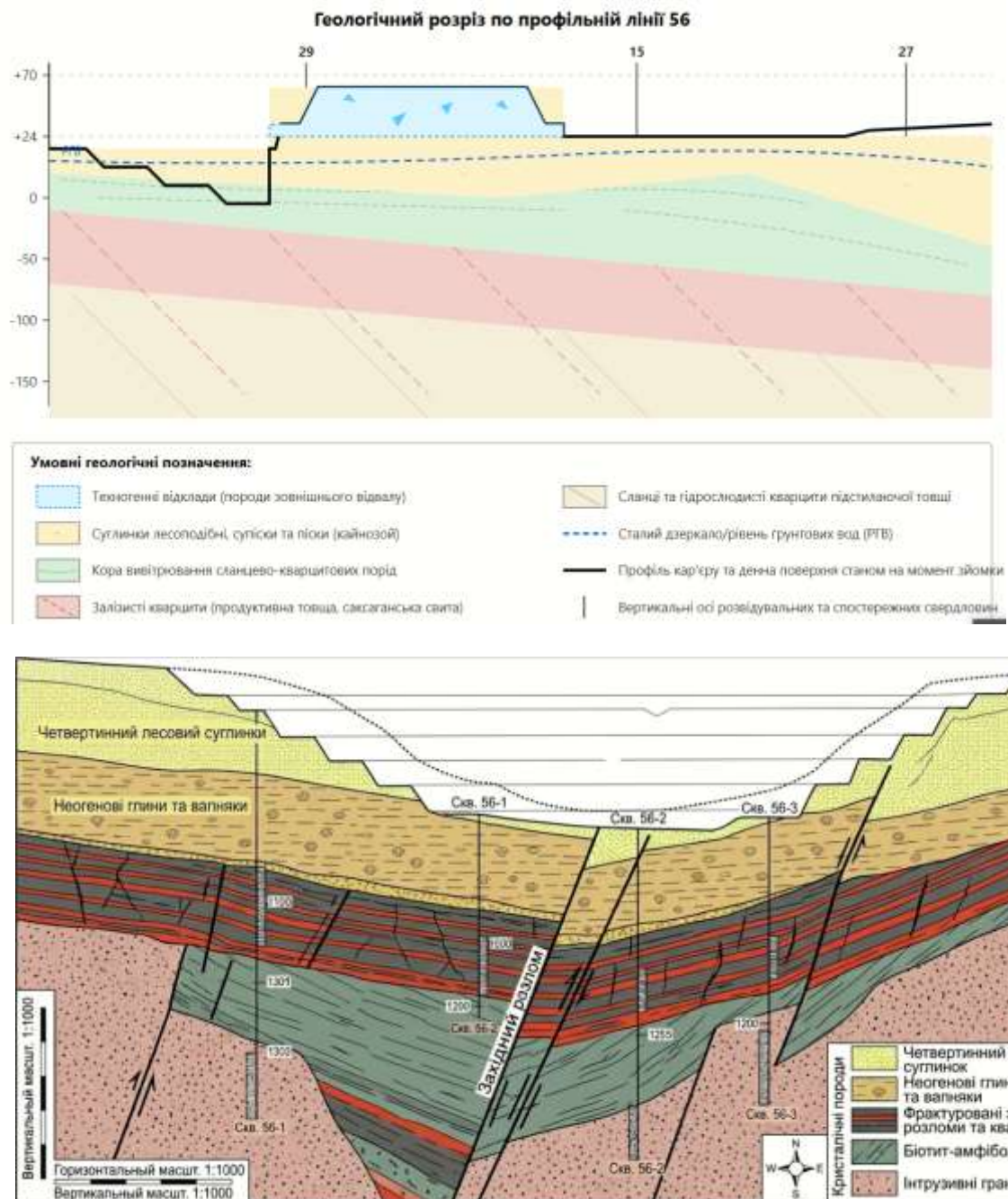
За останній час у кар'єрі великих деформацій гірничих виробок не зафіксовано. У північній частині родовища під час підземного відроблення покладів багатих залізних руд колишньою шахтою «Центральна» утворена зона зсуву. Наразі кар'єром розкриті два відкаточні горизонти -129 м (абс. відм. -59 м); -175 м (абс. відм. -105 м) у м.о. 43 ÷ 45.

При розкритті їх укосами уступів -75/-90 м; -90/-105 м пустот і зяючих прорізів не спостерігалось. Зустрічені виробки були завжди повністю заповнені обрушеними породами. За ділянкою виходу підземних гірничих виробок у кар'єр здійснюються щотижневі візуальні спостереження: у кар'єрі на робочих майданчиках, а за зоною зсуву на верхніх горизонтах - інструментальні. Східний борт кар'єру і західний борт відвалу № 3 розглядається як система «відвал-кар'єр». Горизонт кар'єру +24 м одночасно являє собою основу зовнішнього відвалу № 3. Спеціалістами ОСМГВ «Укррудпром» проводяться інструментальні спостереження на двох профільних лініях СС «Схід-Захід».

Розрахунок стійкості та обґрунтування параметрів північно-східного борта Інгулецького кар'єру.

Північно-східний борт кар'єру - робочий. Геологічний розріз верхньої частини східного борта по профільній лінії 56, що складена піщано-

глинистими породами, наведений на рисунку 1.4. З даного рисунка випливає, що верхня частина борта (висотна відмітка +24 м) складена гумусованими піщанистими буро-сірими суглинками потужністю 4-8 метрів. Нижче суглинку розташований шар кварцового сіро-жовтого піску від дрібно- до крупнозернистої фракції, потужністю 3-6 м. З висотної відмітки +12 м починається шар сіро-зелених кийвських глин, іноді зцементованих в алевроліт, потужністю близько 20 метрів.



Вплив геологічної будови на обґрунтування та удосконалення параметрів буровибухових робіт

1. *Геологічне обґрунтування вибухових технологій.* Складна геологічна будова та специфіка Інгулецького родовища чинять прямий і визначальний вплив на вибір систем відкритої розробки, формування контурів кар'єру, транспортні схеми та організацію відвальних робіт. Проте найбільш критично геологічні фактори впливають на технологію та параметри буровибухових робіт (БВР). Різка мінливість міцнісних властивостей порід у межах залізистих і сланцевих горизонтів вимагає гнучкого підходу до проектування вибухів, що й зумовлює актуальність удосконалення параметрів БВР для забезпечення якісного подрібнення гірської маси.

2. *Вплив тектоніки та залягання рудних тіл на параметри БВР.* Круте залягання рудних покладів та інтенсивна різнопорядкова складчастість суттєво ускладнюють процес руйнування масиву. Ці чинники обумовлюють:

- необхідність адаптації сітки свердловин та питомої витрати ВР до умов високої тріщинуватості й наявності зон тектонічних розломів (зокрема, Західного та Нікопольського);

- складність формування стабільних за кутом укосу робочих уступів, що вимагає впровадження контурного підривання для захисту законтурного масиву від порушень;

- високі енергетичні витрати на вибухове руйнування міцних магнетитових кварцитів;

- потребу у диференційованому розрахунку зарядів для мінімізації виходу негабариту та зниження загальних транспортних витрат на переміщення підірваної маси.

3. Технологічний та екологічний ефект оптимізації БВР.

Інгулецьке родовище характеризується значною глибиною залягання рудних тіл і високим коефіцієнтом розкриття, де значні обсяги припадають на скельні та різномірні породи. Удосконалення параметрів буровибухових робіт у таких умовах дозволяє не лише підвищити ефективність видобутку

залізистих кварцитів, а й забезпечити якісну підготовку розкривних порід для їхнього подальшого комплексного використання як вторинної мінеральної сировини. Оптимізація енергії вибуху безпосередньо сприяє підвищенню продуктивності ПрАТ «ІнГЗК», зниженню собівартості рудопідготовки на збагачувальній фабриці та суттєвому зменшенню сейсмічного й екологічного навантаження на довкілля Криворізького басейну.

Таким чином, Інгuleцьке родовище залізистих кварцитів відзначається складними гірничо-геологічними й тектонічними умовами, глибоким заляганням промислових покладів та суттєвими обсягами скельного розкриву. Визначальними факторами для обґрунтування параметрів буровибухових робіт тут є крутий кут падіння рудних тіл, значна міцність магнетитових кварцитів, а також складні геомеханічні й гідрогеологічні параметри масиву. Удосконалення технології підривання великих обсягів розкривних порід дозволяє не лише покращити показники рудопідготовки, а й забезпечити якісне фракціонування породи для її повторного використання як вторинної сировини. Це є ключовим вектором підвищення рентабельності ПрАТ «ІнГЗК» та мінімізації техногенного впливу на екосистему Кривбасу.

1.5 Міцнісні властивості гірських порід Інгuleцького родовища корисних копалин

Фізико-механічні властивості скальних порід Інгuleцького родовища наведені в таблиці 1.1 [9]. Дані про міцнісні параметри гірських порід, що складають як основу Інгuleцьких відвалів, так і тіло самих відвалів (табл. 1.2).

Таблиця 1.1.

Фізико-механічні властивості скальних порід Інгuleцького родовища

Найменування порід	Щільність, т/м ³	Пористість, %	Опір розриву, МПа	Зчеплення, МПа	Модуль пружності, 10 ³ МПа	Кут внутрішнього тертя, град.
Граніти	2,66	2,57	22,0	-	66	36,0
Мігматити	2,68	2,10	-	-	-	-
Амфіболіти	2,99	4,00	18,0	-	96	39,0
Аркози	2,64	5,08	-	-	-	-
Філіти	2,66	4,50	11,5	28,7	60	42,7
Сланці хлорид-талькові	2,75	3,09	4,9	5,4	57	15,5
Сланці з прошарком кварцитів	2,80	5,05	21,95	32,9	86	26,5
Кварцити малорудні	3,15	3,5	-	40,7	14,3	47,5
Кварцити силікат-магнетитові	3,5	2,82	22,7	39,4	81,0	39,4
Кварцити магнетитові	3,54	4,87	25,1			

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [14]

Таблиця 1.2.

Міцнісні показники ґрунтів в основі відвалів

Найменування ґрунтів	Стратиграф. індекс	Вологість, %	Прочностні характеристики / Міцнісні характеристики / Цільність, кг/м ³	Кут внутр. тертя, град.	Питоме зчеплення, МПа
Відвал № 1					
Суглинок лесоподібний	Q ₁	20	1900	22,3	0,025
Супісок	Q ₁	8	1930	26,2	0,004
Пісок	Q ₁	7	1950	37	0,003
Глина	N2km	22	2090	24,4	0,050
Відвал № 2					
Суглинок жовто-бурий	Q ₃	25	1800	24,01	0,006
Супісок жовто-бурий	Q ₂	19	1950	23,32	0,006
Пісок жовто-бурий	Q ₂	9	1980	27,92	0,003
Глина світло-бура	Q1	20	2090	23,13	0,01
Супісок жовтувато-бурий	Al Q ₁	20	1950	23,39	0,01
Глина зеленувато-сіра	Al Q ₁	18	1980	25,92	0,006
Глина світло-сіра	N	25	2220	14,23	0,027
Вапняк світло-сірий	N	38	2040	16,01	0,012
Відвал № 3					
Суглинок лесоподібний	Q1	10	1970	23,0	0,030
Глини	N-Q ₁	24	1990	22,6	0,035
Піски	Q1	19	2060	26,7	0,002
Глини	Pkv	34	1640	19,8	0,056
Глини	Pbs	42	1760	14,7	0,068
Розкриті породи відвалів					
Породи змішаного складу	Q tg	-	2,33*	16,0	0,036
Породи скального розкриття	Q tg	-	2,56*		

1.5.1 Загальна характеристика фізико-механічних властивостей масиву

Фізико-механічні показники гірських порід виступають базовим критерієм, що визначає вибір технологічних рішень для відкритої геотехнології, обґрунтування оптимальних параметрів буровибухових робіт, забезпечення стійкості укосів уступів і бортів кар'єру, а також підбір виймально-навантажувального та транспортного обладнання. Крім того, ці

властивості оцінюють з позиції рентабельності вторинної переробки скельного розкриву. На сучасному етапі ПрАТ «ІнГЗК» веде розробку в складних гірничо-геологічних умовах, зумовлених значною глибиною ведення робіт, високою міцністю залізистих кварцитів, інтенсивним розвитком природної тріщинуватості та значною неоднорідністю геомеханічних характеристик масиву. До основних літологічних різновидів порід Інгулецького родовища належать: магнетитові та силікат-магнетитові кварцити, сланці різного складу, амфіболіти, гнейси, малорудні кварцити, а також поклади окиснених залізних руд.

1.5.2 Міцність та тривкість гірських порід

За класифікацією проф. М. М. Протодьяконова, породи Інгулецького родовища належать до категорій високої та дуже високої тривкості. Середні значення коефіцієнта тривкості (f) становлять: кварцити $f = 14-20$; амфіболіти $f = 10-16$; сланці $f = 6-12$.

Висока тривкість і жорсткість масиву суттєво ускладнюють процеси механічного руйнування, що призводить до інтенсивного зношування бурового інструменту, підвищених питомих витрат енергії на руйнування та обумовлює необхідність експлуатації потужного гірничого обладнання.

1.5.3 Тріщинуватість масиву

Родовище характеризується значним розвитком природної та техногенної тріщинуватості, формування якої відбувається під сукупним впливом тектогенезу, масштабних вибухових робіт та розвантаження масиву внаслідок глибокого розкриття кар'єру. За генезисом та просторовою орієнтацією тріщини поділяються на: системні (ендогенні та літологічні); тектонічні (пов'язані з розломними зонами); технологічні (утворені внаслідок вибухового навантаження). Параметри тріщинуватості є

визначальними під час проектування та оптимізації параметрів вибуху, оскільки вони безпосередньо впливають на стійкість укосів уступів та якість (гранулометричний склад) підірваної гірської маси.

1.5.4 Абразивність порід

Через високий вміст кварцу у літологічних різновидах Інгулецького родовища, його породи відзначаються підвищеною абразивністю. Найбільш агресивне середовище створюють магнетитові кварцити, малорудні кварцити та гнейси. Висока абразивність викликає прискорений знос бурових доліт, різальних елементів ковшів екскаваторів, конвеєрних стрічок, а також знижує міжремонтний ресурс дробильно-сортувального устаткування, що збільшує експлуатаційні витрати підприємства.

1.5.5 Вибухові властивості порід та обґрунтування БВР

За ступенем підриваємості більшість порід та руд родовища належать до категорії важковибухових. Для їхнього ефективного подрібнення та досягнення нормативного виходу гірської маси на ПрАТ «ІнГЗК» доцільно застосовувати: свердловинні заряди збільшеного діаметра; сучасні емульсійні вибухові речовини (ЕВР) з регульованою швидкістю детонації; комбіновані (багаторядні) схеми висаджування із застосуванням неелектричних систем ініціювання. Значна міцність і блокова неоднорідність масиву вимагають удосконалення параметрів БВР, зокрема точного розрахунку лінійного опору по підосві (ЛНП), оптимізації сітки розташування свердловин, раціонального розподілу енергії вибуху в зарядній порожнині та системного моніторингу фракційного складу підірваної руди.

Вплив фізико-механічних властивостей на технологію відкритих гірничих робіт. Елементи залягання та фізико-механічні характеристики

порід визначають просторові параметри уступів, висоту та ширину робочих майданчиків, а також диктують вибір моделей гірничої техніки.

В умовах глибокого кар'єру ПрАТ «ІнГЗК» базовий технологічний комплекс включає: потужні бурові станки шарошечного буріння; кар'єрні екскаватори (мехлопати) великої місткості ковша; великовантажні кар'єрні автосамосвали; циклічно-потоківу технологію (ЦПТ) з комбінованими транспортними схемами.

Значення параметрів порід для їхнього комплексного використання

Міцнісні характеристики та фізико-хімічна стабільність скельних розкритих порід визначають високу перспективність їхньої утилізації. Скельний розкрит Інгулецького кар'єру є цінною сировиною для: виробництва високоміцного будівельного щебеню; дорожнього будівництва та баластування залізничних колій; спорудження та нарощування технологічних дамб (зокрема хвостосховищ); гірничотехнічної рекультивації порушених земель та внутрішнього відвалоутворення. Завдяки високим показникам міцності та морозостійкості ці породи мають високу ліквідність як будівельна сировина.

Інженерно-геомеханічні особливості масиву на глибоких горизонтах

Із поглибленням гірничих робіт суттєво зростає роль природного та техногенного горного тиску, інтенсифікуються пружно-пластичні деформації масиву, збільшується загроза вивалів, осипань та раптових обрушень укосів. Ключовими геомеханічними проблемами є дестабілізація приграничних масивів та виникнення локальних зсувних явищ по площинах тектонічних порушень. Для забезпечення безпеки БВР та загального контролю стійкості бортів на підприємстві впроваджуються сучасні системи моніторингу: інструментальний геодезичний моніторинг; наземне та повітряне лазерне сканування (LIDAR); георадарні системи безперервного стеження; цифрове 3D-моделювання напружено-деформованого стану масиву.

Таким чином, гірські породи та залізисті кварцити Інгулецького родовища характеризуються екстремально високою тривкістю, жорсткістю, значною абразивністю, складною блоковою тріщинуватістю та низькою пористістю. Зазначений комплекс властивостей безпосередньо регламентує параметри відкритої геотехнології, вимагає постійного удосконалення буровибухового комплексу, обґрунтованого підбору обладнання та забезпечення стійкості конструктивних елементів кар'єру. Разом з тим, високі якісні показники скельного розкриву відкривають значний потенціал для його масштабної переробки як вторинного ресурсу. Реалізація цього потенціалу є стратегічним вектором підвищення економічної ефективності ПрАТ «ІнГЗК» та кардинального зменшення екотехногенного пресингу гірничого виробництва на довкілля Криворізького басейну.

1.6 Гідрогеологічні та кліматичні умови розробки Інгулецького родовища

1.6.1 Загальна характеристика природних умов району

Інгулецьке залізорудне родовище, розробку якого здійснює ПрАТ «ІнГЗК», розташоване у південній частині Криворізького залізорудного басейну в межах степової природно-кліматичної зони України. Природні умови району характеризуються помірно континентальним кліматом, дефіцитом зволоження, суттєвими сезонними коливаннями температур, складним гідрогеологічним режимом та глибоким техногенним порушенням території.

Сукупність гідрогеологічних та кліматичних факторів чинить безпосередній вплив на: технологію відкритих гірничих робіт (ВГР); геомеханічну стійкість бортів кар'єру; ефективність та якість проведення буровибухових робіт; експлуатаційний стан транспортних комунікацій; схеми

кар'єрного водовідливу та осушення масиву; екологічну безпеку та сталий розвиток підприємства.

1.6.2 Кліматичні умови району розробки

Тип клімату.

Клімат району є помірно континентальним із жарким, посушливим літом, помірно холодною зимою, низьким рівнем атмосферних опадів та високою частотою суховіїв. Загалом кліматичні чинники дозволяють забезпечити цілорічне ведення відкритих гірничих робіт.

Температурний режим.

Середньорічна температура повітря коливається в межах $+8 \div +10$ °С. Середня температура січня становить $-4 \div -6$ °С, а липня $+22 \div +24$ °С. Абсолютний максимум сягає $+38 \div +40$ °С, тоді як абсолютний мінімум опускається до $-25 \div -30$ °С.

Екстремальні літні температури викликають інтенсивне пилоутворення, перегрів вузлів гірничої техніки та зниження її продуктивності. Своєю чергою, низькі зимові температури ускладнюють процес буріння свердловин, негативно впливають на роботу гідравлічних систем та спричиняють примерзання й замерзання гірської маси під час транспортування.

Атмосферні опади.

