

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

«Допущено до захисту»  
Гарант ОПП

В'ячеслав КАМЕНЕЦЬ

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

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

**на тему: «Аналіз методів керування ефективністю використання енергії вибуху свердловинного заряду, направлених на зменшення питомих витрат вибухових речовин»**

Керівник роботи

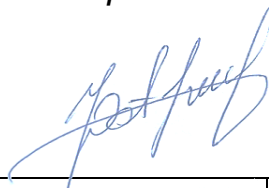
Іван САХНО

Консультант від бази практики

Олександр КИРИЧЕНКО

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

Здобувач



Юрій Щека

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

Голова ЕК

Валерій СЛОБОДЯНЮК

Запоріжжя 2025

## ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет	<u>гірничо-металургійний</u>
Кафедра	<u>гірничої справи</u>
Ступінь вищої освіти	<u>магістр</u>
Спеціальність	<u>184 Гірництво</u>
Освітня програма	<u>Новітні технології розробки родовищ корисних копалин</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП

В'ячеслав Каменець

«15» січня 2025 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**Щека Юрій Анатолійович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи (проєкту) Аналіз методів керування ефективністю використання енергії вибуху свердловинного заряду, направлених на зменшення питомих витрат вибухових речовин

керівник роботи (проєкту) Сахно Іван Георгійович, професор, доктор технічних наук

затверджена наказом по Університету від 14.10. 2024 р.

№238/14.10.2024

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 17.02.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, нормативна документація: Пояснювальна записка до плану розвитку гірничих робіт кар'єру ПрАТ «ІНГЗК»; типові проекти ведення буро-вибухових робіт в кар'єрі ПрАТ «ІНГЗК»; проекти на виконанні бурових робіт та паспорти масових вибухів;

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Теоретичні основи сучасних методів підвищення ефективності вибухового руйнування гірських порід (1.1 Огляд основних методів проведення вибухових робіт під час відкритої розробки родовищ; 1.2 Вплив ключових параметрів буропідричних робіт на ефективність руйнування гірського масиву; 1.3 Вплив параметрів конструкції розосередженого свердловинного заряду ВР на ефективність вибухового руйнування гірських порід). 2. організація діяльності підприємства прат «інгзк» та технічне забезпечення виробничих процесів у кар'єрі в складних гірничо-геологічних умовах

(2.1 Організаційна структура підприємства ПрАТ «ІНГЗК»; 2.2 Загальна характеристика гірничо-геологічної будови Індулецького родовища залізних руд; 2.3 Комплекс буро-вибухових робіт та їх вплив на основні технологічні процеси в умовах Індулецького кар'єру). 3 аналіз методів керування ефективністю використання енергії вибуху свердловинного заряду, направлених на зменшення питомих витрат вибухових речовин (3.1 Аналіз конструкцій свердловинних зарядів та їх вплив на питомі витрати вибухової речовини в умовах Індулецького кар'єру; 3.2 Удосконалення конструкції розосередженого свердловинного заряду з метою зниження питомих витрат вибухової речовини та оцінка економічної ефективності заходів з покращення).

4. охорона праці та екологічні аспекти при виконанні буропідливних робіт на відкритих гірничих роботах (4.1 Забезпечення безпечних умов праці під час виконання буропідливних робіт у кар'єрах: нормативно-правові, технічні та організаційні аспекти; Зменшення негативного екологічного впливу під час буропідливних робіт на відкритих гірничих роботах).

5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу: Розділ 1. Один рисунок. Розділ 2. Три рисунка, дві таблиці. Розділ 3. Сім рисунків, п'ять таблиць. Розділ 4. Результати розрахунків.

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

Розділ	Консультант (прізвище та ініціали, посада)
1	проф. Сахно І.Г.
2	проф. Сахно І.Г.
3	проф. Сахно І.Г.
4	проф. Сахно І.Г.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1	02.12.24 – 16.12.24
2	Розділ 2	17.12.24 – 27.12.24
3	Розділ 3	28.12.24 – 17.01.25
4	Розділ 4	18.01.25 – 24.01.25
4	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	25.01.25 – 02.02.25
5	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	03.02.25 – 11.02.25
6	Рецензування завершеної роботи. Захист	12.02.25– 18.02.25

Здобувач

(Юрій Щека)

Керівник роботи

(Іван САХНО)

## АНОТАЦІЯ

*Щека Ю.А.* Аналіз методів керування ефективністю використання енергії вибуху свердловинного заряду, направлених на зменшення питомих витрат вибухових речовин.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 184 Гірництво. Освітня програма «Новітні технології розробки родовищ корисних копалин» – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, 2025.

*Мета роботи* – дослідження та аналіз існуючих конструкцій свердловинних зарядів для оптимізації процесу вибухових робіт, зниження питомих витрат вибухових речовин і забезпечення економічної, технічної та екологічної ефективності гірничих підприємств.

*Об'єкт дослідження* – розробка та впровадження оптимальних конструкцій свердловинних зарядів для підвищення ефективності вибухових робіт на ПРАТ «ІНГЗК»

*Предмет дослідження* – комплекс науково-теоретичних, методичних та практичних аспектів обґрунтування конструкцій свердловинних зарядів які дозволяють знизити питомі витрати вибухової речовини.

У першому розділі розглядаються методи підвищення ефективності вибухового руйнування гірських порід, зокрема свердловинні заряди. Аналізуються параметри буропідривних робіт, що впливають на дроблення, такі як розташування свердловин, тип вибухових речовин і методи ініціювання. Досліджується вплив конструкції свердловинних зарядів, зокрема використання повітряних проміжків та комбінованих зарядів для рівномірного дроблення і зниження перевитрат вибухових речовин.

Другий розділ охоплює організацію діяльності ПрАТ «ІнГЗК», структуру управління та підрозділи, що забезпечують видобуток і збагачення залізної руди. Розглянуто гірничо-геологічну будову родовища, складність руд і збагачення, а також буро-вибухові роботи, їхній вплив на подрібнення порід та особливості транспортування і розробки родовища.

У третьому розділі аналіз конструкції свердловинних зарядів, їх вплив на питомі витрати вибухової речовини в умовах Інгuleцького кар'єру. Зокрема, детально розглядаються різні типи зарядів, такі як суцільні, розосереджені та з модульними перегородками, з акцентом на оптимізацію витрат вибухових речовин та підвищення ефективності вибухових робіт.

Четвертий розділ охоплює питання охорони праці та екологічних аспектів при виконанні буропідривних робіт на відкритих гірничих роботах. У ньому розглядаються заходи для забезпечення безпеки персоналу та запобігання нещасним випадкам, а також методи зниження екологічного впливу, такі як удосконалення конструкцій вибухових зарядів.