Середньорічна норма опадів становить 400–500 мм, більша частина яких випадає у весняно-літній період у вигляді короткочасних злив. Опади суттєво дестабілізують технологічні процеси: збільшують водоприплив до кар'єру, погіршують стан автодоріг, знижують стійкість укосів уступів та негативно впливають на ефективність буровибухових робіт (зокрема, вимивають неводостійкі ВР та вимагають застосування емульсійних вибухових речовин). Зливові опади можуть призвести до підтоплення робочих горизонтів і розмивання укосів.

Вітровий режим.

Переважаючими є вітри східного та північно-східного напрямків; у літній період часто фіксуються суховії та пилові бурі. Середня швидкість вітру становить 4–6 м/с. Вітровий режим є критичним фактором під час проектування масових вибухів, оскільки він визначає напрямок та дальність поширення пилогазової хмари, безпосередньо впливаючи на екологічний стан прилеглих територій.

1.6.3 Гідрогеологічні умови родовища

Гідрогеологічні умови класифікуються як складні. Вони визначаються високою природною тріщинуватістю кристалічних порід, наявністю кількох водоносних горизонтів, значною глибиною кар'єру та техногенним порушенням природного режиму вод. Основними водовмісними колекторами є тріщинуваті кварцити, сланці, амфіболіти, а також зони інтенсивних тектонічних розломів.

Підземні води.

У межах геологічного розрізу виділяють ґрунтові, тріщинні та напорні підземні води. Їхнє живлення та формування відбуваються за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, поверхневого стоку та активного водообміну в тріщинуватих зонах кристалічного масиву. Глибина залягання дзеркала підземних вод суттєво варіюється залежно від рельєфу та ступеня осушення масиву кар'єром.

Водоприпливи у кар'єр.

Із поглибленням гірничих робіт обсяги припливу підземних вод закономірно зростають. Основними джерелами є атмосферні опади, дренаж із тріщинуватих порід та обводнених тектонічних порушень, а також фільтрація поверхневого стоку. Обводнення масиву суттєво ускладнює виконання бурових робіт (спричиняє обводнення свердловин), роботу виймально-

навантажувального устаткування, транспортування руди та знижує стійкість укосів уступів.

Вплив гідрогеологічних чинників на стійкість бортів кар'єру

Гідродинамічний тиск та водонасичення порід погіршують фізико-механічні та міцнісні характеристики масиву, провокуючи розвиток таких деформаційних процесів, як осипання, локальні зсуви, суфозійне вимивання та розушільнення порід. Найбільшу загрозу для стійкості становлять ділянки перетину бортів кар'єру з зонами тектонічних розломів, контактами різнорідних літологічних комплексів та зонами екстремальної тріщинуватості.

Система водовідливу та осушення

Для забезпечення безпечного ведення гірничих робіт на підприємстві функціонує комплексна дренажно-водовідливна система. Вона включає кар'єрний водовідлив, випереджаючі дренажні свердловини, центральні та зумпфові водозбірники, насосні станції високої продуктивності, а також мережу поверхневих водовідвідних каналів. Головне завдання системи - недопущення затоплення робочих горизонтів, стабілізація геомеханічного стану уступів та підтримання безпечних умов праці персоналу.

Екологічні наслідки зміни гідрогеологічного режиму

Масштабні відкриті гірничі роботи трансформують природну гідрогеологічну структуру регіону. Основними негативними екологічними наслідками є: формування великої депресійної воронки, зниження рівня підземних вод та осушення навколишніх територій, зміна векторів фільтрації підземних потоків та їхнє техногенне забруднення. Основними джерелами екологічного ризику в цьому контексті виступають хвостосховища збагачувальної фабрики, зовнішні відвали та шахтні й кар'єрні дренажні води, що потребують очищення.

Вплив клімату на організацію та циклічність ВГР

Кліматичні коливання безпосередньо лімітують продуктивність техніки та зумовлюють специфіку робіт за сезонами: У літній період: основними

проблемами є інтенсивна запиленість кар'єрного простору (що погіршує видимість і санітарні умови), ризик перегріву двигунів та дефіцит технічної води для зрошення доріг.

У зимовий період: виникають проблеми обledenіння бортів та транспортних шляхів, промерзання підірваної гірської маси в ковшах та кузовах, а також ускладнення процесу заряджання свердловин при низьких температурах.

Вплив природних факторів на комплексне використання розкривних порід

При оцінці скельного розкриву як вторинної мінеральної сировини ключовими факторами є його вологість, ступінь вивітрювання, коефіцієнт тріщинуватості та морозостійкість. Фізико-механічні параметри скельних порід Інгулецького родовища підтверджують їхню високу придатність для виробництва будівельного щебеню, баластування шляхів, зведення дамб хвостосховищ, рекультивації відпрацьованих просторів та внутрішнього відвалоутворення. Висока міцність та підтверджена морозостійкість суттєво підвищують утилізаційну цінність цих відходів видобутку. Висновок до розділу Гідрогеологічні та кліматичні умови Інгулецького родовища є складними і виступають ключовими лімітуючими факторами під час організації відкритої розробки. Поєднання глибокого кар'єру, значних припливів тріщинних вод та високої блокової тріщинуватості масиву створює специфічні умови, які необхідно враховувати під час модернізації буровибухового комплексу.

Раціональний облік та інженерне нівелювання цих факторів (зокрема, впровадження ефективних схем засушення свердловин та використання водостійких емульсійних ВР) дозволяють підвищити техніко-економічні показники ПрАТ «ІнГЗК», гарантувати геомеханічну стійкість бортів кар'єру та забезпечити екологічно збалансоване природокористування в межах Криворізького басейну.

2. ОСНОВНА ЧАСТИНА «Розрахунок технологічних параметрів кар'єру ПрАТ «ІнГЗК»

Вихідні дані для розрахунку:

Родовище має форму крутоспадаючого покладу з постійною нормальною потужністю (m_n - 305 м), падінням (α , - 85°), протяжністю (L - 1750 м).

Відмітка денної поверхні в межах кар'єрного поля ($\pm X$ м). Рельєф поверхні -рівнинний.

Будова товщі гірських порід в межах кар'єрного поля наступна:

- корисна копалина однорідної будови представлена породами міцністю (f_{kk} 14) та густиною (ρ_{kk} , - 3,2 т/м³), які залягають на глибині $h = 15$ м від поверхні;

- розкривні породи однорідної будови мають міцність (f_{rp} -14) та густину (ρ_{rp} -2,9 т/м³).

Ширина дна кар'єру (B_d -308,08 м) дорівнює горизонтальній потужності покладу КК (m_g -308,08), довжина дна кар'єру (L_d м) дорівнює довжині родовища КК за простяганням (L -1750 м);

усереднений кут укосу неробочих бортів кар'єру (β_n -39).

Проектна потужність кар'єру дорівнює (A_{kk} -4 млн.т/рік) при проектних втратах корисної копалини (K_p - 4 %).

2.1 Загальна організація відкритих гірничих робіт

Обґрунтування режиму роботи кар'єру ПрАТ «ІнГЗК» у зв'язку з параметрами БВР. Для точного розрахунку та оптимізації основних показників відкритих гірничих робіт, а також для циклічного планування буровибухового комплексу, необхідно встановити раціональний режим роботи кар'єру.

Зважаючи на масштабність виробництва ПрАТ «ІнГЗК», для проектування технологічних процесів приймається безперервний (неперервний) графік роботи. За такого режиму видобувні, розкривні та бурові роботи зупиняються виключно в офіційні святкові дні або через форс-мажорні несприятливі кліматичні умови (наприклад, затяжні зливи, критичне обледеніння уступів чи густий туман, що унеможлиблює безпечне ведення гірничих робіт та проведення масових вибухів).

Організація виробничого процесу за безперервним графіком має прямий вплив на БВР: вона забезпечує стабільний фронт робіт для бурових верстатів, мінімізує простій підготовлених блоків і дозволяє чітко регламентувати технологічні вікна для монтажу вибухових мереж та евакуації техніки.

1) Розрахунковий фонд робочого часу:

Для умов кар'єру ПрАТ «ІнГЗК» приймається цілодобовий режим виконання робіт. Відповідно, номінальна кількість робочих діб на рік для календарного планування буріння та підривання масиву: $N_{p.d.} = 365$.

2) Для умов розробки залізистих кварцитів на потужних підприємствах Кривого Рогу (таких як ПрАТ «ІнГЗК») та з урахуванням безперервного цілодобового режиму роботи кар'єру, зазвичай обирають один із таких нормативних варіантів організації праці.

Залежно від прийнятої на підприємстві системи планування, обираємо один варіант, який відповідає нашим розрахункам:

а) у $N_{зм} = 3$ зміни по $T_{зм} = 8$ годин; б) у $N_{зм} = 2$ зміни по $T_{зм} = 12$ годин;

в) у $N_{зм} = 2$ зміни по $T_{зм} = 8$ годин (без врахування роботи в темний час доби).

Вибираємо варіант б).

Для умов проектування та удосконалення параметрів буровибухових робіт (БВР) на глибоких кар'єрах, таких як ПрАТ «ІнГЗК», наближений розрахунок кінцевої глибини кар'єру базується на геомеханічних обмеженнях - граничних кутах укосу бортів та геометричних параметрах залягання рудного тіла.

3) Кінцева глибина кар'єру є базовим параметром, який безпосередньо впливає на проектування БВР на глибоких горизонтах. Зі збільшенням глибини закономірно зростає затиснення вибухового масиву, змінюються умови обводненості свердловин та виникає потреба у коригуванні питомої витрати вибухових речовин.

Для умов крутоспадного залягання залізорудної товщі Інгулецького родовища наближене визначення кінцевої глибини кар'єру виконується на основі графоаналітичного методу за умови рівності контурів кар'єру граничним кутам укосу бортів (рис. 1).

Знаходимо кінцеву глибину кар'єру за наближеним розрахунком (рис. 1):

$$H_{\kappa} = \frac{-P + \sqrt{P^2 - 4\pi[S - m_{\kappa}L_{\partial}(1 + K_{zp})]}}{2\pi \cdot \operatorname{ctg}\beta_{\kappa}}$$

$$H_{\kappa} = \frac{-4172 + \sqrt{4172^2 - 4 \cdot 3,14[629520 - 366 \cdot 1720(1 + 3,7)]}}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,11} = 381 \text{ м,} \quad (2.1)$$

де $m_{\kappa} = \frac{m_{\kappa}}{\sin \alpha}$, м $m_{\kappa} = \frac{315}{0,86} = 366$ м, — горизонтальна потужність покладу;

$P = 2(L_{\partial} + \text{III}_{\partial})$, м $P = 2(1720 + 366) = 4172$, м — периметр дна кар'єру (за умови, що $L_{\partial} = L$);

$S = L_{\partial} \cdot \text{III}_{\partial}$, м² $S = 1720 \cdot 366 = 629520$, м² — площа дна кар'єру.

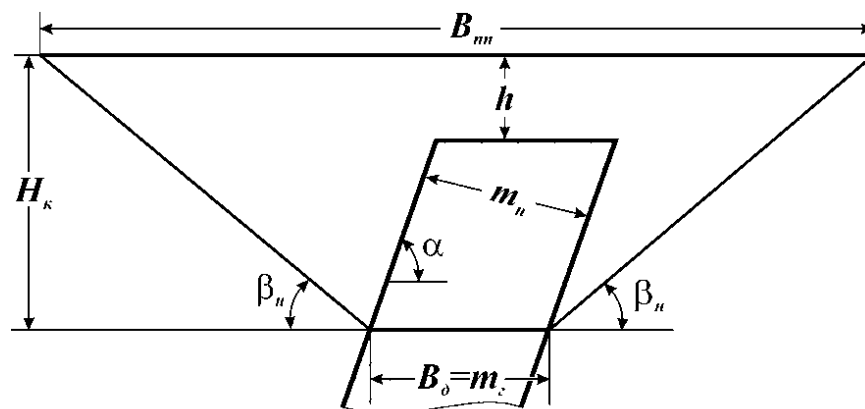


Рис. 2.1. Схема до визначення параметрів кар'єру

4) Зважаючи на те, що досліджуване родовище характеризується крутоспадним покладом незмінної потужності, який у поперечному профілі описується геометрією паралелограма та цілісно розташовується всередині встановлених меж кар'єру (рис. 2.1), сумарна величина промислових запасів у межах проектного контуру визначається таким чином:

$$V_{\kappa\kappa} = m_{\kappa} \cdot L \cdot (H_{\kappa} - h)_{\text{м}^3}.$$

$$V_{\kappa\kappa} = 366 \cdot 1720 \cdot (381 - 30) = 220961520_{\text{м}^3} \quad (2.2)$$

5) Розрахунок промислових запасів руди у проектних межах кар'єру базується на його геометричних параметрах. Оскільки поклад є крутоспадним і має стабільну потужність, об'єм виїмки визначається за такою залежністю:

$$Z_{\sigma} = V_{\kappa\kappa} \cdot \rho_{\kappa\kappa},_{\text{Т.}}$$

$$Z_{\sigma} = 220961520 \cdot 2,7 = 596596104_{\text{Т.}} \quad (2.3)$$

6) Габарити кар'єру по денній поверхні визначаються його розмірами по дну, проектною глибиною та кутами укосів неробочих бортів. Для рівнинного рельєфу довжина і ширина кар'єру по верху розраховуються так:

$$L_{\text{ш}} = L_{\text{д}} + 2 \cdot H_{\kappa} \cdot \text{ctg} \beta_{\text{н}},_{\text{м.}}$$

$$L_{\text{ш}} = 1720 + 2 \cdot 381 \cdot 1,11 = 2566_{\text{м.}}$$

$$B_{\text{ш}} = B_{\text{д}} + 2 \cdot H_{\kappa} \cdot \text{ctg} \beta_{\text{н}},_{\text{м.}} \quad (2.4)$$

$$B_{\text{ш}} = 366 + 2 \cdot 381 \cdot 1,11 = 1212_{\text{м.}}$$

7) Розрахуємо промислові запаси корисної копалини:

$$Z_n = \frac{Z_{\sigma} \cdot (100 - K_{\text{emp}})}{100},_{\text{Т.}} \quad (2.5)$$

$$Z_n = \frac{596596104 \cdot (100 - 4)}{100} = 572732259, \text{ т.}$$

8) Розрахуємо об'єм гірничої маси в контурах кар'єру:

$$V_{\text{зм}} = S \cdot H_{\kappa} + \frac{1}{2} \cdot P \cdot H_{\kappa}^2 \cdot \text{ctg} \beta_{\text{н}} + \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot H_{\kappa}^3 \cdot \text{ctg}^2 \beta_{\text{н}}, \text{ м}^3$$

$$V_{\text{зм}} = 629520 \cdot 381 + \frac{1}{2} \cdot 4172 \cdot 381^2 \cdot 1,11 +$$

$$+ \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 381^3 \cdot 1,11^2 = 647284556, \text{ м}^3 \quad (2.6)$$

9) Розрахуємо об'єм розкриву в кінцевих контурах кар'єру:

$$V_p = V_{\text{зм}} - V_{\text{кк}}, \text{ м}^3.$$

$$V_p = 647284556 - 220961520 = 426323036, \text{ м}^3 \quad (2.7)$$

10) Розрахуємо середній коефіцієнт розкриву:

$$K_{p.\text{ср.}} = \frac{V_p}{Z_n}, \text{ м}^3/\text{т.}$$

$$K_{p.\text{ср.}} = \frac{426323036}{596596104} = 0,71 \text{ м}^3/\text{т.} \quad (2.8)$$

11) Визначаємо орієнтовний термін експлуатації кар'єру з виробничою потужністю по корисній копалині, що дорівнює проектній:

$$T_e = \frac{Z_n}{A_{\text{кк}}}, \text{ років.}$$

$$T_e = \frac{572732259}{4000000} = 143, \text{ років.} \quad (2.9)$$

12) Визначаємо річну продуктивність кар'єру по розкривних породах:

$$A_p = K_{p.сер.} \cdot A_{kk}, \text{ млн.т/рік;}$$

$$A_p = 0,71 \cdot 4000000 = 2840000, \text{ млн.т/рік;}$$
(2.10)

13) Переводимо річну продуктивність кар'єру по корисній копалині та розкривних породах в м³:

$$Q_{kk} = \frac{A_{kk}}{\rho_{kk}}, \text{ м}^3/\text{рік;}$$

$$Q_p = \frac{A_p}{\rho_p}, \text{ м}^3/\text{рік.}$$

$$Q_{kk} = \frac{4000000}{3} = 1333333, \text{ м}^3/\text{рік}$$

$$Q_p = \frac{2840000}{2,7} = 1051851, \text{ м}^3/\text{рік}$$
(2.11)

14) Проведемо розрахунок місячної, добової та змінної продуктивності роботи кар'єру по корисній копалині та розкривних породах:

$$Q_{kk.міс} = \frac{Q_{kk}}{12}, \text{ м}^3 / \text{міс}; \quad Q_{kk.міс} = \frac{1333333}{12} = 111111, \text{ м}^3 / \text{міс}$$

$$Q_{p.міс} = \frac{Q_p}{12}, \text{ м}^3 / \text{міс} \quad Q_{p.міс} = \frac{1051851}{12} = 87654, \text{ м}^3 / \text{міс}$$

$$Q_{kk.доб} = \frac{Q_{kk.міс}}{30}, \text{ м}^3 / \text{добу} \quad Q_{kk.доб} = \frac{111111}{30} = 3703, \text{ м}^3 / \text{добу}$$

$$Q_{p.доб} = \frac{Q_{p.міс}}{30}, \text{ м}^3 / \text{добу} \quad Q_{p.доб} = \frac{87654}{30} = 2921, \text{ м}^3 / \text{добу}$$
(2.12)

$$Q_{kk.зм} = \frac{Q_{kk.доб}}{N_{зм}}, \text{ м}^3 / \text{зміню}$$

$$Q_{p.зм} = \frac{Q_{p.доб}}{N_{зм}}, \text{ м}^3 / \text{зміню}$$

$$Q_{kk.зм} = \frac{3703}{2} = 1851, \text{ м}^3 / \text{зміню} \quad Q_{p.зм} = \frac{2921}{2} = 1460, \text{ м}^3 / \text{зміню}$$

2.2 Розкриття та система розробки родовища

2.2.1 Розкриття родовища

Головна суть розкриття кар'єрного поля полягає у створенні надійного транспортного зв'язку між робочими горизонтами та приймальними пунктами на поверхні: рудними складами, збагачувальною фабрикою ПрАТ «ІнГЗК» та зовнішніми відвалами. Цей зв'язок забезпечується через спорудження капітальних і розрізних гірничих виробок. У гірничій практиці чітко розмежовують такі поняття:

- спосіб розкриття визначається безпосереднім типом виробок (наприклад, внутрішні чи зовнішні капітальні траншеї, підземні виробки або їхнє поєднання);
- схема розкриття просторове положення та кількість усіх розкривних виробок, які на поточний момент забезпечують рух вантажопотоків із робочих уступів;
- система розкриття планомірна послідовність зміни цих схем протягом усього періоду експлуатації кар'єру.
-

2.2.2 Обґрунтування способу розкриття в умовах ПрАТ «ІнГЗК»

На вибір оптимального способу розкриття впливають три головні фактори: особливості залягання рудних тіл, інженерно-геологічні та гірничотехнічні умови.

Геометрія та залягання покладу. Крутоспадне залягання залізистих кварцитів Інгuleцького родовища та велика глибина розробки унеможлиблюють використання зовнішніх траншей. У таких умовах розкриття виконують внутрішніми траншеями, які облаштовують безпосередньо на бортах кар'єру. Інженерно-геомеханічні чинники. Для забезпечення стабільності транспортних комунікацій капітальні траншеї необхідно закладати у

найбільш міцних і найменш обводнених породах масиву. Розміщення виробок на неробочому борті кар'єру забезпечує їх стаціонарний (постійний) статус. Якщо ж виробки споруджують на робочому борті, їхнє положення є тимчасовим (ковзним) і змінюється разом із просуванням фронту гірничих робіт.