Ключові слова: ГІРСЬКА ПОРОДА, ВИБУХОВА РЕЧОВИНА, ПИТОМІ ВИТРАТИ, СВЕРДЛОВИННИЙ ЗАРЯД, ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИЙ КОМБІНАТ.

## ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИБУХОВОГО РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД	11
1.1 Огляд основних методів проведення вибухових робіт під час відкритої розробки родовищ	11
1.2 Вплив ключових параметрів буропідривних робіт на ефективність руйнування гірського масиву	14
1.3 Вплив параметрів конструкції розосередженого свердловинного заряду ВР на ефективність вибухового руйнування гірських порід.	16
2. ОРГАНІЗАЦІЯ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА ПРАТ «ІНГЗК» ТА ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ У КАР'ЄРІ В СКЛАДНИХ ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВАХ	20
2.1 Організаційна структура підприємства ПрАТ «ІНГЗК»	20
2.2 Загальна характеристика гірничо-геологічної будови Інгuleцького родовища залізних руд	23
2.3 Комплекс буро-вибухових робіт та їх вплив на основні технологічні процеси в умовах Інгuleцького кар'єру	35
3. АНАЛІЗ МЕТОДІВ КЕРУВАННЯ ЕФЕКТИВНІСТЮ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ВИБУХУ СВЕРДЛОВИННОГО ЗАРЯДУ, НАПРАВЛЕНИХ НА ЗМЕНШЕННЯ ПИТОМИХ ВИТРАТ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН	42
3.1 Аналіз конструкцій свердловинних зарядів та їх вплив на питомі витрати вибухової речовини в умовах Інгuleцького кар'єру	42
3.2 Удосконалення конструкції розосередженого свердловинного заряду з метою зниження питомих витрат	

вибухової речовини та оцінка економічної ефективності заходів з покращення.	51
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПРИ ВИКОНАННІ БУРОПІДРИВНИХ РОБІТ НА ВІДКРИТИХ ГІРНИЧИХ РОБОТАХ	62
4.1 Забезпечення безпечних умов праці під час виконання буропідричних робіт у кар'єрах: нормативно-правові, технічні та організаційні аспекти	62
4.2 Зменшення негативного екологічного впливу під час буропідричних робіт на відкритих гірничих роботах	68
ВИСНОВКИ	73
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	76

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Актуальність теми. Ефективне використання енергії вибуху свердловинного заряду є одним із ключових завдань у сучасних гірничих підприємствах, адже від цього залежить продуктивність буровибухових робіт, якість дроблення гірських порід, економічна ефективність виробництва та безпека робочих процесів. Зростання витрат на вибухові речовини, енергоносії та необхідність дотримання екологічних стандартів роблять питання зменшення питомих витрат вибухових матеріалів особливо актуальним.

Особливого значення це питання набуває в умовах сучасних кар'єрів, таких як Інгулецький, Першотравневий, Ганнівський та ін., де інтенсивність гірничих робіт постійно зростає, а вимоги до економії ресурсів і зменшення техногенного впливу на навколишнє середовище є пріоритетними. Аналіз існуючих методів керування ефективністю використання енергії вибуху дозволяє не лише вдосконалити технології вибухових робіт, але й сприяє інтеграції інноваційних підходів у гірничу галузь, забезпечуючи її сталий розвиток.

**Мета роботи** – дослідження та аналіз існуючих конструкцій свердловинних зарядів задля оптимізації процесу вибухових робіт, зниження питомих витрат вибухових речовин і забезпечення економічної, технічної та екологічної ефективності гірничих підприємств.

### **Завдання роботи:**

- провести аналіз сучасних технологій і підходів до використання вибухових речовин;
- виявити основні переваги та недоліки існуючих методів з точки зору енергоефективності.
- провести порівняльний аналіз витрат вибухових речовин за різних методів вибухових робіт;

- запропонувати способи оптимізації використання енергії вибуху з метою зменшення витрат вибухових матеріалів, та розробити технічні і організаційні заходи для впровадження вдосконалених методів керування вибуховою енергією.

**Об'єкт дослідження** – процеси проектування вибухових робіт, які передбачають використання різних типів конструкцій свердловинних зарядів для підвищення ефективності енергії вибуху та зменшення питомих витрат вибухових речовин в умовах підприємства ПрАТ «ІНГЗК».

Предмет дослідження – комплекс науково-теоретичних, методичних та практичних аспектів обґрунтування конструкцій свердловинних зарядів які дозволяють знизити питомі витрати вибухової речовини.

У роботі розглянуто методи керування розподілу енергії вибуху при використанні типових конструкцій свердловинних зарядів та пошук оптимальних конструкцій для зменшення питомої витрати вибухової речовини.

**Методи дослідження.** Дослідження включають теоретичні узагальнення, промислові випробування та порівняльний аналіз розрахункових і експериментальних даних. Для оцінки ефективності запропонованих рішень застосовується техніко-економічний аналіз, а також методи статистичної обробки даних з використанням сучасного програмного забезпечення.

Експериментальні дослідження виконувалися в умовах гірничого підприємства ПрАТ «ІНГЗК», що дозволило оцінити вплив зміни параметрів буропідривних робіт на рівномірність вибухового подрібнення гірської маси та загальні витрати вибухових матеріалів. Результати досліджень використовувалися для розробки рекомендацій щодо оптимізації конструкції свердловинного заряду, спрямованих на

підвищення ефективності використання вибухової енергії та зменшення питомих витрат.

**Структура і об'єм роботи.** Кваліфікаційна робота складається з анотації, вступу, 4 розділів, які включають 11 рисунків і 7 таблиці, висновків, списку використаних джерел з 22 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 78 сторінок.

# 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИБУХОВОГО РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД

## 1.1. Огляд основних методів проведення вибухових робіт під час відкритої розробки родовищ

При відкритій розробці залізорудних родовищ застосовуються такі методи вибухових робіт [1,2,3]:

Метод камерних зарядів – заряди розміщують у камерах, засипаних породою, що ускладнює контроль дроблення, утворюючи великі негабаритні блоки.

Метод малокамерних зарядів – застосування для відокремлення великих блоків у трищинуватому масиві, переважно при видобутку базальту.

Метод котлових зарядів – дозволяє розмістити більшу кількість вибухових речовин у нижній частині уступу, але має труднощі з керуванням процесом і механізацією робіт.