Гірничотехнічні умови та зв'язок із БВР. Глибокі кар'єри, що відробляють міцні скельні породи (як на ПрАТ «ІнГЗК»), характеризуються постійним збільшенням глибини, великою кількістю робочих уступів та переміщенням масштабних обсягів руди й розкриву. Висока тривкість порід забезпечує довготривалу стійкість бортів, що дозволяє споруджувати капітальні з'їзди безпосередньо в контурах кар'єру. Стаціонарне розташування розкривних виробок на неробочому борті кар'єру є критично важливим для буровибухового комплексу. Це дозволяє чітко розрахувати безпечні відстані при проведенні масових вибухів, мінімізувати ризик руйнування транспортних з'їздів розлітанням осколків порід та оптимізувати схеми виведення бурового й виймального обладнання у безпечні зони перед підриванням блоку.

Зважаючи на гірничо-геологічні умови ПрАТ «ІнГЗК», найраціональнішим для умов роботи є спосіб розкриття загальними внутрішніми капітальними траншеями. Вони розташовуються стаціонарно на неробочому борті кар'єру та орієнтуються вздовж напрямку простягання залізородного покладу.

2.3 Вибір та обґрунтування схеми розкриття родовища

Одним із ключових завдань цієї роботи є вибір і технічне обґрунтування ефективної схеми розкриття. Для її практичної реалізації необхідно встановити просторове положення, загальну кількість та тип розкривних виробок, а також розрахувати їхні геометричні параметри для побудови графічної частини роботи.

Конструктивні параметри розкривних виробок (траншей та з'їздів) мають повністю відповідати технічним характеристикам кар'єрного транспорту, інтенсивності вантажопотоків та фізико-механічним властивостям порід масиву.

Зважаючи на гірничо-геологічні умови, як основний вид кар'єрного транспорту в проекті прийнято технологічний автотранспорт (великовантажні автосамосвали). Порівняно із залізничним, автомобільний транспорт має суттєві переваги:

- вища маневреність та автономність роботи на робочих горизонтах;
- здатність долати значні ухили (до $70 \div 80\%$), що дозволяє суттєво зменшити довжину похилих траншей і зменшити обсяги гірничо-капітальних робіт;
- мінімальні радіуси повороту, що важливо в обмеженому просторі глибокого кар'єру.

Зв'язок із технологією буровибухових робіт (БВР):

Вибір автомобільного транспорту ставить особливі вимоги до якості вибухової підготовки гірської маси. Автосамосвали та кар'єрні екскаватори вкрай чутливі до наявності негабаритів та загального гранулометричного складу підірваної руди.

Удосконалення параметрів БВР (оптимізація сітки свердловин, питомої витрати ВР та інтервалів уповільнення) у цьому проекті спрямоване на отримання рівномірно подрібненої гірської маси. Це дозволяє забезпечити максимальну продуктивність навантаження, знизити знос кузовів автосамосвалів міцними кварцитами ПрАТ «ІнГЗК» та запобігти руйнуванню покриття технологічних з'їздів внутрішніх капітальних траншей.

2.3.1. Параметри розкривних виробок

Основними параметрами *капітальної траншеї* є її поздовжній похил, довжина та ширина знизу, кути укосів бортів та об'єм (рис. 2.2).

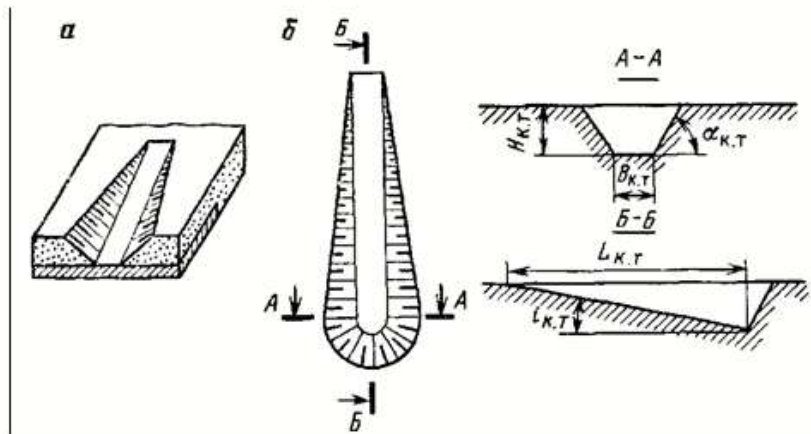


Рис. 2.2. Загальний вигляд (а) та план (б) капітальної траншеї

Під час транспортування гірської маси автосамоскидами поздовжній ухил з'їздів може за технічними умовами складати до 100–120%. Збільшення нахилу дозволяє зменшити обсяги прохідницьких робіт, проте це негативно впливає на безпеку та швидкість автотранспорту. Тому для сучасних моделей кар'єрних самоскидів із колісною формулою 4х2 оптимальний керівний ухил зазвичай встановлюють у межах 70–80%.

Довжина капітальної траншеї L_m визначається її кінцевою глибиною (в нашому випадку – висотою уступу) та величиною керівного ухилу:

$$L_m = 1000 \frac{H}{i_k}, \text{ м}$$

$$L_m = 1000 \frac{20}{72} = 277, \text{ м} \quad (2.13)$$

де H – кінцева глибина траншеї (висота уступу H_y), м;

i_k – величина керівного похилу, %.

На ширину траншеї по низу безпосередньо впливають тип кар'єрного транспорту, кількість смуг руху, організація маневрів машин під час завантаження, а також габарити прохідницької техніки та обрана технологія спорудження виробки. Якщо траншею проходять прямою лопатою з

навантаженням на рівні стояння екскаватора, найкраще задіяти автотранспорт. Завдяки високій мобільності автосамоскидів досягається максимальна продуктивність екскаваційного комплексу.

Автосамоскиди під навантаження подають за наступною схемою: (рис. 3):

Ширина траншеї по підшві у цьому випадку складе:

$$B_{mp} = 2C + 0,5(B_a + L_a) + B_a, м$$

$$B_{mp} = 2 \cdot 2 + 0,5(6,4 + 11,5) + 6,4 = 19, м \quad (2.14)$$

– при кільцевій схемі розвороту автосамоскидів (рис. 2.3);

де L_a та B_a - відповідно довжина та ширина автосамоскида, м;

R_a - радіус його розвороту, м;

C - зазор між автосамоскидом та бортом траншеї (2-3 м).

За умови ефективного використання виймального обладнання ширина траншеї по підшві повинна бути не меншою за два радіуси черпання (на горизонті установки) прийнятого екскаватора.

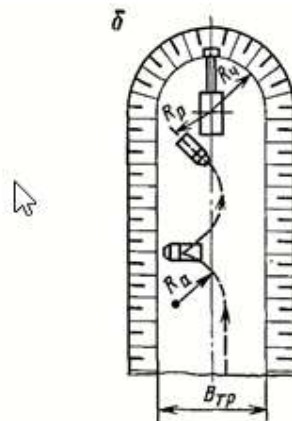


Рис.2.3. Схеми подання автотранспорту від навантаження при проведенні траншей

Кути укосів бортів капітальних траншей визначаються терміном їх експлуатації та властивостями масиву. Для проектних умов приймаємо, що

гірські породи є достатньо стійкими для надійного утримання заданого кута укосу уступу α_y .

Об'єм капітальної (в'їзної) траншеї визначається за формулою:

$$V_{в.тр} = 1000 \frac{H_y^2}{i_{\kappa}} \left(\frac{B_{тр}}{2} + \frac{H_y}{3 \operatorname{tg} \alpha_y} \right), \text{ м}^3,$$

$$V_{в.тр} = 1000 \frac{20^2}{72} \left(\frac{19}{2} + \frac{20}{3 \cdot 2,74} \right) = 71253, \text{ м}^3, \quad (2.15)$$

Розрізна траншея слугує безпосереднім продовженням капітальної і споруджується на кожному новому робочому горизонті для формування початкового фронту очисних робіт на уступі. Надалі один або обидва її борти розробляються екскаваторами, і в міру просування фронту ця виробка ліквідується, переходячи у простір відпрацьованого уступу.

Конструктивні та геометричні параметри розрізної виробки визначаються такими критеріями:

Профіль та нахил: проходка здійснюється горизонтально або з мінімальним ухилом, необхідним для забезпечення природного стоку кар'єрних вод до зумпфів.

Глибина: строго відповідає проектній висоті уступу, який готується до відпрацювання.

Довжина: залежить від запланованого фронту робіт на уступі або габаритів окремого екскаваторного блоку.

Ширина по дну: розраховується на основі робочих параметрів виймально-навантажувального обладнання та обраного способу проходки.

Кут укосу бортів: приймається рівним нормативному куту укосу робочого уступу.

Зв'язок із технологією БВР: проходка розрізних траншей у скельних залізистих кварцитах ПрАТ «ІнГЗК» характеризується найважчими умовами для підривання через наявність лише однієї вільної поверхні. Для забезпечення проектної ширини виробки по дну та уникнення утворення

«порогів» на підшві уступу, параметри БВР під час її проведення коригуються: зменшується сітка свердловин, збільшується питома витрата ВР та застосовуються спеціальні похилі схеми з'єднання детонаторів.

Для подальших інженерних розрахунків геометричний об'єм розрізної траншеї обчислюється як об'єм прямої призми, трапецієподібної у поперечному перерізі:

$$V_{p.тр.} = (B_{тр} + H_y \operatorname{ctg} \alpha_y) \cdot H_y \cdot L_{p.тр.}, \text{ м}^3,$$

$$V_{p.тр.} = (19,3 + 20 \cdot 0,36) \cdot 20 \cdot 250 = 134865, \text{ м}^3, \quad (2.16)$$

де $L_{p.тр.}$ - довжина траншеї, м.

Для умов роботи кар'єру, з врахуванням прийнятого в якості основного автомобільного транспорту, рекомендована довжина розрізної траншеї

$$L_{p.тр.} = 250 \text{ м.}$$

2.3.2 Траса капітальних траншей

Трасою капітальних траншей називають процес просторового проектування поздовжньої осі виробок, що визначає їхнє точне планове та профільне положення в контурах кар'єру.

План траси це горизонтальна проекція поздовжньої осі з'їздів, яка графічно відображає поєднання прямолінійних та криволінійних відрізків шляху. Організація плану траси є фундаментальною складовою графічної частини проекту. За своєю геометрією траси поділяють на прості та складні.

Проста форма не змінює початкового напрямку руху по всій довжині. Вона є характерною для мілководних кар'єрів або родовищ із величезною протяжністю кар'єрного поля.

Складна форма передбачає наявність кількох ділянок із різними напрямками вантажопотоків, які чергуються і сполучаються за допомогою петльових, криволінійних або тупикових елементів.

Для умов глибокого кар'єру ПрАТ «ІнГЗК» із високою інтенсивністю руху технологічного автотранспорту найефективнішим є петльове сполучення похилих ділянок. На відміну від тупикових схем, воно гарантує безперервність руху самоскидів і суттєво підвищує пропускну здатність технологічних доріг. Обов'язковою інженерною вимогою для облаштування петлі є спорудження маневрового майданчика. Його радіус прямо залежить від параметрів розвороту машин (R) і для кар'єрного автотранспорту становить $15\div 30$ м (тоді як для залізничного транспорту цей показник сягає неекономічних $120\div 200$ м). Малі радіуси розвороту сучасних великовантажних автосамосвалів дозволяють проектувати компактні маневрові майданчики безпосередньо на уступах.

Поздовжній профіль траси та вузли примикання

Поздовжній профіль є вертикальною проекцією траси і визначається величиною керівного ухилу та довжиною його конструктивних елементів. Він поєднує похилі й горизонтальні відрізки, а також вузли їхнього сполучення з робочими горизонтами кар'єру.

У практиці проектування вузли примикання виконують трьома способами: на керівному підйомі (без зниження нахилу), на пом'якшеному ухилі або на горизонтальних майданчиках. З огляду на експлуатаційну зручність, безпеку руху та простоту підготовки нових горизонтів, у цьому проекті прийнято примикання на горизонтальних майданчиках.

Варіанти геометричних профілів траси для розкриття чотирьох горизонтів кар'єру:

а) проста форма: траєкторія руху технологічного транспорту залишається незмінною при переході між суміжними уступами.

б) петльова (тупикова) форма: вектор руху машин при переході на кожен наступний нижній горизонт змінюється на протилежний (180°).

в) комбінована форма: зміна напрямку руху транспортного потоку відбувається не на кожному уступі, а циклічно через кілька робочих горизонтів.

Геотехнічний зв'язок із вдосконаленням параметрів БВР

Обрана складна петльова форма траси та наявність постійних горизонтальних майданчиків примикання ставлять жорсткі вимоги до параметрів масових вибухів у кар'єрі ПрАТ «ІнГЗК».

Стаціонарні з'їзди та маневрові майданчики, що закладені в міцних скельних кварцитах, піддаються постійному сейсмічному впливу під час підривання вибухових блоків. Для захисту транспортної інфраструктури від руйнування, запобігання деформаціям укосів траншей та недопущення засипання доріг підірваною гірською масою, в роботі передбачено вдосконалення параметрів БВР:

1. Впровадження контурного підривання на блоках, що безпосередньо межують із капітальними траншеями;
2. Оптимізація інтервалів уповільнення в схемах короткоуповільненого підривання (КУП) для зниження сейсмічного навантаження на неробочі борти;
3. Регулювання напрямку відбою гірської маси у протилежний бік від капітальних з'їздів.

Теоретична довжина траси розраховується за формулою:

$$L_{теор.} = \frac{1000 \cdot n_y \cdot H_y}{i_k}, \quad \text{м,}$$

$$L_{теор.} = \frac{1000 \cdot 19 \cdot 20}{72} = 5343, \quad \text{м,} \quad (2.17)$$

де H_y - висота уступу (кінцева глибина капітальної траншеї на кожному горизонті), м;

n_y - кількість горизонтів (уступів), які розкриваються трасою капітальних траншей.

Для виконання графічної частини випускної роботи $n_y = 4$; для розрахунків траси капітальних траншей, які розкривають весь кар'єр $n_y = H_k / H_y$

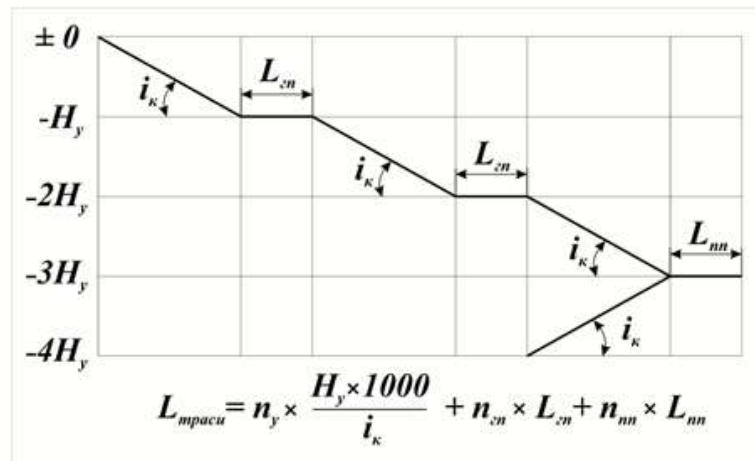


Рис. 2.4. Поздовжні профілі траси капітальних траншей для: тупикової (петльової)

Згідно визначених даних приймає комбіновану форму траси (зі зміною напрямку руху через 2-3 горизонти):

- для комбінованої форми траси

$$L_{\text{дійсн.}} = \frac{1000 \cdot n_y \cdot H_y}{i_k} + n_{zn} \cdot L_{zn} + n_{nn} \cdot L_{nn}, \text{ м,}$$

$$L_{\text{дійсн.}} = \frac{1000 \cdot 19 \cdot 20}{72} + 17 \cdot 50 + 2 \cdot 40,8 = 6275 \text{ м,} \quad (2.18)$$

де L_{nn} - довжина петльової маневрової ділянки примикання з'їздів до робочих горизонтів.

Для умов, наведеного рис. 2.4 та прийнятого автомобільного транспорту

$$L_{nn} = \pi \cdot R_a \cdot L_{nn} = 3,14 \cdot 13 = 40,8 \text{ м,}$$

Коефіцієнт подовження траси:

$$K_{\text{под}} = \frac{L_{\text{дійсн.}}}{L_{\text{теор.}}} \cdot K_{\text{под}} = \frac{6078}{5343} = 1,13$$

2.3.3. Параметри горизонтальних площадок на неробочих бортах кар'єру

При використанні автомобільного транспорту (одно- та двохсмуговий шлях), *ширина транспортної берми* складе :

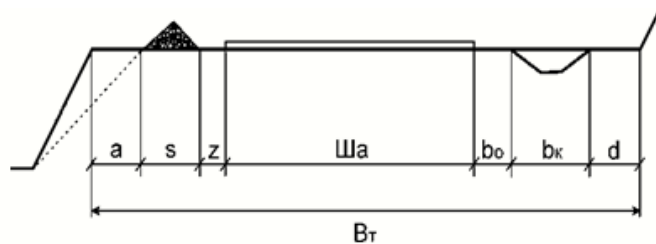


Рис.2.5. Будова транспортної берми умовного кар'єру при використанні автомобільного транспорту

$$B_t = a + s + z + Ша + b_o + b_k + d, \text{ м},$$

$$B_t = 2,6 + 2,5 + 0,5 + 22 + 2,5 + 1,3 + 0,5 = 31,9, \text{ м} \quad (2.19)$$

де a - ширина призми обрушення уступу, м. Для заданих порід визначаємо як $(0,1 \div 0,15) \cdot h_y$, приймаємо $0,13 \cdot h_y$;

s - ширина орієнтувального валу гірської породи, яка повинна бути рівній трикратній його висоті при відсіпанні з м'яких і напівскельних порід і 2,5-кратній - при відсіпанні зі скельних порід . Отже, при висоті валу в 1 м для скельної породи вона складе 2,5 м;

z – відстань від підшови ґрунтового вала до межі проїзної частини повинна бути не менше 0,5м. Приймаємо $z = 0,5$ м;

$Ша$ – ширина проїзної частини автошляху. Залежить від категорії шляху і габаритів рухомого складу автотранспорту. Так, наприклад, якщо прийняти у якості транспортного засобу для переміщення гірських порід автосамоскиди

вантажопідйомністю 110 т, то Ша для односмугового шляху складе 6.1 м; b_0 – ширина узбіччя (обочини) автошляху. Для односмугових шляхів b_0 обираємо – 2,0 м. b_k – ширина кювету по верху, м. Приймаємо $b_k = 1,3$ м.

d – відстань від бровки кювету до нижньої бровки уступу, м. Приймаємо 0,5 м.

Запобіжні берми призначені для затримання уламків гірських порід, що обсипаються з верхніх уступів, а також для дотримання необхідного за умов стійкості кута укосу неробочого борту кар'єру. *Ширину запобіжних берм* V_{min} за умовами стійкості наближено визначаємо, як третину висоти уступу з округленням до 0,5 м. Наприклад, при уступах висотою 15 м, $V_{min} = 5$ м, а при висоті уступів 17 м, відповідно $V_{min} = 5,5$ м.

2.4.3 Обґрунтування структури мінімальної ширини робочого майданчика

При відробці скельних залізистих кварцитів ПрАТ «ІнГЗК» із застосуванням технологічного автотранспорту, мінімально допустима ширина робочого майданчика є інтегральним показником. Вона розраховується як сума просторових зон, необхідних для безпечного виконання бурових, вибухових та виймально-навантажувальних робіт:

Удосконалення параметрів підривання у проєкті спрямоване на формування компактного розвалу з оптимальним коефіцієнтом розпушення для максимальної продуктивності екскаватора.