Метод шпурових зарядів – забезпечує рівномірний розподіл ВР у породі, використовується для дроблення негабаритних шматків і зміцнених прошарок.

Метод плоских зарядів – система камерних або свердловинних зарядів, що створює єдину вибухову хвилю в площині зарядів.

Метод накладних зарядів – використовують для руйнування навислих масивів, мерзлих обґрунтувань та подрібнення великих уламків без буріння.

Метод свердловинних зарядів.

Цей метод є основним на великих механізованих кар'єрах розробки гірських порід відкритим способом. Сутність його полягає у розміщенні зарядів ВР у циліндричних штучних порожнинах – свердловинах глибиною 5м і більше або будь-якої глибини при діаметрі

більше 75 мм. Верхня частина свердловини заповнюється інертними матеріалами з піску, бурової дрібниці або забійного матеріалу спеціального складу. Свердловини розташовуються в один або кілька рядів паралельно верхній брівці уступу і розміщуються один від одного на відстані прямокутною сіткою або в шаховому порядку. Відстань від першого ряду свердловин до верхньої бровки уступу повинна забезпечувати безпеку розміщення бурового верстата на уступі та робітників, зайнятих зарядженням свердловин.

Метод свердловинної уступної відбійки набуває особливої ефективності у поєднанні з багаторядним короткосповільненим підриванням (БКСП) зарядів ВР, які дозволяють використовувати ефект накладання хвиль напруги від вибуху сусідніх зарядів, за рахунок чого в окремих місцях масиву виникає підвищений напружений стан масиву, що сприяє покращенню якості дроблення гірських порід [1–4].

Підвищення якості дроблення масиву при БКСП зарядів досягається так само за певних умов підривання та часу уповільнення за рахунок утворення додаткових вільних поверхонь при вибуху попередніх зарядів та додаткового дроблення зіткненням рухомих мас породи [5]. Для максимального використання енергії вибуху на дроблення наступні заряди слід підривати через проміжок часу, протягом якого коливання породи, спричинене вибухом попереднього заряду могло б посилитися [6,7].

При БКСП за допомогою детонуючого шнура (ДШ), піротехнічних сповільнювачів, систем неелектричного ініціювання зарядів хвилеводами «СІНВ», «ЕДІЛІН», «НОНЕЛЬ», «Примадет» вітчизняних та зарубіжних виробників застосовують різноманітні схеми з'єднання зарядів ВР [4,8].

Найбільш простими є схеми з'єднання мережі при однорядному підриванні при з'єднанні зарядів через один або з уповільненням на кожну свердловину. Більш ефективним дробленням гірської породи та

зменшенням ширини розвалу є підривання з послідовним уповільненням вибуху кожної свердловини. Інтервал уповільнення між вибухами залежить від фізико-механічних властивостей гірських порід та визначається експериментальним шляхом у межах 20-109 мс. Зі збільшенням міцності порід інтервал уповільнення зменшують. Відстань між свердловинами, щоб уникнути підбою одного заряду іншим, рекомендується приймати не менше 28–30 їх діаметрів.

При МКВЗ свердловинних зарядів ВР застосовують різні схеми (Рис. 1.1). Для створення додаткової вільної поверхні підривається перша серія зарядів за контуром ділянки масиву, що утворює екран (щілину). При цьому знижується руйнація гірничої маси за межами оконтуреного ділянки, зменшується сейсмічну дію вибухів заряду Вв і забезпечується найкраще дроблення гірничої маси.

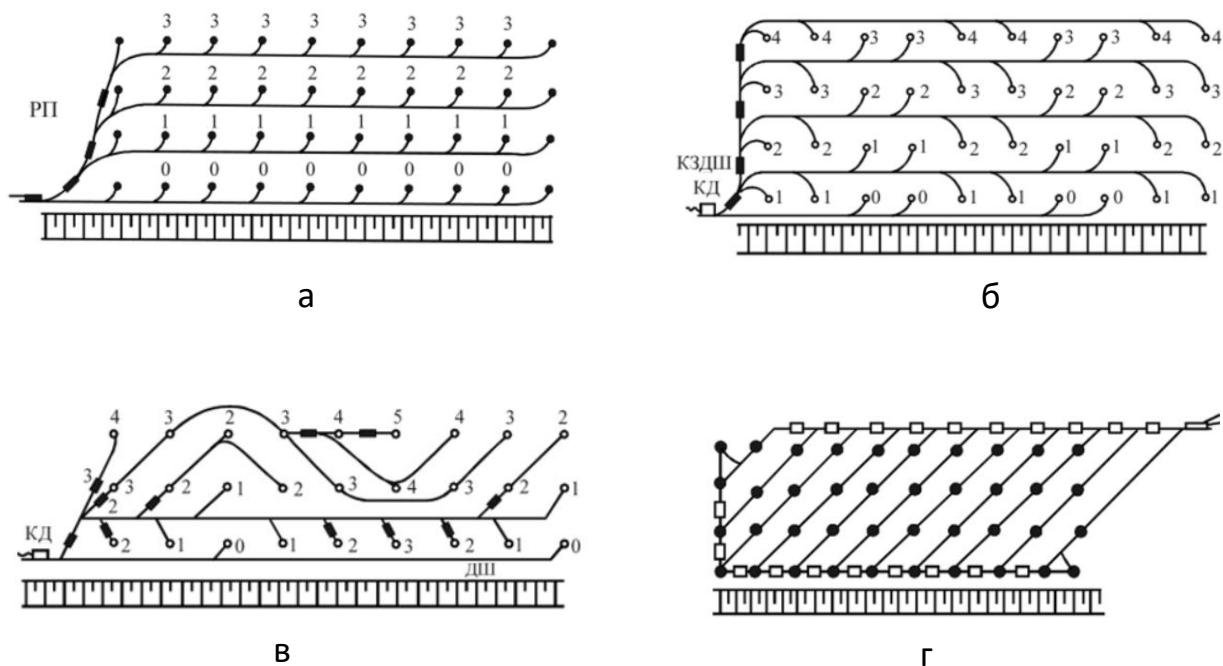


Рисунок 1.1. Типові схеми комутації при БКСП свердловинних зарядів ВР

а – схема порядна; б – схема з трапецієподібними врубами; в – схема з трикутними врубами; г – схема діагональна

Заряди ВР у свердловинах зазвичай поділяються на суцільні, не розділені проміжками, та розосереджені, окремі частини яких поділяються проміжками повітря, породи, води тощо. В останні роки найбільший інтерес представляють конструкції свердловинних зарядів, розосереджених різними проміжками і насамперед повітрям [9, 10]. Такі заряди дозволяють керувати дією вибуху при поступовій відбійці гірських порід. Вже накопичено певний досвід використання різних конструкцій свердловинних зарядів. Але, незважаючи на це, він продовжує привертати увагу багатьох дослідників через свою простоту та можливість управління дією вибуху без зміни в існуючій загальноприйнятій технології підривних робіт.