Взаємозв'язок параметрів майданчика з модернізацією БВР

Прагнення до зменшення ширини робочого майданчика з метою зниження поточного коефіцієнта розкриву вступає в технологічне протиріччя з потребами буровибухового комплексу, який вимагає достатнього простору для розміщення техніки. У зв'язку з цим, у дипломному проєкті вдосконалення параметрів БВР координується з геометричними обмеженнями майданчика через такі рішення:

1. Керування енергією вибуху для звуження розвалу: Застосування сучасних неелектричних систем ініціювання та електронних детонаторів дозволяє реалізувати багаторядне підірвання з направленим зсувом маси «у затиснене середовище» (на раніше підірвану буферну лаву). Це утримує підірвану руду в компактних межах і дозволяє зменшити загальну ширину майданчика.
2. Забезпечення безпечного технологічного зазору: Оптимізація кута нахилу свердловин та зменшення величини руйнування тилової залізниці вибуху (бекбрейку) гарантує стабільність бровки уступу. Це дозволяє безпечно розташовувати бурові верстати СБШ на мінімальній відстані від краю для обурення наступного блоку.
3. Інтенсифікація посування фронту робіт: Рівномірне подрібнення міцних кварцитів вибухом виключає появу негабаритів, прискорюючи відвантаження блоку та швидке звільнення робочого майданчика для нового циклу буріння.

Мінімальна ширина робочого майданчика при розробці порід, які потребують буро-вибухової підготовки, із застосуванням автомобільного транспорту :

$$Ш_{pne} = y + m + g_r + z + s + a \text{ ,м,}$$

$$Ш_{pne} = 3 + 2,5 + 22 + 0,5 + 3 + 2,6 = 33,6 \text{ м,} \quad (2.20)$$

де $y = 3\text{м}$ - відстань від вісі опори ППЛ (переносної повітряної лінії електропередач) до нижньої брівки верхнього уступу;

$m = 2,5\text{м}$ - відстань від краю проїзної частини автомобільної дороги до осі опори ППЛ;

$g_r = Ш_a$ - ширина проїзної частини технологічної автомобільної дороги, м ($Ш_a$ приймалася при визначенні ширини транспортної берми);

$z = 0,5\text{м}$ - відстань від підшви ґрунтового вала до краю проїзної частини автодороги;

$s = 3$ м - ширина ґрунтового вала, що орієнтує;

a - ширина призми обрушення уступу, м (для умов кар'єру ІНГЗК приймаємо $a=0,13 \cdot H_y$).

Нормальна ширина робочого майданчика повинна забезпечувати заданий резерв запасів готових до виймання і може бути визначена за формулою:

$$\begin{aligned} \text{Ш}_n &= \text{Ш}_{pre} + \frac{\mu \cdot A}{L \cdot H_y}, \text{м} \\ \text{Ш}_{n.p.} &= 33,6 + \frac{0,125 \cdot 1051851}{235 \cdot 20} = 61, \text{м} \\ \text{Ш}_{n.кк.} &= 33,6 + \frac{0,125 \cdot 133333}{298 \cdot 20} = 61, \text{м} \end{aligned} \quad (2.21)$$

де A - продуктивність кар'єру за відповідними видами порід, м³/рік (визначалася раніше як $Q_{кк}$ та Q_p);

L - довжина фронту робіт по цих породах, м.

Для умов, кар'єру ІНГЗК, можна вважати, що:

$$\begin{aligned} L_{кк} &= \frac{Q_{кк} \cdot \mu}{H_y \cdot X_{кк}}, \text{м}; \quad L_p = \frac{Q_p \cdot \mu}{H_y \cdot X_p}, \text{м}, \quad L_{кк} = \frac{1333333 \cdot 0,125}{20 \cdot 27} = 298, \text{м} \\ L_p &= \frac{1051851 \cdot 0,125}{20 \cdot 27} = 235, \text{м} \end{aligned} \quad (2.22)$$

де $X_{кк}$ та X_p - ширина смуги готових до виймання запасів, відповідно, корисної копалини та розкривних порід (для умов курсової роботи доцільно прийняти $X = 0,5 \cdot A_z$; $X = 0,5 \cdot 18 = 9$ м;

μ - нормативний коефіцієнт готових до виймання запасів гірської маси. Забезпеченість кар'єру запасами руди й обсягами розкривних порід, готовими до виймання, виражається в місяцях, виходячи з планованої продуктивності його в черговому році. При цілодобовому режимі роботи і застосуванні колісних видів транспорту забезпеченість кар'єру повинна складати: готовими до виймання запасами руди та скельних розкривних порід - **не менше 1,5 місяця** ($\mu = 0,125$).

Довжина екскаваторного блока визначається головним чином інтенсивністю розробки, висотою уступу та можливістю безперебійного забезпечення вибоїв транспортом.

При максимальній інтенсивності розробки необхідно прагнути зменшити довжину блока з метою введення в роботу великої кількості екскаваторів. Довжину блока при застосуванні залізничного транспорту приймають у м'яких породах не менше 300 м, в скельних - не менше 400 м, під час транспортування автомобільним транспортом довжина блока може бути 100 - 250 м або меншою.

2.3 Підготовка гірських порід до виймання

Породи невеликої міцності можуть не вимагати ніяких заходів щодо підготовки та успішно вийматись механічними лопатами та драглайнами безпосередньо із цілика, але, якщо вони знаходяться під дією мінусових температур, то необхідні заходи по відтаюванню або запобіганню промерзання.

Для підготовки до виймання скельних та напівскельних порід середньої міцності та міцних використовують буро-вибухові роботи.

Найпоширенішим на кар'єрах країни (95 % від загального обсягу) є метод вертикальних свердловинних зарядів, який і рекомендується прийняти в якості основного при розрахунках курсової роботи.

В процесі розрахунків даного розділу рекомендується до використання [10] за допомогою якого можна детально обґрунтувати вибір бурового обладнання, вибухової речовини та схеми комутації вибухової мережі.

Вид бурового устаткування та інструмента дозволяють визначити діаметр заряду:

$$d_z = k_p \cdot d_{д,м},$$

$$d_{зкк} = 1,03 \cdot 0,25 = 0,257 \text{ м}, \quad (2.23)$$

$$d_{зск} = 1,018 \cdot 0,25 = 0,254 \text{ м,}$$

де k_p - коефіцієнт розширення свердловини, що залежить від міцності й ступеня тріщинуватості гірських порід;

d_d - діаметр долота, коронки або різця обраного бурового обладнання, м.

$$\begin{aligned} k_p &= 1,06 - (f - 2) \cdot 0.003 \\ k_{pкк} &= 1,06 - (16 - 2) \cdot 0.003 = 1,018, \\ k_{pск} &= 1,06 - (12 - 2) \cdot 0.003 = 1,03, \end{aligned} \quad (2.24)$$

де f - коефіцієнт міцності порід за шкалою М.М. Протодьяконова.

Отриманий результат дозволяє визначити значення опору по підшві W_2 для наступних рядів свердловин, що переборює заряд даного діаметра з досягненням крупності дроблення, яка забезпечує раціональні режими роботи вантажно-транспортного комплексу, по формулі:

$$\begin{aligned} W_2 &= 1,05 \cdot d_{зск}^4 \sqrt[4]{\frac{\Delta \cdot Q}{f}} \text{ ,м,} \\ W_{2кк} &= 1,05 \cdot 0,254^4 \sqrt[4]{\frac{1300 \cdot 4300}{16}} = 6,5 \text{ м,} \\ W_{2ск} &= 1,05 \cdot 0,257^4 \sqrt[4]{\frac{1300 \cdot 4300}{12}} = 7 \text{ м,} \end{aligned} \quad (2.25)$$

де Δ - щільність заряджання, визначається обраною ВР, кг/м³;

Q - теплота вибуху обраної ВР, кДж/кг.

Обчислена величина, може бути опором по підшві для зарядів першого ряду, однак у цьому випадку обчислюють також значення опору по підшві (ОПП), що відповідає безпечним умовам роботи бурового обладнання на уступі:

$$W_{TB} = H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha_y + C_{\text{м}},$$

$$W_{TB} = 20 \cdot 0,36 + 2 = 9,3_{\text{м}}, \quad (2.26)$$

де H_y - висота уступу, м;

α_y - кут укосу уступу, град;

C - мінімальна безпечна відстань від верхньої бровки уступу до першого ряду свердловин, $C = 2-3$ м.

Для подальших розрахунків W_2 та W_{TB} порівнюють, більше з них приймають за W_1 .

Питома витрата - кількість ВР, що доводиться на одиницю об'єму гірських порід, забезпечує досягнення технологічної мети – розпушування порід перед екскавацією:

$$q = 12 \cdot \sqrt[4]{\frac{f^3 \cdot \Delta}{Q^3}}, \text{кг/м}^3$$

$$q_{KK} = 12 \cdot \sqrt[4]{\frac{16^3 \cdot 1300}{4300^3}} = 1,44_{\text{кг/м}^3} \quad (2.27)$$

$$q_{CK} = 12 \cdot \sqrt[4]{\frac{12^3 \cdot 1300}{4300^3}} = 0,87_{\text{кг/м}^3}$$

Довжина вертикальних свердловин на кар'єрах більше висоти уступу на величину перебуру:

$$l_c = H_y + l_{\text{ПЕР}}, \text{м},$$

$$l_{CKK} = 20 + 3,35 = 23,6_{\text{м}}, \quad (2.28)$$

$$l_{CK} = 20 + 2,94 = 23,2_{\text{м}},$$

де $l_{\text{ПЕР}} = 0,15H_y + 0,1f - 5d_3$ м.

$l_{\text{ПЕР}KK} = 0,15 \cdot 20 + 0,1 \cdot 16 - 5 \cdot 0,254 = 3,35$ м.

$l_{\text{ПЕР}CK} = 0,15 \cdot 20 + 0,1 \cdot 12 - 5 \cdot 0,257 = 2,94$ м

Досвід ведення вибухових робіт на глибоких кар'єрах доводить, що збільшення глибини перебуру понад 3,0 м є технологічно недоцільним. Це не забезпечує суттєвого покращення якості опрацювання підосви уступу, проте викликає значне переподрібнення та порушення цілісності скельного масиву на придонному рівні. Наслідком такого надмірного руйнування є заколи та тріщини, які суттєво ускладнюють подальше розгортання бурових робіт і забурювання шарошкових верстатів (типу СБШ) на суміжному нижньому горизонті. З огляду на це, задля збереження геомеханічної міцності підосви, довжину перебуру свердловини обмежують граничним значенням до 3,0 м, а в нормальних умовах ПрАТ «ІнГЗК» її раціональна величина становить 1,5-2,5 м. Удосконалення цього параметра у роботі дозволяє знизити питому витрату вибухових речовин у донній частині та стабілізувати стан робочого майданчика підстиляючого горизонту.

Відомі глибина й діаметр свердловини дозволяють визначити заряд у ній при відомій місткості одного метра свердловини за формулою:

$$P = \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} \cdot \Delta$$

$$P_{\text{кк}} = \frac{3,14 \cdot 0,254^2}{4} \cdot 1300 = 66 \text{ кг/м} \quad (2.29)$$

$$P_{\text{ск}} = \frac{3,14 \cdot 0,257^2}{4} \cdot 1300 = 67,6 \text{ кг/м}$$

Довжина забивки визначиться, як різниця між визначеною глибиною свердловини й довжиною заряду:

$$l_{\text{зав}} = l_{\text{св}} - \frac{W_2^2 \cdot H_y \cdot q}{P}, \text{ м.}$$

$$l_{\text{завкк}} = 23,2 - \frac{6,5^2 \cdot 20 \cdot 1,44}{66} = 4,6 \text{ м.} \quad (2.30)$$

$$l_{\text{завск}} = 23,6 - \frac{7^2 \cdot 20 \cdot 0,87}{67,6} = 10,2 \text{ м.}$$

Виконані обчислення дозволяють визначити відстань між свердловинами в першому ряді a_1 , що задовольняє двом умовам: достатності заряду для якісного руйнування порід перед першим рядом свердловин і місткості заряду в свердловині розрахованого діаметра:

$$a_1 = \frac{(l_{CB} - l_{3AB}) \cdot P}{W_1 \cdot H_y \cdot q}, \text{ м.}$$

$$a_{1KK} = \frac{(23,2 - 4,6) \cdot 66}{9,3 \cdot 20 \cdot 1,44} = 4,5 \text{ м.} \quad (2.31)$$

$$a_{1CK} = \frac{(23,6 - 10,2) \cdot 67,6}{9,3 \cdot 20 \cdot 0,87} = 5,5 \text{ м.}$$

Отриману величину порівнюють з лінією опору по підшві уступу для першого ряду W_1 , визначають коефіцієнт зближення зарядів у першому ряді:

$$m_1 = \frac{a_1}{W_1}$$

$$m_{1KK} = \frac{4,5}{9,3} = 0,48$$

$$m_{1CK} = \frac{5,5}{9,3} = 0,59$$

Якщо $m_1 \geq 0,65$, то диспропорція між ОПІ для зарядів першого ряду й відстанню між ними не дуже значна й дозволяє успішно перебороти розрахункове значення опору по підшві без використання додаткових технологічних прийомів. Якщо коефіцієнт зближення зарядів незначно менше 0,65 (наприклад, 0,6), можна зменшити довжину забійки для свердловин першого ряду в порівнянні з наступними на 1...1,5 м, що часто й роблять на кар'єрах. У цьому випадку збільшиться заряд у свердловинах першого ряду, що дозволить успішно зруйнувати більший обсяг порід і, отже, збільшити відстань між свердловинами a_1 , при цьому зменшиться диспропорція між цим параметром і значенням СПП.

Більш ефективний метод збільшення коефіцієнта зближення зарядів - застосування парних свердловин у першому ряді, що працюють при підриванні, як одна свердловина великого діаметра. Відстань між парними свердловинами при незмінному значенні W_1 визначають із таким розрахунком, щоб на пару свердловин доводився такий же обсяг гірських порід, як на дві свердловини в наступних рядах:

$$a_{1СП} = \frac{(l_{CB} - l_{3AB})2P}{W_y \cdot H_y \cdot q}.$$

$$a_{1СП_{кк}} = \frac{(23,2 - 4,6)2 \cdot 66}{9,3 \cdot 20 \cdot 1,44} = 9, \text{ м.}$$

$$a_{1СП_{ск}} = \frac{(23,6 - 10,2)2 \cdot 67,6}{9,3 \cdot 20 \cdot 0,87} = 11, \text{ м.}$$

У цьому випадку також необхідно порівняти значення коефіцієнта зближення зарядів для спарених свердловин із припустимим значенням (0,65):

$$m_{1СП} = \frac{a_{1СП}}{W_1}$$

$$m_{1СП_{кк}} = \frac{9}{9,3} = 0,96, \text{ м.}$$

$$m_{1СП_{ск}} = \frac{11}{9,3} = 1,18, \text{ м.}$$

Розрахунок та обґрунтування необхідної кількості бурового устаткування

Точне визначення чисельності бурового парку є критично важливим для забезпечення ритмічності всього гірничого виробництва ПрАТ «ІнГЗК». Ефективність експлуатації бурових верстатів (зокрема, типу СБШ) визначається не лише фізико-механічними властивостями та буримістю міцних залізистих кварцитів, а й раціональною організацією їхнього робочого часу. У сучасній практиці відкритих гірничих робіт розглядають два основні режими організації праці на буровій дільниці:

Безперервний графік роботи (тризмінний режим).

Організація робіт за безперервним тижнем у три зміни по 8 годин (або дві зміни по 12 годин) передбачає щоденну експлуатацію бурових верстатів без вихідних, тоді як екіпажі працюють за ковзним графіком. Головна перевага такого підходу - мінімізація інвентарного парку техніки, що суттєво знижує початкові капітальні інвестиції на закупівлю обладнання та зменшує частку амортизаційних відрахувань у собівартості видобутку. Водночас цей режим супроводжується дефіцитом резервної техніки. За такої схеми підготовка нових блоків до масових вибухів стає вкрай залежною від аварійних простоїв верстатів, а продуктивність буріння в нічний час традиційно знижується через погіршення умов видимості та оперативності обслуговування.

Перервний графік роботи (двохзмінний режим).

Робота у дві 8-годинні зміни з перервою на вихідні дні дозволяє виконувати планово-попереджувальні ремонти та технічне обслуговування якісно і без технологічного поспіху. Це суттєво знижує коефіцієнт аварійності устаткування та підвищує його чисту змінну продуктивність. Проте для виконання річної програми кар'єру за такого графіка потрібно залучати більшу кількість одиниць техніки, що збільшує капітальні витрати підприємства.

Зв'язок із напрямком удосконалення БВР

Впровадження інноваційних рішень щодо удосконалення параметрів буропідричних робіт (оптимізація геометрії сітки свердловин, застосування сучасних типів шарошкових доліт та коригування питомої витрати ВР) безпосередньо впливає на завантаження бурового парку. Рационалізація параметрів буріння дозволяє підвищити механічну швидкість проходки у кварцитах ІнгЗК, завдяки чому навіть за більш безпечного та стабільного графіка роботи можна досягти проектних обсягів підготовки гірської маси до підривання.

Потреба в інвентарній кількості бурових верстатів розраховується на основі балансу між річною експлуатаційною продуктивністю однієї машини та загальним обсягом буріння (в лінійних метрах), що необхідний для забезпечення планових показників видобутку. Загальний річний метраж свердловин безпосередньо залежить від показника виходу підірваної гірської маси з одного погонного метра виїмки.

Для базових умов, коли в першому ряду блоку проектується поодинокі (одиначні) свердловини, аналітичний розрахунок виконується за такою залежністю:

$$V = \frac{[W_1 + W_2(n-1)]H_y}{\left(\frac{1}{a_1} + \frac{n-1}{W_2}\right) \cdot l_c} \text{ м}^3,$$

$$V_{\text{кк}} = \frac{[9,3 + 6,5(3-1)]20}{\left(\frac{1}{4,5} + \frac{3-1}{6,5}\right) \cdot 23,2} = 37,3 \text{ м}^3,$$

$$V_{\text{ск}} = \frac{[9,3 + 7(3-1)]20}{\left(\frac{1}{5,5} + \frac{3-1}{7}\right) \cdot 23,6} = 43,3 \text{ м}^3,$$

де n - кількість рядів свердловин у блоці, шт.

Відоме значення виходу гірської маси з 1 м свердловини дозволяє визначити сумарну кількість метрів свердловин, необхідну для забезпечення річної продуктивності кар'єру:

$$\sum l = \frac{A}{V} k_{\text{втр}} \text{ м},$$

$$\sum l_{\text{кк}} = \frac{4000000}{37,3} \cdot 1,07 = 114745 \text{ м},$$

$$\sum l_{\text{ск}} = \frac{4000000}{43,3} \cdot 1,07 = 98845 \text{ м},$$

де $k_{\text{втр}}$ - коефіцієнт втрат свердловин, що у середньому можна прийняти рівним 1,07.

Потрібна кількість бурових верстатів визначається за формулою:

$$N_C = \frac{\sum l_c}{P_{3M} \cdot N_{3M} \cdot N_{PD}}, \text{шт.}$$

$$N_{C_{KK}} = \frac{\sum 114745}{46 \cdot 2 \cdot 365} = 4 \text{ шт.}$$

$$N_{C_{CK}} = \frac{\sum 98845}{46 \cdot 2 \cdot 365} = 3 \text{ шт}$$

де P_{3M} - змінна продуктивність бурового верстата, м/зміну (розрахувати згідно обраної моделі бурового верстата за відомою методикою);

N_{3M} - кількість змін роботи бурового устаткування на добу, змін.;

N_{PD} - кількість робочих днів у році (режим роботи кар'єра визначався у розділі 1, п.1).

Розрахована кількість верстатів дозволяє визначити інвентарну кількість бурових верстатів:

$$N_{\text{ВЕРСТ.ІНВ.}} = \sum N_{\text{ВЕРСТ.}} \cdot k_p, \text{шт.},$$

$$N_{\text{ВЕРСТ.ІНВ.КК}} = 4 \cdot 1,2 = 5 \text{ шт.},$$

$$N_{\text{ВЕРСТ.ІНВ.СК}} = 3 \cdot 1,2 = 4 \text{ шт.},$$

де k_p - коефіцієнт резерву, $k_p = 1,2$.