## **1.2. Вплив ключових параметрів буропідривних робіт на ефективність руйнування гірського масиву**

Відкритий спосіб розробки корисних копалин вирізняється високою ефективністю за рахунок використання потужного гірничотранспортного обладнання, сучасної бурової техніки та раціональних методів відбійки гірських порід. Підривні роботи змінюють ключову роль у процесі виробництва, оскільки якість дроблення гірничої маси значно впливає на техніко-економічні показники виробничих, транспортних і переробних процесів. Ефективність виїмково-вантажних і транспортних робіт у кар'єрі, а також подальша переробка корисних копалин на дробильно-збагачувальних фабриках залежать від ступеня подрібнення порід під час вибуху.

На результати вибухового дроблення впливають інші чинники, які можна поділити на три групи:

- Геологічні (тріщинуватість, обводненість, блочність тощо);
- Фізико-механічні властивості порід;

- Параметри підричних робіт(розташування свердловин, маса і тип ВР, конструкція заряду, методи підричання тощо)

Метод регулювання геологічних та фізико-механічних властивостей гірських порід є економічно недоцільним, основна увага дослідників зосереджена на оптимізації параметрів вибухових робіт. Удосконалення конструкцій зарядів, схем підведення, методів ініціювання та вибору вибухових речовин дозволяє підвищити ефективність використання енергії вибуху, забезпечуючи рівномірне та контрольоване дроблення гірничої маси. Це, у свою чергу, зниження питомих витрат вибухових речовин, зменшення негативного впливу на навколишнє середовище та підвищення загальної продуктивності гірничих підприємств.

Підвищення ефективності використання енергії вибуху та розробка нових методів вибухового дроблення гірських порід дозволяють лише за умови глибокого вивчення механізму їх руйнування. Деякі дослідники розробляють цей механізм як послідовність утворення тріщин у породі під дією хвилі напруження, не враховуючи вплив газоподібних продуктів детонації (ПД). Це пояснюється тим, що основне руйнування відбувається саме внаслідок поширення хвиль напруження, яке відбувається під час вибуху заряду. Газоподібні ПД діють довше, але на момент їх розширення тріщини вже сформовані.

Однак інші дослідники розглядають механізм вибухового руйнування як комплекс процесів, що залежать від властивостей заряду вибухових речовин (ВР) та умов вибуху. Наприклад, при підземному (камуфлетному) вибуху діють як хвилі напруження, так і газоподібні ПД. За наявності відкритої поверхні додаються ефекти відбиття хвилі, переміщення маси породи, її спучування та розльоту уламків.

На сьогодні як практика буропідричних робіт, так і теоретичні дослідження підтверджують, що якість дроблення гірських порід і

техніко-економічні показники значною мірою залежать від конструкції свердловинних зарядів. Ефективність їх застосування посилено гірничо-геологічними умовами та техніко-економічними вимогами до якості підготовки гірничої маси, що впливає на подальші етапи видобутку та переробки корисних копалин.

Отже, сучасна відкрита розробка корисних копалин супроводжується збільшенням глибини кар'єрів, що призводить до скорочення робочих майданчиків уступів. На цьому етапі розвитку буровибухових робіт найбільш поширеним методом у кар'єрах країни стало багаторядне короткосповільнене підривання свердловинних зарядів. У зв'язку з цим особливим значенням виникає питання оптимального вибору конструктивних параметрів свердловинних зарядів для ефективного керування процесом руйнування скельних порід.

### **1.3. Вплив параметрів конструкції розосередженого свердловинного заряду ВР на ефективність вибухового руйнування гірських порід.**

Якість дроблення породи залежить як від величини заряду, але та від його конструкції, що визначає таке розміщення ВР по довжині свердловини, при якому його кінетична енергія розподілятиметься пропорційно необхідній величині роботи руйнування породи в різних частинах уступу. Більшість дослідників під конструкцією за ряду розуміють сукупність геометричних і технологічних параметрів, таких як форма заряду та зарядної камери (циліндричні та плоскі заряди), способи ініціювання заряду, комбінація застосовуваних типів ВР, довжина заряду, співвідношення активної та неробочої частин свердловини [4, 9, 18].

Початковою конструкцією свердловинних і шпурових зарядів була суцільна циліндрична колонка вибухової речовини, яка й досі широко застосовується у вибухових роботах. Однак така конструкція є найменш ефективною з точки зору механізму дроблення, оскільки призводить до значного переподрібнення породи через високі градієнти тиску, що призводить до втрати енергії.

Для підвищення ефективності вибухового руйнування скельних порід було розроблено більш досконалі конструкції свердловинних зарядів, зокрема:

- заряди з повітряними та інертними проміжками;
- заряди з боковими та осьовими сердечниками;
- комбіновані заряди з вибуховими речовинами різних детонаційних характеристик;
- заряди з проміжками, заповненими легко розкладеними речовинами або енергоактивними добавками;
- заряди зі змінною щільністю, що досягається введенням гранульованого пінополістиролу.

Ці вдосконалені конструкції можуть ефективніше використовувати енергію вибуху та покращують якість дроблення породи [5, 8, 9, 11, 15, 29 -34].

Дослідження показують, що для досягнення рівномірного дроблення та зменшення розміру шматків необхідно знизити початковий тиск газоподібних продуктів детонації (ПД), подовжити їх вплив на породу та підвищити напруженість масиву за рахунок взаємодії ударних хвиль. Це шляхом можливого створення повітряних проміжків між частинами свердловинного заряду. Така конструкція, розроблена Н.В. Мельником і Л.М. Марченко, передбачає поділ заряду повітря проміжками з одночасним ініціюванням усіх його частин. Завдяки цьому змінюється характер впливу ПД на породу, що забезпечує ефективність використання енергії вибуху. Зниження початкового тиску ПД,

збільшення часу їх впливу та посилення інтерференції вибухових хвиль сприяють оптимальному розподілу енергії: зменшується переподібнення породи біля заряду та досягається ефективність подрібнення всього гірського масиву.