Визначення необхідної кількості засобів механізації заряджання, забивки свердловин і штату підричників

Потреба гірничодобувного підприємства в зарядній техніці визначається: річною витратою ВР; частотою проведення масових вибухів і часом, що відводиться на їхню підготовку; змінною продуктивністю зарядних машин.

Річна витрата ВР, обумовлена їхніми питомими витратами й масштабами гірського виробництва

$$Q_P = (A_{KK} \cdot q_{KK} + A_P \cdot q_P) \cdot 0.001 \text{т/рік},$$

$$Q_P = (4000000 \cdot 1,44 + 2840000 \cdot 0,87) \cdot 0.001 = 8231 \text{т/рік},$$

де A_{KK} , A_P – річна продуктивність кар'єру по різновидах скельних гірських порід, м³;

$q_{\text{кк}}, q_{\text{р}}$ – питомі витрати ВР у відповідних гірських породах, кг/м^3 .

За практикою провідних гірничодобувних підприємств країни частота проведення масових вибухів: $N_{\text{мас}}=2$ рази/міс (або раз у два тижні).

Вибравши частоту проведення підривних робіт, приймаємо обсяг середнього блока, що підривається, який дорівнює середній місячній продуктивності екскаватора на скельних породах $Q_{\text{міс}}$ (визначається в розділі 4). У цьому випадку кількість ВР у середньому блоці:

$$Q_{\text{БЛ}} = \frac{Q_{\text{міс}} \cdot q}{1000}, \text{т.}$$

$$Q_{\text{БЛ кк}} = \frac{639540 \cdot 1,44}{1000} = 920 \text{ т.}$$

$$Q_{\text{БЛ ск}} = \frac{639540 \cdot 0,87}{1000} = 556 \text{ т.}$$

Визначимо кількість блоків, що підриваються за один масовий вибух,

$$N_{\text{БЛ}} = \frac{Q_{\text{р}}}{Q_{\text{БЛ}} \cdot N_{\text{мас}} \cdot 12}, \text{шт.}$$

$$N_{\text{БЛ кк}} = \frac{8231}{920 \cdot 2 \cdot 12} = 1 \text{ шт.}$$

$$N_{\text{БЛ ск}} = \frac{8231}{556 \cdot 2 \cdot 12} = 1 \text{ шт.}$$

При дробовому значенні округляємо в більшу сторону.

Необхідна кількість зарядних машин для підготовки цих блоків визначиться за формулою:

$$N_{\text{ЗМ}} = \frac{N_{\text{БЛ}} \cdot Q_{\text{БЛ}}}{P_{\text{ЗМ}} \cdot N_{\text{н}}}, \text{шт.},$$

$$N_{\text{ЗМ кк}} = \frac{1 \cdot 920}{40 \cdot 2} = 12 \text{ шт.},$$

$$N_{\text{ЗМ ск}} = \frac{1 \cdot 556}{40 \cdot 2} = 7 \text{ шт.},$$

де $P_{\text{ЗМ}}$ – середня змінна продуктивність зарядної машини, яка залежно від обраної моделі змінюється від 25 до 60 т/зм ;

$N_{\text{н}}$ – кількість змін на підготовку вибуху, $N_{\text{н}} = 2 - 4$ зміни.

Інвентарну кількість зарядних машин визначаємо з урахуванням резерву:

$$N_{3M.інв.} = (1,15 \div 1,25) \cdot N_{3M}, \text{шт.}$$

$$N_{3M.інв.кк} = 1,2 \cdot 12 = 14 \text{ шт.}$$

$$N_{3M.інв.ск} = 1,2 \cdot 7 = 8 \text{ шт.}$$

Необхідна кількість забивних машин $N_{3AB} = A / Q_3$, шт,

$$N_{3AB.кк.} = 4000000 / 4000000 = 1 \text{ шт,}$$

$$N_{3AB.р.} = 2840000 / 4000000 = 1 \text{ шт,}$$

де $Q_3 = 4000000 \text{ м}^3/\text{рік}$ – середня річна продуктивність забивної машини; A – річна продуктивність кар'єра по різновидах порід (розраховуємо N_{3AB} окремо по розкриттю A_p та корисній копалині $A_{кк}$), м^3 .

Необхідна кількість підривників для виконання робіт із заряджання та забивки свердловин, монтажу підривної мережі при підготовці вибуху:

$$N_{пiдр.} = \frac{A}{Q_{пiд}}, \text{осіб.},$$

$$N_{пiдр.кк} = \frac{4000000}{600000} = 7 \text{ осіб.},$$

$$N_{пiдр.ск} = \frac{2840000}{600000} = 5 \text{ осіб.},$$

де $Q_{пiд} = 600000 \text{ м}^3$ - досягнута річна продуктивність підривників на діючих кар'єрах щодо підривної підготовки гірничої маси до виймання при повній механізації зарядних робіт.

2.4 Виймально-навантажувальні роботи

1) Технічна продуктивність екскаватора враховує умови роботи у вибої і є максимально можливою для даної моделі при безупинній роботі в конкретних умовах.

$$Q_T = \frac{3600 \cdot E \cdot k_n}{T_{\text{ц}} \cdot k_p}, \text{ м}^3 / \text{год.}$$

$$Q_T = \frac{3600 \cdot 10 \cdot 1,1}{25 \cdot 1,2} = 1269, \text{ м}^3 / \text{год.}$$

Коефіцієнти розпушення порід у ковші екскаватора (k_p) і коефіцієнт наповнення ковша (k_n) приймаються з урахуванням різновидів порід, що відпрацьовуються. Для умов курсової роботи приймаємо $k_p=1,2$; $k_n=1,1$.

2) Експлуатаційна продуктивність екскаватора враховує не лише конкретні умови, але й організацію процесу виймально-навантажувальних робіт за допомогою коефіцієнта використання екскаватора в часі робочої зміни:

$$Q_{\text{з}} = \frac{3600 \cdot E \cdot k_n}{T_{\text{ц}} \cdot k_p} \cdot k_{\text{вик.}} \cdot T_{\text{зм}}, \text{ м}^3 / \text{зміну},$$

$$Q_{\text{з}} = \frac{3600 \cdot 10 \cdot 1,1}{26 \cdot 1,2} \cdot 0,7 \cdot 12 = 10659, \text{ м}^3 / \text{зміну}$$

де $k_{\text{вик.}}$ – коефіцієнт використання екскаватора у змінному часі без врахування простоїв. Значення даного коефіцієнта залежить від виду застосовуваного транспорту і прийнятої схеми подачі його під навантаження і може бути взяте з технологічних довідників, або зі звітів технічних служб діючого підприємства. Для умов курсової роботи приймаємо $k_{\text{вик.}} = 0,7$; $T_{\text{зм}}$ – тривалість зміни, годин.

3) Добова $Q_{\text{доб.}}$, місячна $Q_{\text{міс.}}$ і річна $Q_{\text{річ.}}$ експлуатаційні продуктивності екскаватора визначаються з врахуванням режиму роботи кар'єру:

$$Q_{\text{доб.}} = Q_{\text{зм.}} \cdot n_{\text{зм.}}, \text{ м}^3 / \text{добу}; \quad Q_{\text{доб.}} = 10659 \cdot 2 = 21318, \text{ м}^3 / \text{добу};$$

$$Q_{\text{міс.}} = Q_{\text{доб.}} \cdot 30, \text{ м}^3 / \text{місяць}; \quad Q_{\text{міс.}} = 21318 \cdot 30 = 639540, \text{ м}^3 / \text{місяць};$$

$$Q_{\text{річ.}} = Q_{\text{доб.}} \cdot N_{\text{рд}}, \text{ м}^3 / \text{рік} \quad Q_{\text{річ.}} = 21318 \cdot 365 = 7781070, \text{ м}^3 / \text{рік}$$

4) Ґрунтуючись на вихідних даних річної продуктивності кар'єру за різними різновидами порід, визначаємо необхідну кількість виймально-навантажувального устаткування для виконання даних робіт:

$$N_{\text{кк}} = \frac{A_{\text{кк}}}{Q_{\text{річ.кк}}}, \text{шт.}; N_p = \frac{A_p}{Q_{\text{річ.р}}}, \text{шт.},$$

$$N_{\text{кк}} = \frac{4000000}{1333333} = 3, \text{шт.}; N_p = \frac{2840000}{1051851} = 3, \text{шт}$$

де $A_{\text{кк}}$, A_p – річна виробнича потужність кар'єру відповідно по корисній копалині та розкривних породах, м^3 ; $Q_{\text{річ.кк}}$, $Q_{\text{річ.р}}$ – експлуатаційна річна продуктивність екскаватора відповідно по корисній копалині та розкривних породах, $\text{м}^3/\text{рік}$.

5) Інвентарний парк екскаваторів визначається з урахуванням коефіцієнта резерву за формулою: $N_{\text{ІНВ.}} = N_{\text{ЕК.}} \cdot k_{\text{РЕЗ.}}$, де $k_{\text{РЕЗ.}}$ – коефіцієнт резерву ($k_{\text{РЕЗ.}} = 1,2$).

$$N_{\text{ІНВ.}} = 6 \cdot 1,2 = 7 \text{шт}$$

2.5 Транспортування кар'єрних вантажів

Основною задачею при виконанні даного розділу роботи є розрахунок експлуатаційної продуктивності кар'єрного транспорту, ґрунтуючись на якому необхідно розрахувати парк транспортного обладнання для забезпечення заданої виробничої потужності кар'єру.

Розрахунок автомобільного транспорту.

Робочий парк автосамоскидів установлюється за умовою забезпечення беззупинної роботи робочого парку екскаваторів при ритмічному подаванні порожніх автосамоскидів у вибій. Число автосамоскидів, що може ефективно використовуватися в комплексі з одним екскаватором, визначається за формулою:

$$N_p = \frac{T_p}{t_n}, \text{ шт, де } T_p - \text{ час рейсу, хв;}$$

$$N_p = \frac{27}{2,15} = 13$$

$$T_p = t_n + t_{\text{рух}} + t_p + t_m, \text{ хв,}$$

$$T_p = 2.15 + 24 + 1.07 + 0.4 = 27, \text{ хв}$$

де $t_n, t_{\text{рух}}, t_p, t_m$ - час відповідно навантаження, руху, розвантаження і маневрів, хв.

$$N_p = \frac{t_n + t_{\text{рух}} + t_p + t_m}{t_n}, \text{ шт.}$$

$$N_p = \frac{2.15 + 24 + 1.07 + 0.4}{2.15} = 13 \text{ шт.}$$

Час навантаження $t_n = n_k \cdot t_{\text{ц}}, \text{ хв, } t_n = 5 \cdot 0.43 = 2.15, \text{ хв, де } n_k - \text{ кількість ковшів, що розвантажуються у кузов автосамоскида; } t_{\text{ц}} - \text{ тривалість робочого циклу екскаватора, хв.}$

У залежності від співвідношення густини $\rho_{\text{п}}$ перевезеної породи, вантажопідйомності q_a автосамоскида, ємності V_a його кузова, число n_k

ковшів може обмежуватися ємністю кузова або вантажопідйомністю автосамоскиду. У той же час потрібно не забувати про раціональне співвідношення місткості ковша екскаватора та ємності кузова обраного автосамоскида, яке за досвідом діючих підприємств складає 3-5. При іншому співвідношенні можливо слід прийняти модель автосамоскида з іншими параметрами.

Кількість ковшів, що вантажаться до автосамоскиду:

$$n_{к.в} = \frac{V_a \cdot k_{гор.}}{E \cdot k_n} \text{ або } n_{к.г} = \frac{q_a \cdot k_p}{E \cdot k_n \cdot \rho_n}$$

$$n_{к.в} = \frac{50 \cdot 1.1}{10 \cdot 1.1} = 5 \quad n_{к.г} = \frac{130 \cdot 1.2}{10 \cdot 1.1 \cdot 3} = 4,7$$

де E – ємність ковша, m^3 ; k_p – коефіцієнт розпушення породи в ковші екскаватора; k_n – коефіцієнт наповнення ковша екскаватора; $k_{гор.} = 1,1 - 1,15$ – коефіцієнт, що враховує наповнення кузова автосамоскида з горою.

Розраховуємо n_k за обома умовами, округлюємо з точністю до 0,5 ковша та приймаємо менше з двох значень (яке задовольнятиме обом умовам).

Час руху автосамоскида визначається за формулою:

$$t_{рух.} = T_{ван.} + T_{пор.} = 60 \left(\frac{L_{ван.}}{v_{ван.}} + \frac{L_{пор.}}{v_{пор.}} \right), \text{ хв.},$$

$$t_{рух.} = T_{ван.} + T_{пор.} = 60 \left(\frac{3.04}{12} + \frac{3.04}{20} \right) = 24, \text{ хв.}$$

де $T_{ван.}$, $T_{пор.}$ – час руху автосамоскида відповідно з вантажем і без вантажу, хв; $L_{ван.}$, $L_{пор.}$ – довжина, відповідно, ділянок руху у вантажному та порожняковому напрямках, км. Для умов курсової роботи вважатимемо, що усереднене значення $L_{ван} = L_{пор} = L_{пп} + 3$, км.

$v_{ван.}$, $v_{пор.}$ – швидкості руху автосамоскида на цих ділянках, км/год. Для умов курсової роботи вважатимемо, що $v_{ван} = 12$ км/год; $v_{пор} = 20$ км/год.

Час розвантаження автосамоскида t_p включає час підйому кузова і час його опускання. Для автосамоскидів вантажопідйомністю до 40 тон він складає 60 секунд, при більшій вантажопідйомності – 70 – 90 секунд.

Час маневрів t_m при навантаженні автосамоскида залежить в основному від схеми під'їзду і знаходиться в межах 0-10, 20-25, 50-60 секунд відповідно до наскрізної, петльової та тупикової схеми.

Знаючи число автосамоскидів для обслуговування одного екскаватора, визначається число працюючих автосамоскидів для забезпечення роботи n -ї кількості екскаваторів за формулою:

$$N_{n.a.} = \sum_{i=1}^n N_i, \text{ шт.}$$

Число працюючих автосамоскидів можна також визначити за формулою:

$$N_{n.a.} = \frac{k_{\text{нер.}} \cdot W_{\text{доб.}}}{P_{a.зм.} \cdot n_{зм.}}, \text{ шт.,}$$

$$N_{n.a.} = \frac{1.1 \cdot 4150}{3141 \cdot 2} = 1 \text{ шт.,}$$

де $k_{\text{нер.}} = 1,1 - 1,15$ – коефіцієнт нерівномірності роботи;

$W_{\text{доб.}} = \frac{Q_{\text{кк.доб.}}}{\rho_{\text{кк}}} + \frac{Q_{\text{р.доб.}}}{\rho_{\text{р}}}$ – добовий вантажообіг кар'єру, т; $Q_{a.зм.}$ – змінна

експлуатаційна продуктивність автосамоскида, т; $W_{\text{доб.}} = \frac{3703}{3} + \frac{7888}{2,7} = 4156 \text{ т}$

$$Q_{a.зм.} = q_a \cdot k_q \cdot \frac{T_{зм.}}{T_p} \cdot k_{в.а.}, m;$$

$$Q_{a.зм.} = 130 \cdot 1,06 \cdot \frac{12}{0,42} \cdot 0,8 = 3141, m$$

k_q – коефіцієнт використання вантажопідйомності автосамоскида

$$k_q = \frac{n_{\kappa}}{n_{\kappa.q}};$$

$$k_q = \frac{5}{4,5} = 1,06$$

$T_{зм.}$ - тривалість зміни, година; T_p - час рейса, год;

$k_{в.а.} = 0,7 - 0,8$ – коефіцієнт використання автосамоскида в часі.

Частина автосамоскидів постійно знаходиться в ремонті і проходить технічне обслуговування, тому інвентарне число автосамоскидів складе:

$$N_{i.a.} = \frac{N_{p.a.}}{k_z}, \text{ шт,}$$

$$N_{i.a.} = \frac{1}{0,8} = 1, \text{ шт,}$$

де $k_z = 0,7 - 0,8$ – коефіцієнт технічної готовності парку.

Перепускна здатність автошляху (N) – це максимально можливе число автосамоскидів, що можуть пройти через визначену ділянку в одиницю часу. Вона залежить в основному від швидкості руху і кількості транспортних смуг. Під час руху автосамоскидів в одному напрямку годинна пропускна здатність автодороги складе:

$$N = \frac{60}{t_m} = \frac{1000 \cdot v}{k_{нер.} \cdot L_{без}},$$

$$N = \frac{60}{t_m} = \frac{1000 \cdot 12}{0,5 \cdot 23,76} = 1262$$

де t_m - інтервал часу між машинами, хв; v - швидкість руху, км/годину; $L_{без}$ - безпечна відстань між автосамоскидами, м; $k_{нер.} = 0,5 - 0,8$ – коефіцієнт нерівномірності руху.

Якщо швидкість руху у вантажному та порожняковому напрямках відрізняється, потрібно визначати перепускну здатність окремо для кожного напрямку.

Безпечна відстань між автосамоскидами складається з довжини гальмового шляху і довжини автосамоскида і повинне бути не менш 50 м. На горизонтальних прямолінійних ділянках ця відстань визначається за формулою:

$$L = v + 0,04v^2 + 6, \text{ м.}$$

$$L = 12 + 0,04 \cdot 12^2 + 6 = 23,76, \text{ м}$$

Провізна здатність автошляху визначається за формулою:

$$M = N \cdot q_{\phi}, \text{т/год},$$

$$M = 1262 \cdot 137,8 = 173903 \text{ т/год},$$

де $q_{\phi} = q_a \cdot k_q$ – фактична маса вантажу, перевезеного автосамоскидом, т.

$$q_{\phi} = 130 \cdot 1,06 = 137,8 \text{ т}.$$

2.6 Відвалоутворення розкривних порід

При доставці розкривних порід на відвали автомобільним транспортом частіше за все використовують бульдозерні відвали.

Необхідна площа під відвал:

$$S_{\phi} = \frac{V_p \cdot K_{p.\phi}}{H_{\phi} \cdot K_{\text{вик.}\phi}}, \text{м}^2,$$

$$S_{\phi} = \frac{4933332 \cdot 1,1}{20 \cdot 0,6} = 452222 \text{ м}^2,$$

де V_p – об'єм розкривних порід, що підлягає розміщенню у відвал, м^3 ; $K_{p.\phi}$ – коефіцієнт залишкового розпушення породи у відвалі (1,1-1,3); H_{ϕ} – висота відвалу, м (для одного ярусу 10-20 м; для двох ярусів 20-40 м); $K_{\text{вик.}\phi}$ – коефіцієнт використання площі відвалу: при одному ярусі 0,8-0,9; при двох ярусах 0,6-0,7.

Кількість автосамоскидів, що одночасно розвантажуються:

$$N_a = \frac{Q_{p.\text{год}} \cdot K_{\text{нер}} \cdot t_{\text{рм}}}{60 \cdot V_a}, \text{шт},$$

$$N_a = \frac{563 \cdot 1,25}{60 \cdot 53} = 1 \text{ шт},$$

де $Q_{p.\text{год}}$ – годинна продуктивність кар'єру по розкривних породах,

$Q_{p.\text{год}} = 4933332 / 365 \cdot 24 = 563 \text{ м}^3/\text{год}$; $K_{\text{нер}}$ – коефіцієнт нерівномірності роботи кар'єру (1,25-1,5); V_a – об'єм розкривної породи, що перевозить автосамоскид за один рейс, м^3 .

Довжина фронту розвантаження:

$$L_{\text{фр}} = N_{\text{а}} \cdot L_{\text{п}}, \quad \text{м},$$

$$L_{\text{фр}} = 1 \cdot 20 = 20 \text{ м},$$

де $L_{\text{п}}$ - ширина фронту відвалу, що обслуговується одним автосамоскидом, м (18-20 м).