Відомі різні способи формування повітряних проміжків між окремими частинами заряду [36]:

- за допомогою поміщених у свердловини поліетиленових надувних циліндрів;
- шляхом підвішування невеликої кількості ВР, упакованого в паперову тару, та розміщення поверх упаковки основного заряду ВР;
- з використанням спіненого гранульованого полістиролу;
- шляхом встановлення у місці повітряного проміжку простих дерев'яних пристроїв;
- за допомогою пустотілих картонних циліндрів, поміщених у свердловини;
- шляхом розташування на певній висоті пробок із паперових мішків;
- за допомогою поліетиленового свердловинного затвора та інші.

Вказані способи створення повітряного проміжку мають свої переваги та недоліки. Серед основних проблем – складність точної фіксації перемичок із мішків, висока вартість інших пристроїв та їхня обмеженість у створенні лише коротких проміжків. Свердловинні затвори важко захищати, коли потрібно фіксувати на різній глибині зі змінною зарядною довжиною проміжку, що характерно для підривання слабких порід із твердими прошарками. Більшість методів формування повітряної проміжки базуються на утриманні частини заряду опорою, що контактує з нижньою частиною або заповнює проміжок між його елементами. Однак у деяких випадках це технологічно складно та неефективно через зайві витрати ресурсів на фіксацію.

Отже, аналіз показав, що поряд із традиційними суцільними циліндричними зарядами ВР на гірничорудних підприємствах розроблено більш ефективні конструкції, що покращують використання енергії вибуху для руйнування гірських порід. Їхня ефективність заснована на зниженні початкового тиску продукту вибуху, збільшенні часу їх впливу, посиленні інтерференції вибухових хвиль та оптимізації щільності заряджання для різних типів порід. Найбільш раціональним варіантом є заряди з повітряними проміжками, які поєднують у собі ці переваги.

## **2. ОРГАНІЗАЦІЯ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА ПРАТ «ІНГЗК» ТА ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ У КАР'ЄРІ В СКЛАДНИХ ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВАХ**

### **2.1 Організаційна структура підприємства ПрАТ «ІНГЗК»**

Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат (ПрАТ «ІНГЗК») є одним із ключових підприємств у структурі Групи Метінвест, яке займається видобутком і збагаченням залізної руди. Відповідно до статуту, управління підприємством розвивається через кілька рівнів керівних органів. Вищим органом є загальні збори акціонерів, які ухвалюють стратегічні рішення щодо розвитку компанії. Виконавчу функцію покладено на генерального директора – одноособовий виконавчий орган, що забезпечує оперативне керівництво комбінатом, організовує його поточну діяльність і забезпечує виконання затвердженої стратегії розвитку.

Основним напрямком діяльності підприємства ПрАТ «ІНГЗК» є добування, переробка та збагачення бідних магнетитових руд, зокрема магнетитових кварцитів, які використовують для виробництва залізорудного концентрату. Відповідно до прийнятої організаційно-управлінської структури (рис. 2.4), управління підприємством створюється через систему підрозділів, зазначених генеральним директором. У підпорядкуванні функціонують кілька ключових напрямків, зокрема: капітальне будівництво, виробництво та планування, інжиніринг, технології та якість, операційне покращення, фінанси, персонал та соціальні питання, закупівель, аналіз та управління ризиками безпеки, а також охорони здоров'я, промислової безпеки та екологічного контролю.

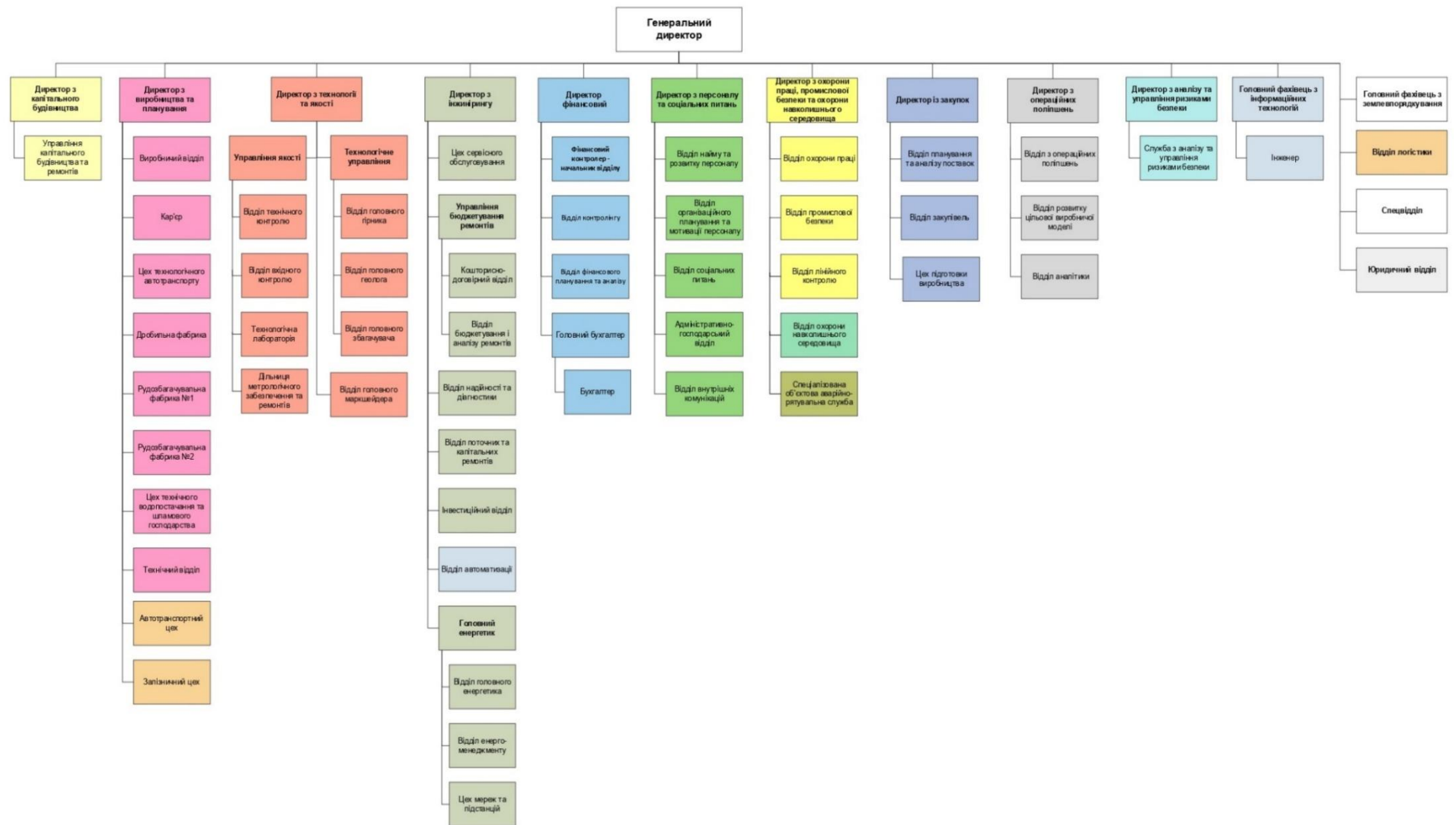


Рисунок 2.1. Структурна схема управління ПрАТ «ІНЗК»