Довжина відвального фронту, який складається з ділянок розвантаження, бульдозерного планування та резерву:

$$L_{\text{фв}} = 3 \cdot L_{\text{фр}}, \quad \text{м}.$$

$$L_{\text{фв}} = 3 \cdot 20 = 60 \text{ м}.$$

Кількість бульдозерів, що обслуговує відвал:

$$n_{\text{б}} = \frac{Q_{\text{р.зм}}}{Q_{\text{б.зм}}} \cdot k_{\text{рез.}},$$

$$n_{\text{б}} = \frac{3944}{1000} \cdot 1,25 = 4 \text{ шт.}$$

де $Q_{\text{р.зм}}$ – обсяг розкриття, що вивозиться з кар'єру протягом зміни, м^3 ;
 $Q_{\text{б.зм}}$ – змінна продуктивність бульдозера, що працює на відвалі; $k_{\text{рез.}}$ – коефіцієнт резерву (1,1- 1,25).

Для бульдозерів потужністю 75-200 кВт $Q_{\text{б.зм}} = 800\text{--}1300 \text{ м}^3/\text{зміну}$.

2.7 Екологічна рекультивація територій, порушених відкритими гірничими роботами

2.7.1 Сучасний стан та техногенний вплив кар'єрних полів на довкілля

Масштабний розвиток відкритого способу видобутку залізорудної сировини супроводжується відчуженням значних площ родючих земель та докорінною деструкцією природних екосистем. Техногенна трансформація ландшафтів гірничопромислових регіонів, зокрема в межах Кривого Рогу, завдає значних збитків навколишньому середовищу. Сучасні залізорудні кар'єри характеризуються величезними масштабами: їхня площа може

досягати 2,5-3 тис. га, а глибина перевищує 200-300 метрів (що повністю відповідає параметрам глибокого кар'єру ПрАТ «ІнГЗК»).

Експлуатація таких об'єктів призводить до повного знищення автохтонної рослинності, ліквідації природного ґрунтового покриву та суттєвого зниження рівнів підземних водоносних горизонтів. Окрім цього, відбувається інтенсивне пилоутворення, яке забруднює повітряний та водний басейни. На денну поверхню виноситься колосальний об'єм біологічно інертних або токсичних геохімічних сполук, концентрація яких у колообігу значно перевищує фонові показники. Екологічні дослідження свідчать, що деструктивний вплив кар'єру та його інфраструктури поширюється на прилеглі території, площа яких орієнтовно вдесятеро перевищує безпосередні межі відведення гірничих робіт. Без своєчасного відновлення відпрацьовані площі деградують, перетворюючись на антропогенні пустелі.

2.7.2 Технологія зняття, складування та нанесення родючого шару

Базовим етапом ефективного відновлення порушених територій є науково обґрунтоване визначення потужності родючого шару ґрунту, що підлягає зняттю перед початком гірничих розробок. Рекомендована глибина вилучення верхнього профілю становить 45-50 см для південних чорноземів та 55-60 см для чорноземів звичайних.

З метою мінімізації витрат доцільно застосовувати пряму схему рекультивації, за якої знята родюча маса безпосередньо вкладається на заздалегідь згладжену й сплановану поверхню промислових відвалів. Якщо пряме нанесення неможливе, ґрунт складують у тимчасові бурти (штабелі) заввишки 5-15 метрів. Для запобігання ерозії та деградації мікрофлори при тривалому зберіганні, ці накопичувачі засівають багаторічними бобовими культурами.

Для повноцінного відновлення біологічної продуктивності товщина нанесеного чорноземного шару має становити 40-60 см, що дозволяє

отримувати врожаї агрокультур на рівні непорушених регіональних земель. На родючість рекультивованого шару суттєво впливають властивості підстилаючих порід відвалу. Найбільш сприятливою основою під чорнозем є: лес; лесоподібні та червоно-бурі суглинки; піщано-глинисті відклади.

Навпаки, непридатними (токсичними або жорсткими) субстратами вважаються мергелі, крейда, вапняки та необроблені скельні фракції.

Для умов ПрАТ «ІнГЗК», де розкривні породи представлені переважно міцними скельними залізистими кварцитами та сланцями, якість підготовки підстилаючої основи відвалів безпосередньо залежить від параметрів БВР.

Удосконалення параметрів підривання вибухових блоків на розкривних горизонтах дозволяє отримати рівномірно подрібнену скельну масу з мінімальним вмістом негабаритів. Дрібнофракційний склад підірваних порід полегшує їхнє планування бульдозерами на відвалах, забезпечує високу щільність укладання субстрату, мінімізує утворення великих пустот і запобігає провалюванню та вимиванню нанесеного зверху родючого шару ґрунту під дією атмосферних опадів.

2.7.3 Агротехнічні та біологічні напрямки рекультивації

При відробці неглибоких ділянок родовищ (із заляганням покладів у межах 15-30 м) високу ефективність демонструє селективна двоярусна технологія виймання та складування. За цієї схеми малородючі або скельні породи відсипають у нижню зону відвального масиву, а сприятливі суглинки - у верхню. Для відновлення біопродуктивності розроблено спеціалізовані схеми сівозмін: парозернопросапна сівозміна (впроваджується за наявності потужного родючого наносу у 40–60 см): чистий пар, озима пшениця, кукурудза на зерно, горох, озима пшениця; або зайнятий пар (еспарцет), озима пшениця, кукурудза на силос, озима пшениця. Трав'яно-зернопросапна сівозміна (використовується при меншій товщині ґрунту та його підстиланні нелесовими породами): ярі колосові з підсівом багаторічних трав, трирічний

цикл багаторічних трав, озима пшениця, кукурудза на зерно, горох, озима пшениця, соняшник.

Через специфіку техногенного субстрату норми внесення мінеральних та органічних добрив на рекультивованих ділянках збільшують на 20-30% порівняно зі звичайними староорними угіддями. Також перспективним є фіто-напрямок із вирощуванням лікарських рослин (аптечної ромашки, нагідок, піщаного безсмертника, звіробою та великого подорожника). Окрім того, можливе створення садових агроценозів. Для цього чорнозем вносять локально у садивні ями або траншеї. Для оптимізації водного балансу на глибині 100-120 см облаштовують штучні водоупори, які акумулюють додатково до 40-60 мм вологи. На залишкових ділянках порушених площ (близько 25-30 %), які охоплюють фінальні контури виробок, відкоси бортів кар'єру та круті схили відвалів, де нанесення ґрунту є технічно неможливим, формують екосистеми іншого призначення. Тут створюють лісонасадження, мисливські чи кормові угіддя, штучні водойми та санітарно-захисні рекреаційні зони.

3 ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Основні екологічні проблеми при відкритій розробці родовища корисних копалин

1. Загальна характеристика екологічної проблематики при відкритій розробці. Розробка Інгулецького залізорудного родовища в умовах глибокого кар'єру ПрАТ «ІнГЗК» зумовлює потужне техногенне навантаження на довкілля. Масштабні гірничі роботи, значні обсяги розкриву, специфіка буровибухових технологій та інтенсивний рух великовантажного транспорту формують взаємопов'язаний комплекс екологічних викликів.

Для підприємства екологічні ризики мають системний характер. Вони призводять до вилучення значних площ під виробничі потреби, накопичення значних обсягів скельних порід, інтенсивного пилогазового забруднення, трансформації гідрогеологічного режиму, накопичення відходів збагачення, а також високого рівня сейсмічного, шумового та вібраційного навантаження. Цей комплекс деструктивних факторів безпосередньо погіршує стан повітряного басейну, земельних, водних та геологічних ресурсів, локальної флори і фауни, а також загальні умови проживання населення у Криворізькому регіоні.

2. Деструкція земельних ресурсів та ландшафтів

2.1 Вилучення земель

Розвиток кар'єру ПрАТ «ІнГЗК» вимагає постійного відчуження територій під розміщення виїмки, зовнішніх відвалів, хвостосховищ, мережі технологічних доріг та промислових майданчиків. Гірниче виробництво повністю руйнує природний рельєф, знищує родючий шар ґрунту та консервує значні земельні масиви, вилучаючи їх із господарського обігу на тривалий час.

2.2 Формування техногенного рельєфу

Багаторічна експлуатація родовища призвела до заміни природних екосистем штучними формами: глибокими кар'єрними котлованами, багатоярусними відвалами пустих порід та шламосховищами. Ці утворення докорінно змінюють локальний мікроклімат, природний водний баланс та напрямки поверхневого стоку дощових і талих вод.

3. Забруднення атмосферного повітря

3.1 Запиленість повітряного басейну

Інтенсивна генерація пилу є однією з найгостріших екологічних проблем. Основними джерелами дрібнодисперсного пилу, що містить залізисті кварцити та мінеральні домішки, є буріння свердловин шарошковими верстатами, масові вибухи, екскавація, дроблення та рух автосамоскидів. Поширенню пилових шлейфів сприяють посушливі періоди року, значна площа оголених поверхонь та вітрова ерозія сухих пляжів хвостосховищ чи укосів відвалів.

3.2 Газові викиди

Надходження токсичних газів в атмосферу генерується кар'єрним автотранспортом та роботою фабрик, проте найпотужнішим разовим джерелом є масові вибухи. Підривання значних мас вибухових речовин (ВР) призводить до утворення масштабних пилогазових хмар, які містять оксиди азоту, оксид вуглецю та сірчистий ангідрид. Зниження екологічного тиску на атмосферу у проекті досягається за рахунок оптимізації питомої витрати ВР, впровадження сучасних безтритилових емульсійних вибухових речовин із нульовим кисневим балансом (що мінімізує виділення отруйних газів) та застосування ефективної гідрозабойки свердловин для пригнічення пилу безпосередньо у момент вибуху.

4. Трансформація водного балансу та забруднення гідросфери

4.1 Зміна гідрогеологічних умов

Поглиблення кар'єру ПрАТ «ІнГЗК» супроводжується постійним водовідливом, що спричиняє осушення прилеглих територій, переформатування руху підземних вод та порушення природного

водообміну. Безперервне відкачування води формує велику за площею депресійну воронку.

4.2 Забруднення водних об'єктів

Кар'єрні та дренажні стоки, фільтраційні води хвостосховищ і змиви з проммайданчиків насичують водні ресурси важкими металами, нафтопродуктами, солями та завислими речовинами. Крім того, під час БВР залишки недореагованих компонентів вибухових речовин із підірваної маси можуть вимиватися атмосферними опадами та дренувати у підземні водоносні горизонти.

5. Проблеми техногенних накопичувачів (відвалів та хвостосховищ)

5.1 Відвалоутворення

Скельний розкриття потребує величезних площ для складування. Поверхні зовнішніх відвалів піддаються вітровій та водній ерозії, стаючи постійними джерелами пилу. Наявність крупноблочних фракцій та недосконале планування укосів створюють ризики втрати їхньої стійкості.

5.2 Експлуатація хвостосховищ

Відходи збагачення залізорудної сировини формують ризики транскордонного забруднення підземних вод через фільтрацію. У періоди посухи та сильних вітрів сухі пляжі хвостосховищ інтенсивно пилять, погіршуючи екологічний стан житлових масивів Інгулецького району.

6. Геомеханічна та геодинамічна стабільність масиву

Розвиток відкритих гірничих робіт докорінно змінює напружено-деформований стан скельного масиву. Це провокує небезпечні геомеханічні процеси: зсуви, осипання уступів та деформації бортів кар'єру.

Геодинамічні ризики суттєво посилюються під дією жорстких сейсмічних хвиль від масових вибухів. Роботою передбачено модернізацію параметрів БВР шляхом впровадження схем короткоуповільненого підривання з електронними детонаторами. Це дозволяє роздібнити вибуховий імпульс у часі, знизити руйнівну вібрацію на укоси кар'єру та стабілізувати неробочі борти за рахунок технології контурного підривання.

7. Сейсмічний, шумовий та вібраційний вплив

Робота бурових верстатів СБШ, залізничного та автотранспорту, дробильних комплексів та екскаваторів супроводжується постійним перевищенням допустимих санітарних норм по шуму. Проте найважчим за наслідками є динамічний вплив БВР. Масові вибухи викликають короткочасні, але потужні сейсмічні коливання масиву, які здатні викликати тріщиноутворення та передчасні деформації інженерних споруд кар'єру, комунікацій та найближчих цивільних будівель. Вдосконалення параметрів вибухової підготовки спрямоване на максимальне переведення енергії вибуху на корисну роботу з подрібнення руди, а не на генерацію паразитної сейсмічної хвилі.

8. Вплив на біосферу

Антропогенне перетворення ландшафту знищує природні біоценози, скорочує площі зелених насаджень і радикально погіршує умови існування локальної фауни. Запиленість та хімічне навантаження призводять до деградації ґрунтових мікроорганізмів та зниження біопродуктивності прилеглих територій.

9. Соціально-екологічні наслідки

Весь комплекс екологічних деструкцій кар'єру ПрАТ «ІнГЗК» прямо трансформується у соціальні проблеми. Регулярне накриття житлових кварталів пиловими хмарами після масових вибухів, вібраційне навантаження, акустичний дискомфорт від роботи важкої техніки та візуальна деградація історичного ландшафту знижують якість життя та рівень здоров'я місцевого населення. Саме тому модернізація БВР у напрямку підвищення їхньої екологічної безпеки є першочерговою інженерною та соціальною потребою.

10. Шляхи мінімізації екологічного навантаження

Для зниження деструктивного впливу кар'єру на довкілля впроваджується комплекс інженерно-екологічних заходів: активне пилопригнічення спеціалізованими розчинами та гідрообезпилювання вибоїв;

регулярне зрошення технологічних автодоріг кар'єру; поетапна рекультивація порушених гірничими роботами територій та біологічне озеленення укосів відвалів; багатоступенева очистка кар'єрних і дренажних стоків; безперервний геомеханічний моніторинг стійкості бортів кар'єру та системний екологічний контроль.

Найбільш перспективними стратегічними напрямками є перехід на внутрішнє відвалоутворення (заповнення відпрацьованого простору кар'єру), повторна утилізація техногенних відходів збагачення, а також комплексне використання розкривних порід.

Ефективність пилопригнічення закладається безпосередньо під час підготовки блоку до вибуху. Впровадження вдосконалених параметрів БВР (зокрема, внутрішньосвердловинної забойки із використанням спеціальних гідрогелів або водяних рукавів) дозволяє зв'язати до 60-80% дрібнодисперсного пилу ще в момент детонації заряду, суттєво зменшуючи об'єм пилогазової хмари, що піднімається над кар'єром ПрАТ «ІнГЗК».

11. Значення комплексного використання розкривних порід

Раціональне залучення скельного розкриву у вторинне виробництво дозволяє значно зменшити площі зовнішніх відвалів, мінімізувати пилоутворення з оголених поверхонь, скоротити загальні обсяги промислових відходів та підвищити сумарну економічну ефективність гірничо-збагачувального комбінату.

Скельні розкривні породи Інгuleцького родовища за своїми фізико-механічними властивостями є цінною сировиною і можуть масово застосовуватися у таких напрямках: виробництво різних фракцій будівельного щебеню; відсипання та ремонт внутрішньокар'єрних і регіональних автомобільних доріг; спорудження та нарощування огорожувальних дамб хвостосховищ; заповнення виїмок при технічному етапі рекультивації порушених земель.

Можливість використання розкривних порід для виробництва щебеню або дорожнього будівництва прямо залежить від гранулометричного складу

підірваної маси. Удосконалення параметрів буровибухових робіт (оптимізація інтервалів короткоуповільненого підривання, раціональний розподіл енергії вибуху в масиві та ліквідація негабаритів) дозволяє отримати рівномірно подрібнену гірську масу з високим виходом корисних фракцій. Це виключає потребу в додатковому дорогому механічному подрібненні порід перед їх переробкою, знижує навантаження на дробильні комплекси та робить утилізацію розкриву економічно вигідною для ПрАТ «ІнГЗК».

Експлуатація Інгuleцького родовища відкритим способом зумовлює масштабний техногенний тиск на навколишнє природне середовище. Серед ключових екологічних деструкцій виділяються: масштабна деформація земельних ресурсів, інтенсивне запилення та загазування повітряного басейну, трансформація підземних водоносних горизонтів, накопичення значних обсягів відходів збагачення, акустичне та вібраційне навантаження, а також руйнування локальних біоценозів.

Мінімізувати негативні наслідки гірничого виробництва дозволяє впровадження екологічно збалансованих технологічних рішень, проведення поетапної рекультивації порушених територій, оптимізація внутрішньокар'єрної логістики, повторна утилізація супутніх гірських порід та планомірний перехід до циркулярної моделі надрокористування. При цьому саме вторинна переробка та комплексне залучення розкритих мас у виробничий обіг виступає базовим вектором для підвищення рівня промислової безпеки ПрАТ «ІнГЗК» та підтримання екологічної стабільності всього Криворізького басейну.

3.2 Технологічні заходи для охорони довкілля на Інгuleцькому родовищі

1. Стратегія екологічної безпеки підприємства. Відкриті гірничі роботи на кар'єрі ПрАТ «ІнГЗК» сильно навантажують природу. Через це

комбінат впроваджує комплекс технологічних та організаційних рішень. Головна мета цих дій полягає у зниженні шкоди від видобутку руди.

Екологічна діяльність розвивається у кількох напрямках. Підприємство зменшує викиди пилу та газів. Фахівці очищують воду та відновлюють пошкоджені землі. Також знижується рівень технологічного шуму та вібрацій. Розкриті породи використовуються повторно. На кар'єрі працює постійний екологічний моніторинг. Сучасні правила вимагають переходу до безвідходного виробництва та циркулярної економіки.

2. Зменшення пилового навантаження

2.1 Очищення та зрошення кар'єрних доріг

Утворення пилу під час руху транспорту є серйозною проблемою. Для боротьби з пилом спецмашини регулярно поливають автомобільні шляхи. Потоки води зрошують вузли перевантаження руди. Дорожнє полотно постійно очищається від бруду. Іноді у воду додають спеціальні зв'язуючі реагенти. Такий підхід швидко знижує концентрацію пилу в повітрі. Робота водіїв стає безпечнішою. Самі кар'єрні самоскиди зношуються значно менше.

2.2 Пилопригнічення при бурінні свердловин

Шарошкові верстати СБШ під час роботи створюють багато небезпечного кварцового пилу. Для захисту атмосфери бурове обладнання оснащують системами мокрого буріння. Вода або спеціальна піна подається прямо у свердловину. Додатково працюють потужні пиловловлювачі та аспіраційні установки. Це повністю змінює санітарні умови на робочих горизонтах. Небезпечний пил не поширюється за межі бурового майданчика.

2.3 Захист від пиління відвалів та хвостосховищ

Сучі поверхні технологічних відвалів та хвостосховищ сильно пилять від вітру. Для зупинки цього процесу застосовують штучне зрошення поверхонь. Похилі укоси закріплюють спеціальними розчинами. На відпрацьованих ділянках проводять біологічну рекультивацію. Навколо небезпечних зон висаджують захисні лісосмуги. На хвостосховищах

працюють системи гідрозволоження. Фахівці постійно заливають водою сухі пляжі та зміцнюють захисні дамби.

Визначимо висновки щодо екологічної ролі буровибухового комплексу

Аналіз технологічних заходів показує пряму залежність між параметрами буровибухових робіт та екологічним станом кар'єру. Використання безтритилових емульсійних сумішей з нульовим кисневим балансом мінімізує виділення отруйних газів при масових вибухах. Застосування внутрішньосвердловинної гідрозабойки зв'язує дрібний пил безпосередньо у момент детонації. Ефективне пригнічення пилу та шламу при бурінні верстатами СБШ очищує внутрішній простір свердловин. Це дозволяє точно розмістити вибухові речовини та підвищує корисну дію вибуху. Рациональні параметри підривання блоків забезпечують рівномірне кусковатість скельного розкриву. Оптимальний фракційний склад без надмірного переподрібнення породи ліквідує появу дрібного відсіву. Завдяки цьому відсипані відвали майже не створюють пилу під дією вітру.

3. Заходи для охорони атмосферного повітря

3.1 Зменшення газових викидів від транспорту

Для зниження токсичних викидів від кар'єрних самоскидів комбінат оптимізує роботу логістичної мережі. На підприємстві діє постійний контроль технічного стану дизельних двигунів. Фахівці розробляють найкоротші транспортні маршрути та мінімізують роботу техніки на холостому ходу. Важливим етапом модернізації є поступове оновлення парку та перехід на сучасні енергоефективні машини. Також розглядаються можливості використання альтернативних джерел енергії у виробничому циклі.

3.2 Екологізація підривних робіт

Для зменшення обсягів виділення газів під час масових вибухів застосовуються нові технологічні рішення. Кар'єр повністю переходить на сучасні емульсійні вибухові речовини. Інженери ретельно розраховують та оптимізують параметри розташування свердловин. Підривання блоків

проводиться виключно поетапно. Обов'язково впроваджується короткоуповільнений спосіб ініціювання зарядів. Це дозволяє кардинально знизити утворення токсичних сполук, зменшити розміри пилогазової хмари та мінімізувати шкідливу сейсмічну вібрацію на масив порід.

Аналіз очищення повітряного басейну підтверджує ключову роль модернізації БВР у вирішенні екологічних проблем кар'єру. Параметри підривання блоків безпосередньо впливають на загальний рівень загазування та запиленості атмосфери. Заміна тротиловмісних вибухових речовин екологічними емульсійними аналогами зводить до мінімуму генерацію оксидів азоту та чадного газу. Повне згоряння суміші ліквідує появу шкідливого чорного диму над підірваним блоком. Короткоуповільнене підривання руйнує скельний масив послідовно. Енергія вибуху витрачається лише на корисну роботу з дроблення кварцитів. Завдяки цьому підірвана маса не підкидається високо вгору, що утримує пил та гази в межах вибою і спрощує їхнє подальше осадження. Роздроблення загальної маси вибуху на окремі мікро-імпульси за допомогою уповільнювачів знімає жорстке динамічне навантаження з бортів кар'єру. Це зупиняє утворення нових тріщин у неробочих уступах і зменшує додаткове осипання та запилення схилів.

4. Заходи для охорони водних ресурсів

4.1 Функціонування водовідливу та дренажу

Для захисту робочих зон кар'єру від підтоплення на підприємстві працює надійний водовідливний комплекс. Система включає потужні насосні станції, мережу дренажних свердловин, зумпфи для збору води та канали для відведення поверхневого стоку. Головними завданнями комплексу є оперативне видалення кар'єрних вод, зниження рівня водовіддачі масиву та підтримання геотехнічної стійкості робочих уступів.

4.2 Очищення стічних вод

Усі залучені у виробництво стоки проходять обов'язкову багатоступеневу підготовку. Для цього використовуються спеціальні ставки-

відстійники та системи механічної фільтрації. Очищення води допомагає кардинально зменшити скидання брудних промислових стоків у природні водойми, знижує загальне екологічне навантаження на регіон та дозволяє суттєво скоротити споживання свіжої води з природних джерел.

4.3 Впровадження оборотного водопостачання

Організація замкнутих циклів використання води є базовим екологічним рішенням комбінату. Цей підхід забезпечує постійне повторне залучення технічної води у виробничі процеси збагачувальної фабрики. У результаті підприємство досягає максимальної економії водних ресурсів та практично повністю ліквідує шкідливі скиди у навколишнє середовище.

5. Рекультивація пошкоджених земель

5.1 Гірничотехнічний етап рекультивації

Після завершення виїмки запасів на відпрацьованих горизонтах розпочинаються інженерні роботи з відновлення рельєфу. Фахівці виконують ретельне планування поверхонь, профілювання укосів, засипання внутрішніх порожнин кар'єру та стабілізацію відвальних масивів. Основна мета етапу полягає у підготовці понівеченої території до її подальшого безпечного використання.

5.2 Біологічний етап рекультивації

Цей етап спрямований на повне відновлення родючості та життєдіяльності території. Процес включає рівномірне нанесення заздалегідь збереженого шару чорнозему, хімічну підготовку субстрату, висаджування змішаних лісонасаджень та посів багаторічних трав. Біологічне відновлення повністю зупиняє вітрову ерозію та пиління відвалів, повертає локальні екосистеми та покращує загальний мікроклімат.

6. Раціональне поводження з розкритими породами

6.1 Вторинна переробка та комплексне залучення розкриву

Повторна утилізація скельного розкриву є найважливішим екологічним вектором підприємства. Міцні породи Інгuleцького родовища слугують цінною сировиною для дорожнього будівництва та виробництва фракційного

будівельного щебеню. Також цей матеріал масово використовується для зведення огорожувальних дамб хвостосховищ, заповнення пустот при рекультивації та формування внутрішніх відвалів. Такий підхід зупиняє розростання зовнішніх відвалів, ліквідує промислові відходи та підвищує загальну рентабельність комбінату.

6.2 Організація внутрішнього відвалоутворення

Складування пустих порід безпосередньо у відпрацьований простір кар'єру демонструє високу екологічну та економічну ефективність. Переміщення маси у внутрішню зону виїмки виключає потребу у відчуженні нових родючих земель під зовнішні відвали. Одночасно підприємство значно скорочує відстань перевезення порід автосамоскидами, що зменшує транспортні витрати та знижує обсяг вихлопних газів.

Ефективність захисту водних ресурсів, якість рекультивації та рівень повторного використання розкритих порід прямо визначаються якістю ведення БВР. Модернізація вибухових параметрів закладає основу для успішної реалізації всіх екологічних програм підприємства. Впровадження контурного підривання та оптимізація мережі свердловин мінімізують утворення тріщин у глибині неробочих бортів кар'єру. Це запобігає додатковому руйнуванню природних водоупорів, знижує приплив підземних вод у кар'єрну виїмку та полегшує роботу насосних станцій водовідливу. Отримання рівномірної кусковатості породи при вибуху спрощує її подальше переміщення бульдозерами під час планування майданчиків. Відсутність негабаритів дозволяє створити щільну та стабільну основу відвалу, що виключає просідання ґрунту та вимивання нанесеного зверху родючого шару чорнозему. Гранулометричний склад підірваного скельного розкриву є ключовим фактором для його утилізації. Раціональні параметри БВР гарантують високий вихід корисних дрібних фракцій безпосередньо у вибої. Така порода не потребує додаткового механічного подрібнення і може відразу транспортуватися для відсипання автомобільних доріг, формування дамб хвостосховищ або переробки на будівельний щебінь.

7. Заходи для зниження шуму та вібрацій

7.1 Зменшення акустичного навантаження

Для зниження рівня технологічного шуму від роботи гірничого устаткування на підприємстві застосовуються спеціальні шумопоглинаючі та ізолюючі конструкції. Усі механізми кар'єру проходять регулярне технічне обслуговування для ліквідації підвищеного тертя та вібрацій вузлів. Інженери ретельно оптимізують режими експлуатації важкої техніки з урахуванням часу доби та розташування житлових масивів.

7.2 Мінімізація динамічного впливу вибухів

Для зниження руйнівної сейсмічної хвилі та вібраційного навантаження від масових вибухів кар'єр використовує передові методики проектування. Основними рішеннями є обов'язковий перехід на короткоуповільнене підірвання та чітке поетапне ініціювання зарядів у блоці. Також проводиться сувора оптимізація та обмеження максимальної маси одночасно підірваних зарядів вибухових речовин.

8. Геомеханічний та екологічний моніторинг

На промисловому майданчику діє безперервний автоматизований контроль основних чинників безпеки. Фахівці щоденно відстежують стан атмосферного повітря, якість підземних і поверхневих вод, а також рівень виробничого шуму та вібрацій. Особлива увага приділяється оцінці стійкості бортів кар'єру та виявленню прихованих деформацій скельного масиву. Для збору даних використовуються сучасні геодезичні супутникові системи, високоточне лазерне сканування уступів, мережа автоматизованих датчиків та детальні цифрові моделі кар'єрного простору.

9. Енергозберігаючі та ресурсозберігаючі технології

Сучасна модернізація гірничого виробництва базується на зниженні загальної енергомісткості основних процесів видобутку. Підприємство активно впроваджує комплексну автоматизацію та цифровізацію управління потоками вантажів. На заміну застарілим машинам приходить високопродуктивна енергоефективна техніка. Такі кроки дозволяють

кардинально скоротити витрати палива та електроенергії, суттєво зменшити викиди вуглекислого газу в атмосферу та підвищити загальну рентабельність комбінату.

10. Екологічна ефективність природоохоронних заходів

Планомірне впровадження інноваційних екологічних технологій гарантує відчутне зниження техногенного тиску на Кривбас. Результатом цих заходів є очищення повітряного басейну, зупинка розростання пошкоджених земель, зменшення накопичення відходів збагачення та загальне підвищення рівня безпеки промислової зони. Особливий пріоритет надається повторній утилізації супутніх відходів, комплексному освоєнню мінеральної сировини та повному відходу від спорудження нових зовнішніх відвалів.

Усі технологічні заходи на Інгулецькому родовищі підпорядковані ідеї сталого розвитку. Завдяки вторинній переробці розкривних порід ПрАТ «ІНГЗК» не лише зменшує екологічні ризики, а й суттєво покращує власні економічні показники. Реалізація таких програм є обов'язковою умовою для безпечного майбутнього всього гірничодобувного регіону.

Ефективність моніторингу, захисту споруд від вібрацій та загальний успіх ресурсозберігаючих програм безпосередньо координуються з параметрами буровибухових робіт. Модернізація технології БВР виступає першоджерелом зниження екологічних та геомеханічних ризиків. Оптимізація маси зарядів та розподіл часу їхнього спрацювання через короткоуповільнене підривання гасить паразитуючі коливання землі. Це захищає будівлі Інгулецького району та капітальні споруди кар'єру від тріщин і руйнувань, утримуючи вібрацію в межах безпечних санітарних норм. Захист бортів від руйнівної дії вибуху спрощує геомеханічний моніторинг. Контурне підривання блоків запобігає появі заколів у масиві. Це дозволяє лазерним сканерам та автоматизованим датчикам фіксувати природний стан уступів без аномальних зрушень порід. Якісне вибухове подрібнення міцних залізистих кварцитів безпосередньо у вибої зменшує витрати палива екскаваторами та кар'єрними самоскидами при навантаженні

й транспортуванні. Отримання оптимального гранскладу руди знижує навантаження на великогабаритні дробарки, забезпечуючи колосальну економію електроенергії на збагачувальній фабриці.

3.3 Система протиаварійного захисту та безпека праці в кар'єрі

1. Основи промислової безпеки

Відкриті гірничі роботи належать до виробництв із підвищеним рівнем небезпеки. Для запобігання виробничому травматизму, аваріям та професійним захворюванням на підприємстві діє комплексна система охорони праці. Вона охоплює всі технологічні ланки та етапи розробки кар'єрного поля.

2. Геомеханічний контроль та захист від обрушень

Раптові обрушення та зсуви гірської маси є серйозною загрозою для життя персоналу. Маркшейдерська та геологічна служби ПрАТ «ІнГЗК» ведуть безперервний інструментальний моніторинг стану робочих уступів і неробочих бортів. Фахівці суворо контролюють збереження проектної ширини запобіжних берм та нормативних кутів укосу. Діє жорстке технологічне правило: будь-яке важке устаткування, включаючи бурові верстати СБШ та екскаватори, розміщують виключно на безпечній відстані від верхньої бровки уступу, тобто за межами призми можливого сползання порід.

3. Організація безпеки при буровибухових роботах

Підготовка та проведення масових вибухів є найбільш відповідальним етапом гірничого виробництва. Під час вогневих робіт на комбінаті вводиться особливий режим безпеки: межі небезпечної зони, радіус якої становить не менше 350 метрів, повністю перекриваються постами охорони; у кар'єрі та на прилеглих територіях діє багаторівнева система звукового сповіщення за допомогою сирен; увесь персонал та рухомий склад техніки,

які не задіяні у вибухових операціях, заздалегідь евакуюються за межі небезпечного контуру.

4. Безпечна експлуатація технологічного транспорту та навантажувальних машин

Рух у кар'єрному просторі підпорядковується суворим внутрішнім правилам. Маршрути руху великовантажних автосамосвалів регулюються спеціальними дорожніми знаками, обмеженнями швидкісного режиму та постійним радіозв'язком із диспетчерською службою. Під час роботи навантажувального обладнання категорично забороняється перебування людей у радіусі дії стріли екскаватора та в його сліпих зонах. Будь-які маневри кар'єрних машин починаються лише після подачі чіткого звукового сигналу.

5. План ліквідації аварій (ПЛА)

На випадок виникнення нештатних ситуацій, таких як загоряння техніки, раптові зсуви укосів або зупинка головного водовідливу, на комбінаті діє чіткий План ліквідації аварій. Відповідно до його вимог у кар'єрі постійно підтримуються у робочому стані резервні шляхи евакуації. Усі робочі горизонти забезпечені надійним дублюючим зв'язком, первинними засобами пожежогасіння, інструментами рятування та медичними аптечками.

6. Індивідуальний захист персоналу

Мінімізація людського фактора досягається через суворий контроль допуску до виконання робіт. Працівники виходять на зміну лише після обов'язкового медичного огляду та отримання цільового інструктажу з техніки безпеки. Кожен гірник забезпечується повним комплектом засобів індивідуального захисту (ЗІЗ): ударостійкою каскою, протипиловим респіратором, захисними окулярами та спецодягом зі світловідбиваючими смугами для максимальної видимості у вибої.

Аналіз протиаварійного захисту та охорони праці доводить, що рівень загальної безпеки в кар'єрі прямо залежить від параметрів ведення

буровибухових робіт. Модернізація технології БВР є першочерговим фактором зниження виробничих ризиків. Впровадження контурного підривання та оптимізація інтервалів уповільнення при вибуху суттєво зменшують динамічний удар по масиву. Це запобігає появі заколів та тріщин біля бровки уступу, мінімізує розміри призми сползання та гарантує безпечне розміщення бурових верстатів СБШ під час обурення нових блоків. Використання сучасних неелектричних систем ініціювання та електронних детонаторів дозволяє чітко керувати напрямком розвалу підірваної руди. Компактний розвал виключає неконтрольований розліт шматків скелі, що підвищує безпеку постів охорони та дозволяє оптимізувати межі небезпечної зони кар'єру. Раціональні параметри БВР із використанням екологічних емульсійних вибухових речовин та внутрішньосвердловинної гідрозабойки різко знижують об'єми пилу та токсичних газів. Атмосфера у вибої очищується значно швидше. Це ліквідує сліпі зони через запиленість, покращує видимість для водіїв самоскидів та машиністів екскаваторів, а також знижує навантаження на індивідуальні респіратори гірників.

3.4 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів на відкритих гірничих роботах

Специфіка видобутку залізорудної сировини в кар'єрі полягає в тому, що персонал виконує завдання під відкритим небом, в умовах інтенсивного руху важкої техніки та постійної взаємодії зі скельним масивом. Усі виробничі ризики інженери з охорони праці чітко поділяють на дві великі групи: шкідливі (впливають поступово та викликають професійні захворювання) та небезпечні (можуть призвести до миттєвого травмування).

1. Шкідливі виробничі фактори

Запиленість та загазованість робочої зони

Це базова проблема будь-якого глибокого кар'єру. Кожна технологічна операція буріння, підривання масиву, екскавація руди та рух

великовантажних самоскидів піднімає в повітря значні об'єми мінерального пилу. Окрім цього, у вибоях накопичуються вихлопні гази від потужних дизельних двигунів та токсичні оксиди після масових вибухів. Тривале дихання такою сумішшю без використання захисних засобів загрожує розвитком силікозу легень.

Шумове та вібраційне навантаження

Кабіни машиністів екскаваторів, шарошкових бурових верстатів та технологічного транспорту постійно перебувають у зоні підвищеного промислового гуркоту. Робота потужних силових агрегатів також передає на тіло робітника відчутну вібрацію. З часом це чинить негативний вплив на нервову систему, викликає професійну туговухість та вібраційну хворобу.

Складні мікрокліматичні умови

Виробничий процес у кар'єрі триває цілодобово за будь-якої погоди. Влітку скельні породи сильно розжарюються, перетворюючи вибій на закриту теплову зону, а взимку гірники потерпають від пронизливого вітру та низьких температур. На найглибших горизонтах ситуація додатково ускладнюється слабким природним провітрюванням кар'єрного простору.

2. Небезпечні виробничі фактори

Геомеханічні загрози

В умовах постійного порушення цілісності скельного масиву завжди зберігається ризик раптового обрушення породи з верхніх уступів, зсуву бортів або падіння окремих негабаритних шматків руди з ковша екскаватора під час завантаження самоскидів.

Рух великогабаритного технологічного транспорту

Кар'єрні автосамосвали мають значні лінійні розміри і великі сліпі зони. Перебування або переміщення людей поблизу працюючого екскаватора чи маневруючого самоскида несе пряму загрозу наїзду, затискання або травмування.

Електротравматизм

Практично все важке гірниче обладнання (механічні лопати, бурові верстати СБШ) живиться від мережі з напругою 6 кВ. Високовольтні гнучкі кабелі прокладаються безпосередньо по землі на робочих майданчиках. Будь-яке пошкодження ізоляції гострим уламком скелі або наїзд техніки створює смертельну небезпеку враження струмом.

Вибухові роботи

Контакт із промисловими вибуховими речовинами завжди пов'язаний із ризиком передчасної детонації, розлітанням осколків порід за межі розрахункового контуру або зіткненням робочого органу екскаватора із зарядом, що не спрацював (відказом), під час відвантаження раніше підірваного блоку.

Наявність такого спектра загроз вимагає від керівництва комбінату стовідсоткового забезпечення гірників засобами індивідуального захисту (касками, респіраторами, навушниками) та безкомпромісного контролю за дотриманням паспортів ведення гірничих робіт.

3.5 Технічні та організаційні заходи безпеки

Щоб звести до мінімуму виробничі ризики та захистити життя гірників, у кар'єрі впроваджується двохуровнева система профілактики травматизму. Вона складається з інженерних (технічних) рішень та строгих управлінських (організаційних) правил, які найбільш ефективно працюють виключно в комплексі.

1. Технічні заходи (інженерний захист)

Цей блок завдань спрямований на те, щоб фізично усунути небезпеку або зробити саму техніку максимально надійною:

Механізація та автоматизація процесів

Максимальна заміна ручної праці машинною в потенційно небезпечних зонах кар'єру. Сюди належить впровадження бурових верстатів із

можливістю дистанційного керування або використання автоматизованих змішувально-зарядних машин для заповнення свердловин вибухівкою.

Блокування та захисні огороження

Усі відкриті рухомі частини механізмів, включаючи приводи конвейєрів та лебідки екскаваторів, закриваються міцними металевими кожухами. Техніка в обов'язковому порядку оснащується автоматичними звуковими сигналами заднього ходу та бортовими системами відеогляду сліпих зон.

Нормалізація санітарно-гігієнічних умов

Кабіни кар'єрних самоскидів та екскаваторів повністю герметизуються. Їх обладнують системами клімат-контролю, установками глибокої очистки повітря та віброізоляційними кріслами. Це надійно захищає машиніста від пилу, промислового шуму та температурних перепадів навколишнього середовища.

Освітлення робочих зон

Оскільки кар'єр працює цілодобово, для безпеки ночних змін усі діючі вибої, перевантажувальні пункти та відвали висвітлюються потужними щогловими прожекторами. На самих гірничих машинах монтується посилена світлодіодна оптика.

Інструментальний моніторинг масиву

Для раннього виявлення ознак зсуву гірських порід маркшейдерська служба використовує високоточні лазерні сканери та радари. Вони фіксують найменші деформації та зрушення бортів кар'єру з міліметровою точністю.