Під безпосереднім керівництвом генерального директора працюють інші стратегічно важливі підрозділи: головний спеціаліст із інформаційних технологій, спеціальний відділ, відділ логістики, а також головний спеціаліст із землеустрою. Така багаторівнева структура управління забезпечує ефективну координацію діяльності підприємства, оптимізацію виробничих процесів та контроль за дотриманням стандартів промислової безпеки та екологічної відповідальності.

Приватне акціонерне товариство «ІНГЗК» є великим гірничо-збагачувальним комплексом, який включає гірничотранспортний і дробильно-збагачувальний комплекси, а також мережу допоміжних цехів та управлінських підрозділів. Загалом підприємство складається з 15 структурних підрозділів, з яких шість є основними та забезпечують ключові виробничі процеси.

До основних структур належать:

- Цех «Кар'єр» , що виконує всі етапи розробки Інгулецького родовища, зокрема буріння, підривні роботи, виготовлення рудної та скельної гірничої маси.
- Цех технологічного автотранспорту , який відповідає за транспортування гірничої маси у відвалі та перевезенні руди на дробильну фабрику.
- Залізничний цех , що видалає перевезення розкритих порід у відвалі та транспортуванні руди між виробничими підрозділами.
- Дробарна фабрика , яка забезпечує первинне дроблення та подрібнення руди, підготовку її до подальшого збагачення та транспортування на рудозбагачувальні фабрики.
- Дві рудозбагачувальні фабрики (РЗФ-1 та РЗФ-2) , що забезпечують основні операції зі збагачення залізної руди. РЗФ-1 виробляє залізорудний концентрат із вмістом заліза 64,5%, а РЗФ-2 – із вмістом понад 67%.

Крім основних виробничих підрозділів, для забезпечення безперебійної роботи підприємства функціонують допоміжні цехи та служби:

- Цех технічного водопостачання і шламового господарства , який відповідає за забезпечення технологічного процесу водними ресурсами та управління відходами збагачення.
- Автотранспортний цех , що забезпечує ремонт та обслуговування транспортних засобів.
- Відділ технічного контролю , який забезпечує контроль якості на всіх етапах виробництва.
- Цех мереж і підстанцій , що відповідає енергопостачання та підтримці стабільної роботи електромереж комбінату.
- Цех підготовки виробництва , який займається плануванням і координацією технологічних процесів.
- Цех сервісного обслуговування , що виконує ремонтні та сервісні роботи для всіх підрозділів підприємства.

Крім зазначених структур, на підприємстві діють та інші підрядні підрозділи, які забезпечують ефективну організацію роботи та підтримку безперервного виробничого циклу.

## **2.2 Загальна характеристика гірничо-геологічної будови Інгuleцького родовища залізних руд**

Основним видом мінеральної сировини Інгuleцького гірничозбагачувального комбінату є бідні магнетитові руди (магнетитові кварцити), яким необхідно виконувати збагачення. Середній вміст заліза в їхньому складі становить близько 35 мас.%, з яких на магнетит припадає приблизно 25 мас.%.

Відмінною особливістю комбінату, яка вирізняє його серед інших гірничозбагачувальних підприємств Криворізького басейну та світових аналогів, є значна неоднорідність руд за мінералогічними, хімічними, структурними та текстурними характеристиками. Це впливає на параметри їхньої збагачуваності, ускладнюючи технологічні процеси.

Продуктивна товща родовища включає п'ять залізистих горизонтів саксаганської світу – від другого до шостого. Кожен із цих стратиграфічних горизонтів представлений 5–15 мінеральними різновидами магнетитових кварцитів. Загальна кількість мінеральних різновидів магнетитових кварцитів у межах продуктивної товщі родовища перевищує 50, що значно ускладнює їхню переробку та вимагає остаточного підбору технологій збагачення.

Інгулецьке родовище залізистих кварцитів, що є частиною Криворізького залізорудного басейну, розташоване в центральній частині Українського щиту (УЩ) (рис. 1.1).

Криворізька структура простягається в субмеридіональному напрямку вздовж межі двох різновикових мегаблоків УЩ – Інгульського, складеного палеопротерозойськими гранітоїдами та метаморфітами, і Придніпровського, у будові якого переважають плагіогранітоїди палео- та мезоархею. Її довжина перевищує 100 км, а ширина змінюється від 0,5 до 18 км.

У складі Криворізького басейну виділяються чотири залізорудні району:

- Північний (Аннівський),
- Центральний (Саксаганський)
- Південний та Інгулецький (Лихмановський)

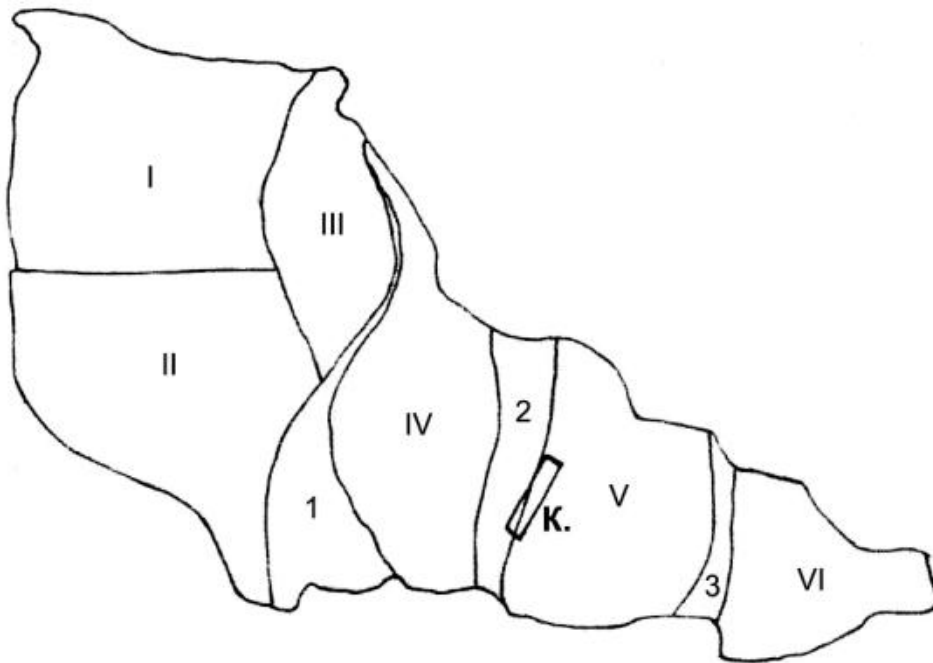


Рис. 2.2. Положення Криворізького залізорудного басейну (К.) в межах Українського щита.

Мегаблоки: I – Волинський; II – Дністровсько-Бузький; III – Рось-Тикицький; IV – Інгульська; V – Середньопридніпровський; VI – Приазовський.

Шовні зони: 1 – Голованівська; 2 – Інгулецько-Криворізька; 3 – Горіхово-Павлоградська.

Інгулецький залізорудний район займає південну частину Криворізького басейну та межує на півночі з Південним районом. Продуктивна товща представлена Ліхмановською залізорудною смугою, де в зоні замикання Ліхмановської синкліналі розташоване Інгулецьке родовище магнетитових кварцитів. На півдні від нього простягається ланцюг дрібних родовищ гематитових і магнетитових руд, значна частина яких

Залізорудні райони Криворізького басейну відрізняються за геологічною будовою, ступенем метаморфізму, тектонічними та гідротермальними процесами. Інгулецьке родовище розробляється

Інгулецьким ГЗК з 1961 року. Його товща входить до вузької зони метаморфічних порід завдовжки 5,3 км і шириною 0,5–1,3 км, розташована продуктивною на західній схилі частині

### Стратиграфія.

Геологічна будова Інгулецького родовища включає породи архейського, протерозойського та кайнозойського віку.

Архей. У структурі архейського розрізу родовища беруть участь породи середнього та верхнього відділів. Середній архей складається з плагіогранітів і плагіомігматитів дніпропетровського комплексу, що підстилають східне крило Ліхманівської синкліналі. Граніти, традиційно світло-сірі, середньозернистості, масивної текстури, мають слабе розсланення в зоні контакту з метаморфічними породами. Мігматити на заході синкліналі мають гнейсовидну текстуру і проявляються в брекчії та мілонітах у зоні контакту з породами криворізької серії. Локально зустрічаються амфіболіти та сланці, що є ксеноліти поряд аульської серії.

Верхній архей. Верхньоархейські породи конкської серії представлені товстими пластами амфіболітів, зокрема на замиканні Ліхманівської синкліналі, де їх потужність сягає 500 м. Амфіболіти, темно-сірі або чорні, із зеленуватим відтінком, мають масивну текстуру. Основні породоутворюючі мінерали: рогова обманка, плагіоклаз, біотит, актиноліт, кварц, хлорит, епідот та цоїзит.

Протерозой. Протерозойський комплекс складається з порід нижнього відділу. Нижній протерозой представлений породами криворізької серії, яка включає чотири світи:

- новокриворізьку,
- скелеватську,
- саксаганську,
- гданцевську.

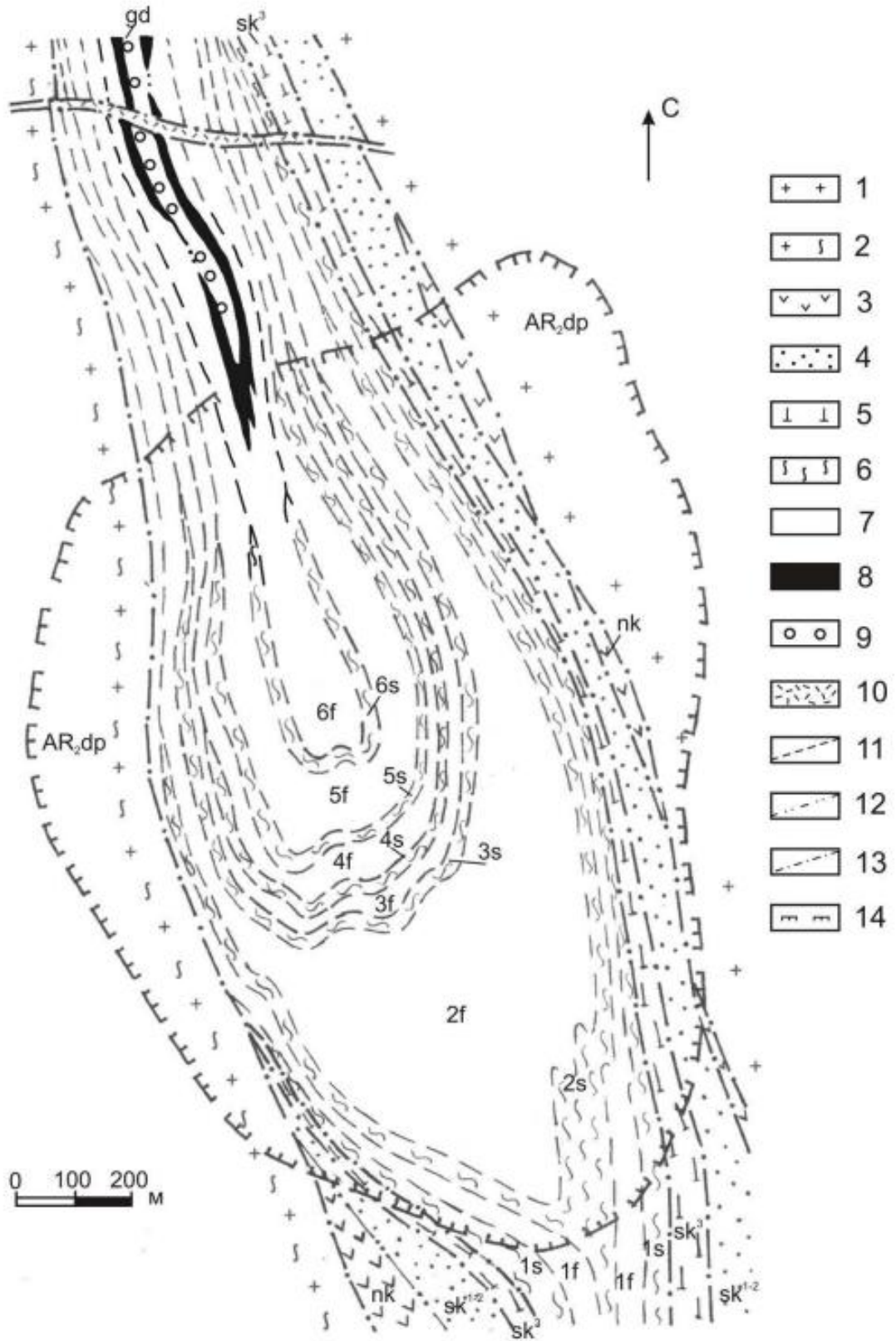


Рис. 2.3. Схематична геологічна карта Інгuleцького родовища.