2. Організаційні заходи (управління персоналом)

Ця група заходів чітко регламентує поведінку працівників на виробничих об'єктах. Вона не вимагає значних капітальних витрат, але є критично важливою для підтримання високої трудової дисципліни:

Аналіз небезпечних факторів та інженерних методів захисту підтверджує, що рівень безпеки праці в кар'єрі ПрАТ «ІнГЗК» безпосередньо координується з параметрами ведення БВР. Модернізація вибухових робіт є

ключовим інструментом для нейтралізації більшості виробничих ризиків. Впровадження вдосконалених параметрів БВР із використанням сучасної внутрішньосвердловинної забойки дозволяє пригнічувати пил безпосередньо у момент детонації блоку. Це різко знижує загальну запиленість вибоїв, зменшує навантаження на індивідуальні респіратори та захищає гірників від ризику розвитку силікозу. Перехід на короткоуповільнене підривання з електронними детонаторами руйнує скельний масив послідовно та м'яко. Відсутність потужного одноразового динамічного удару запобігає появі заколів та тріщин на верхніх уступах. Це ліквідує загрозу раптових обрушень стінок кар'єру та забезпечує стабільність робочих майданчиків для бурових верстатів СБШ. Оптимізація сітки розташування свердловин та точний розрахунок маси зарядів гарантують якісне та рівномірне подрібнення міцних залізистих кварцитів. Повне і надійне спрацювання всієї серії виключає появу небезпечних вибухових відказів у підірваній масі. Рівномірний грансклад підірваної руди усуває появу великих негабаритів, що унеможлиблює їхнє випадіння з ковша екскаватора під час завантаження самоскидів.

2. Небезпечні виробничі фактори

Геомеханічні загрози

Постійне порушення цілісності гірського масиву створює ризик раптових обрушень. Порода може обвалитися з верхнього уступу або спровокувати зсув усього борта кар'єру. Також існує небезпека падіння великих шматків руди (негабаритів) із ковша екскаватора під час завантаження транспорту.

Рух великогабаритної техніки

Кар'єрні автосамосвали мають величезні розміри та значні сліпі зони. Перебування людей біля працюючих екскаваторів або маневруючих машин створює пряму загрозу наїзду чи затискання.

Електротравматизм

Важке гірниче обладнання (екскаватори та бурові верстати СБШ) працює під високою напругою 6 кВ. Гнучкі кабелі живлення лежать прямо на землі робочих майданчиків. Пошкодження їхньої ізоляції гострою породою або колесами техніки викликає смертельну небезпеку ураження струмом.

Вибухові роботи

Використання промислових вибухових речовин завжди пов'язане з високим ризиком. Сюди належать загрози передчасної детонації та розлітання уламків скелі за межі небезпечної зони. Також існує ризик наїзду екскаватора на заряд, який не спрацював (відказ), під час відвантаження підірваного блоку.

Керівництво комбінату зобов'язане стовідсотково забезпечувати гірників засобами індивідуального захисту. На підприємстві діє безкомпромісний контроль за дотриманням паспортів ведення гірничих робіт.

3.6 Пожежна безпека та заходи цивільного захисту

Гірничодобувний комплекс належить до об'єктів підвищеної небезпеки. Це зумовлено не лише специфікою видобутку, а й концентрацією величезних об'ємів горючих матеріалів та роботою потужного електрообладнання. Захист персоналу та майна підприємства чітко ділиться на два вектори: локальну пожежну безпеку та глобальний цивільний захист.

1. Забезпечення пожежної безпеки в кар'єрі

Захист важкої техніки

Автосамосвали, екскаватори та бурові верстати СБШ становлять найбільший пожежний ризик. Їхні системи заправлені сотнями літрів дизельного палива та гідравлічних масел. Уся кар'єрна техніка в обов'язковому порядку комплектується бортовими автоматичними системами пожежогасіння та ручними вогнегасниками (вуглекислотними і

порошковими). Експлуатація машин із підтіканням паливно-мастильних матеріалів категорично заборонена.

Електробезпека та вогневі роботи

Живлення екскаваторних вибоїв здійснюється через гнучкі високовольтні кабелі під напругою 6 кВ. Для запобігання займанню від короткого замикання мережу оснащують системами миттєвого релейного захисту. Будь-які зварювальні та інші вогневі роботи в кар'єрі проводяться виключно за спеціальним нарядом-допуском. Майданчик перед цим повністю очищають від займистих матеріалів.

Мобільний резерв пожежогасіння

Робочі горизонти розташовані далеко від стаціонарних пожежних частин. Через це інженери використовують ефективне комбіноване рішення. Кар'єрні поливальні машини, які зазвичай борються з пилом, обладнують спеціальними пожежними рукавами. У разі загоряння вони миттєво перетворюються на високопродуктивні мобільні засоби гасіння вогню.

2. Заходи цивільного захисту

Сповіщення та евакуація

Для випадків глобальних надзвичайних ситуацій (техногенних аварій, стихійних лих чи військових загроз) весь простір кар'єру покритий мережею потужних сирен та гучномовців. При оголошенні тривоги гірничий диспетчер дає команду на повну зупинку робіт. Він координує безпечне виведення людей та вивезення техніки з глибоких горизонтів на поверхню за затвердженими маршрутами.

Фонд захисних споруд

Для збереження життя персоналу комбінат підтримує у стані постійної готовності спеціальні укриття. Ці захисні об'єкти забезпечені системами автономної вентиляції, резервним електроживленням, запасами питної води, медикаментами та надійним підземним зв'язком зі штабом цивільного захисту.

Підготовка персоналу

Безпека під час надзвичайних ситуацій залежить від правильних дій кожного робітника. На підприємстві сформовані добровільні пожежні дружини та ланки першої медичної допомоги. Весь штат комбінату регулярно бере участь у протиаварійних тренуваннях. Вони відпрацьовують алгоритми порятунку в умовах нульової видимості чи відсутності зв'язку.

Аналіз протипожежного захисту та заходів цивільної оборони підтверджує безпосередній зв'язок між загальним рівнем безпеки в кар'єрі ПрАТ «ІнГЗК» та параметрами ведення БВР. Модернізація вибухових технологій є базовим елементом профілактики масштабних надзвичайних ситуацій техногенного характеру. Попередження пожеж при вибухах: Впровадження сучасних емульсійних вибухових речовин повністю виключає ризик виникнення відкритих вогнищ або тривалого горіння в підірваній масі. Екологічно збалансований склад суміші забезпечує миттєву детонацію без утворення гарячих недогарків, що захищає кабелі живлення 6 кВ та паливні баки екскаваторів від загоряння при первинному контакті з підірваним блоком. Безпечне поводження з відказами: Оптимізація параметрів буріння та використання надійних неелектричних систем ініціювання зводять до нуля ймовірність появи вибухових відказів у вибої. Це усуває небезпеку випадкового підриву заряду від тертя чи іскри при подальшому навантаженні руди екскаваторами, захищаючи важку техніку від пожеж та механічних руйнувань. Взаємодія елементів цивільного захисту: Чітке регламентування меж небезпечних зон при БВР та використання кар'єрних поливальних машин мають подвійний ефект. У штатному режимі ця техніка гасить пилові хмари безпосередньо у вибоях, а в разі аварії чи пожежі виступає готовим високомобільним резервом для локалізації вогню на далеких технологічних горизонтах до прибуття основних рятувальних підрозділів.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Виконано інженерні розрахунки для оптимізації та підвищення безпеки буровибухового комплексу на залізорудному кар'єрі ПрАТ «ІнГЗК». Суть запропонованих рішень полягає в переході на прогресивні технології руйнування міцних залізистих кварцитів та супутнього розкриву. Запропоновано: повна заміна застарілих тротиловмісних вибухових речовин на сучасні екологічно збалансовані емульсійні суміші з нульовим кисневим балансом. Впровадження високоточних неелектричних систем ініціювання та електронних детонаторів замість традиційних хвильових схем. Ретельне перерахування геометрії сітки розташування свердловин та оптимізація величини перебуру для гарантованого пробиття підосви уступу. Модернізація конструкції заряду шляхом обов'язкового використання внутрішньосвердловинної гідрозабойки на основі спеціальних гелів або водяних рукавів. Перехід на передові схеми багаторядного короткоуповільненого підривання з індивідуальним розрахунком інтервалів для кожної свердловини.

Реалізація запропонованого комплексу буровибухових рішень забезпечує підприємству переваги на всіх етапах виробничого циклу.

Раціональний розподіл енергії вибуху в масиві гарантує рівномірне кусковатість підірваної маси та повністю ліквідує появу великих негабаритів. Це дозволяє кар'єрним екскаваторам працювати без вимушених зупинок на вторинне розбивання скельних шматків. Одночасно чисте відпрацювання підосви уступу усуває появу порогів та недопідривів. Гідравлічні екскаватори отримують можливість легко зачищати гладку основу вибою самостійно, що виключає потребу в додатковому залученні важких бульдозерів.

Отримання дрібнофракційного розвалу руди позитивно впливає на роботу великовантажних автосамосвалів. Дрібна порода лягає в кузов плавно, без жорстких динамічних ударів. Це суттєво зменшує механічний

знос підвіски, захищає дорогу кар'єрну гуму від порізів та збільшує міжремонтний період експлуатації всього технологічного транспорту.

Використання емульсійних сумішей замість тротилу зводить до мінімуму генерацію отруйних оксидів азоту та чадного газу в атмосферу. Внутрішньосвердловинна гідрозабойка зв'язує дрібнодисперсний мінеральний пил безпосередньо у момент детонації. Завдяки короткоуповільненому підриванню підірвана маса руйнується послідовно і не підкидається високо вгору. Пил та гази утримуються всередині вибою, що захищає атмосферу Інгулецького району від накриття масштабними пиловими хмарами.

Роздроблення загальної маси вибуху на серію послідовних мікроімпульсів гасить паразитуючу сейсмічну хвилю. Відсутність жорсткого одноразового удару по землі захищає від руйнувань капітальні будівлі навколо кар'єру та комунікації комбінату. Технологія контурного підривання утримує стабільність неробочих бортів, зупиняє появу заколів біля бровки та ліквідує ризики раптових обрушень чи зсувів укосів.

Оптимальний грансклад підірваного розкриву полегшує його планування на відвалах та унеможливорює вимивання або просідання нанесеного зверху родючого шару при рекультивації. Скельні породи стають готовою якісною сировиною для дорожніх робіт, будівництва дамб хвостосховищ або швидкої переробки на щебінь без додаткового механічного дроблення. Легке черпання дрібної руди знижує витрати палива екскаваторами, а якісна підготовка матеріалу дає колосальну економію електроенергії на первинних стадіях подрібнення на збагачувальній фабриці.

Таким чином, модернізація параметрів буровибухових робіт визнається найбільш ефективним, безпечним та економічно виправданим інженерним рішенням. Вона забезпечує сталий розвиток ПрАТ «ІнГЗК» та знижує загальне техногенне навантаження на Криворізький регіон.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Koteleva N., Khokhlov S., Frenkel I. Digitalization in Open-Pit Mining: A New Approach in Monitoring and Control of Rock Fragmentation // Applied Sciences. 2021. Vol. 11, No. 22. Article 10848. DOI: 10.3390/app112210848.
2. Zhang Z., Qiu X., Shi X., Zhou J., Luo Z. Optimization of the Matching Relationship Between the Stemming Length and Minimum Burden in Cut Blasting of Large-Diameter Long-Hole Stopes // Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources. 2023. Vol. 9. Article 136. DOI: 10.1007/s40948-023-00674-5.
3. Liu Y. et al. The Movement Process and Length Optimization of Deep-Hole Blasting Stemming Structure // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2021. Vol. 146. Article 104836. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2021.104836.
4. An Innovative Method to Assess Specific Charge, Drilling and Blasting Costs Considering Critical Factors of Rock Mass Properties, Fragment Size and Blasthole Parameters Hassan Moomivand, Sina Nayebi, Hussammodin Moomivand, Hamid Masoumzad // Results in Engineering. 2025. Vol. 27. Article 106333. DOI: 10.1016/j.rineng.2025.106333.
5. H. Moomivand, S. Soltanalinejad, K. Mirzaei Karwansara Assessment of the optimized stemming length considering rock fragmentation and escape of explosive gases using actual large-scale results Results Eng., 25 (2025), 10.1016/j.rineng.2024.103575
6. S. Soltanalinejad, H. Moomivand Development a novel empirical approach to control overbreak, surface quality and slope angle of benches following blasting Can. Geotech. J. (2024), 10.1139/cgj-2023-0599
7. H. Moomivand, M.J. Gheybi. Novel empirical models to assess rock fragment size by drilling and blasting Meas. J., 238 (2024), 10.1016/j.measurement.2024.115375

8. A. Azizi, H. Moomivand. A new approach to represent impact of discontinuity spacing and rock mass description on the median fragment size of blasted rocks using image analysis of rock mass. *J. Rock Mech. Rock Eng.*, 54 (2021), pp. 2013-2038, 10.1007/s00603-020-02360-4
9. H. Moomivand, S. Seadati, H. Alahverdizadeh. A new approach to improve the assessment of rock mass discontinuity spacing using image analysis technique. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 143 (2021), 10.1016/j.ijrmms.2021.104760
10. Saubi O., Jamisola R., Suglo R. et al. Simultaneous Prediction and Optimisation of Rock Fragmentation and Ground Vibration Using an ANN–RF Ensemble in Open-Pit Blasting // *Scientific Reports*. 2026. Vol. 16. Article 3825. DOI: 10.1038/s41598-025-33871-1.
11. Drill and Blast Decision Support to Optimize Hole Position, Explosives, and Drill Bit Clusters Ozan Perincek, Ryan Loxton, Sarang Kulkarni & Daniel Arthur // *Mining, Metallurgy & Exploration*. 2025. DOI: 10.1007/s42461-025-01309-x.
12. Perincek O, Loxton R, Kulkarni S, Arthur D (2025) Drill pattern optimisation for large complex blasts to improve fragmentation and dig efficiency. *Math Geosci* 1–23.
13. Bakhtavar E, Sadiq R, Hewage K (2021) Optimization of blasting-associated costs in surface mines using risk-based probabilistic integer programming and firefly algorithm. *Natural Resources Res* 30(6):4789–4806.
14. Hosseini S, Monjezi M, Bakhtavar E (2022) Minimization of blast-induced dust emission using gene-expression programming and grasshopper optimization algorithm: a smart mining solution based on blasting plan optimization. *Clean Technol Environ Policy* 24(8):2313–2328
15. Bakhtavar E, Abdollahisharif J, Mohammadi D (2022) Analysis and improvement of blasting operation in porphyry, diorite dyke, and trachyte sungun zones: In-situ investigations. *Int J Mining Geo-Eng* 56(1):19–24

16. Haugg C, Perincek O, McNeilage C (2023) The use of machines as sensors to optimise drill and blast outcomes. In: 26th World mining congress proceedings

17. Leung R, Hill AJ, Melkumyan A (2023) Automation and ai technology in surface mining with a brief introduction to open-pit operations in the pilbara. IEEE Robot Automation Mag

18. Щербаков П., Тимченко С., Бітімбаєв М., Сарібаєв Н., Молдабаєв С. Mathematical Model to Optimize Drilling-and-Blasting Operations in the Process of Open-Pit Hard Rock Mining // Mining of Mineral Deposits. 2021. Vol. 15, No. 2. P. 25–33.

19. Косенко А. Development of an Efficient Process Scheme for Breaking High-Grade Iron Ores of Low Strength and Stability During Sublevel Caving // Science and Innovation. 2023. Vol. 19, No. 3. P. 38–49. DOI: 10.15407/scine19.03.038.

20. Titov, D., Zahorsky, D., Hryhoriev, Y., Balyk, S., & Kozariz, V. (2025). Experimental specification of the nature of rock mass fragmentation by blasting of borehole charges of variable length. Technology Audit and Production Reserves, 3(1(83)), 78–85. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.331974>

21. Tang, H.-L., Yang, J., Yu, Q. (2023). Experimental Investigation of the Effect of Delay Time on Rock Fragmentation in Multi-Hole Bench Blasting. Applied Sciences, 13 (12), 7329. <https://doi.org/10.3390/app13127329>

22. Li, T., Chen, M., Guo, B., Song, L., Fan, B., Cui, S. (2024). Study on fragmentation characteristics of rock mass in bench blasting with different coupling media. Frontiers in Earth Science, 12. <https://doi.org/10.3389/feart.2024.1445990>

23. Dotto, M. S., Pourrahimian, Y. (2024). The influence of explosive and rock mass properties on blast damage in a single-hole blasting. Mining, 4 (1), 168–188. <https://doi.org/10.3390/mining4010011>

24. Minieiev, S., Kostyrytsia, O., Prusova, A., Skachko, R., Dykan, O., Maltseva, V. (2021). Justification of the parameters for safe blasting of floor rocks

in the roadway driven through the hazardous by outbursts sandstones. *Geo-Technical Mechanics*, 159, 11–29. <https://doi.org/10.15407/geotm2021.159.011>

25. Beltek, M., Frolov, O. (2023). Determination of the influence of the degree of fracturing of the rock mass on the index of reduction of its strength. *Collection of Research Papers of the National Mining University*, 74, 7–18. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/74.007>

26. Babii, K., Chetveryk, M., Perehudov, V., Kovalov, K., Kiriiia, R., Pshenychnyi, V. (2022). Features of using equipment for in-pit crushing and conveying technology on the open pit walls with complex structure. *Mining of Mineral Deposits*, 16 (4), 96–102. <https://doi.org/10.33271/mining16.04.096>

Особливості використання обладнання для внутрішньокар'єрного дроблення та транспортування на кар'єрних стінках складної конструкції.

27. Darling P. (Ed.). *SME Mining Engineering Handbook*. 3rd ed. Englewood : Society for Mining, Metallurgy & Exploration, 2023.

28. Jimeno C., Jimeno E., Carcedo F. *Drilling and Blasting of Rocks*. Revised edition. Rotterdam : CRC Press, 2022

29. Анісімов О.О., Баряцька Н.В. Вдосконалення поточного планування процесів гірничих робіт в умовах залізрудних кар'єрів України. *Залізрудні родовища України: сучасні проблеми та перспективи розробки*. 2024. С. 45–48.

30. Жуков С.М. *Технології рекультивації земель у гірничій галузі: навч. Посібник*. Дніпро : Університетська книга, 2021. 315 с.

31. Лавров С. Д., Іваненко П. О. *Екологічна безпека гірничодобувної промисловості: підручник*. Харків: Вид-во НТУ «ХПІ», 2022. 360 с.



Метадані

ДОКУМЕНТ

Заголовок

184-03д-д

Автор

184-03д-д

Науковий керівник / Експерт

Шмельцер К.О.

ІД документу

334158336

ОРГАНІЗАЦІЯ

Назва організації

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

підрозділ

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

ЗВІТ

Дата звіту

6/3/2026

Дата редагування

—

Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



21184

Кількість слів



171240

Кількість символів

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навісний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв		25
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		132

Джерела

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела з різних баз даних. Колір тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз		Копіювати текст
#	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	ВІЛЬНІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (FRAGMENTED)
1	https://studfile.net/preview/15660774/page/3/	147 (0.69 %)

ЗГОДА здобувача(чки) освіти Державного університету економіки і технологій про перевірку кваліфікаційної роботи на прояви академічного плагіату
та розміщення в Репозитарії ДУЕТ

Я, Шинкарьов Ярослав Олександрович, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу. Стверджую, що кваліфікаційна бакалаврська робота («Удосконалення параметрів буропідливних робіт в умовах ПрАТ «ІнГЗК») виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають покликання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про запобігання та виявлення академічного плагіату в роботах здобувачів вищої освіти Державного університету економіки і технологій ознайомлений. Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі порушення норм академічної доброчесності робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Також я поінформований, що відповідно до пункту 5.8 «Положення про Репозитарій (електронну базу даних) Державного університету економіки і технологій» згадана робота буде розміщена в Електронному архіві Університету (Репозитарії ДУЕТ) та ознайомлений з умовами такого розміщення.

12.06.2026