1 – граніти дніпропетровського комплексу; 2 – мигматити дніпропетровського комплексу; 3 – амфіболіти та метакластоліти

новокриворізької світи; 4 – метакластоліти скелюватського світи; 5 – тальк-вмісні сланці скелюватського світи; 6 – сланці саксаганської світи; 7 – залізисті кварцити саксаганської світи; 8 – багаті залізні руди зони контакту саксаганської та гданцівської світи; 9 – метакластоліти та метаморфізовані карбонатно-глинисті породи гданцівської світи; 10 – діабазу; 11 – лінія стратиграфічно відповідно до залягання товщ; 12 – лінія стратиграфічно незгідного залягання товщ; 13 – розривні порушення; 14 – контури кар'єру Інулецького гірничозбагачувального комбінату.

AR2dp – дніпропетровський комплекс гранітоїдів середнього архею; стратиграфічні підрозділи криворізької серії (нижній протерозой, PR1kr): nk – новокриворізька світа PR1nk; sk1-2 – нижня та середня підсвіти скелюватської світи PR1sk1-2 (об'єднана товща «аркозового» і «філлітового» горизонтів); sk3 – верхня підсвіта скелюватської світи PR1sk3 («тальковий горизонт»); горизонти саксаганської світи PR1sx: 1s – перший сланцевий PR1sx1s; 1f – перший залізистий PR1sx1f; 2s – другий сланцевий PR1sx2s; 2f – другий залізистий PR1sx2f; 3s – третій сланцевий PR1sx3s; 3f – третій залізистий PR1sx3f; 4s – четвертий сланцевий PR1sx4s; 4f – четвертий залізистий PR1sx4f; 5s – п'ятий сланцевий PR1sx5s; 5f – п'ятий залізистий PR1sx5f; 6s – шостий сланцевий PR1sx6s; 6f – шостий залізистий PR1sx6f; gd – гданцевська світа PR1gd.

□ Новокриворізька світа залягає на конкській серії та гранітоїдах Дніпропетровського комплексу. Основні породи: амфіболіти, кварц-сланці, кварцити. Потужність – 40-50 м.

□ Скелюватська світа поділяється на три підсвіти:

- Нижня (аркозовий горизонт) – кварцити, метапіски, гравеліти, потужність 20-100 м.

- Середня (філітовий горизонт) – метакварцити, метапіски, потужність 20-80 м.
- Верхня (тальковий горизонт) – метаморфізовані сланці, карбонат-хлорит-актинолітові сланці.
  - Саксаганська світа складається зі сланцевих і залізистих горизонтів:
    - Сланцеві горизонти (I-VI) – кварц-біотитові, куммінгтонітові, гранатові сланці. Потужність 10-60 м.
    - Залізисті горизонти (I-VI) – магнетитові кварцити з різним вмістом Fe (25-45%), потужність 10-250 мкм.
      - Гданцівська світа залягає на саксаганській, містить серицитові, графітові, мусковітові сланці. Потужність 5-70 м.
      - Кайнозойські відклади представлені осадовими породами – піски, алевроліти, глини.

### Тектоніка.

Інгулецьке родовище залізистих кварцитів структурно пов'язане з виходом на поверхню розмиву корінних порід ядра Ліхманівської синкліналі. Східне крило синкліналі має субмеридіональне простягання та західне, часто зворотне, падіння. Західне крило зрізано Західним надвигом, що є частиною Криворізько-Кременчуцького глибокого розлому, надаючи складці асиметричну будову. Замок Ліхманівської синкліналі в розрізі має коритоподібну форму, з незначними підйомами й опусканнями залізистих і сланцевих горизонтів. Характерна риса — круте (до 30-35°) повантаження шарніра на північ. На крилі розвинені асиметричні складки високих порядків. Східне крило має зони см'яття і дрібні складки при загальному круті падіння пластів.

Ось основної синкліналі представлена серією осей дрібніших складок, розташованих кулісоподібно. Ось поступово зміщується на захід. В межах родовища посилюються розривні порушення, серед яких

важливу роль виконує Західний надвиг. Його зона має товщину 10-15 м, представлена катаклазованими залізистими породами з кварцевими, карбонатними та іншими жилами. Простирування основної площини надвису — субмеридіональне, падіння західне під кутом 75-85°.

Центральну та східну частини родовища забезпечують розривні порушення з субмеридіональним простиранням і крутим падінням. Найбільше розривне порушення в центральній частині родовища є зоною інтенсивно тріщинуватих порід. Мощність зони — 0,5-0,7 м, у північних забоях кар'єра — до 15 м. Тріщини виконані кварцем з сульфідами (пірит, пірротин), карбонатами (кальцит, доломіт) та іншими мінералами. Мощність жил варіює від 1-2 до 40-50 см.

Вздовж західного і східного контактів гданцівської світи й залеглих залізних руд кожна серія субмеридіональних розривних пошкоджень. Можливо, вони є частинами розломів вищих порядків, що відносяться до системи Західного надходження. За цими розломами відокремлені фрагменти основних рудних залежів.

Однією з особливостей залізорудної товщі Ліхманівської синкліналі є інтенсивний розвиток тріщин сколювання, розриву та кливажу. Тріщини переважно відкриті, рідше заповнені кварцом, карбонатами, рудними мінералами (залізною слюдкою, магнетитом). Особливістю зони тріщинуватості є високий вміст елементів-примісей, таких як Mn, Cu, Ni, Mo, Ti, Cr, Zn. Пласти осадових порід залягають на кристалічних фундаментах з незначним нахилом на південь (3-5°).

#### Метаморфізм.

У товщі залізисто-кремнистої формації Інгалецького родовища спостерігаються три основні види метаморфізму: динамотермальний, термальний і динамометаморфізм.

Динамотермальний метаморфізм залізистих порід відповідає перехідним умовам між зеленосланцевою та епідот-амфіболітовою

фазами. Відомі парагенези для сланцевих горизонтів: для зеленосланцевої фації — хлорит + карбонат + магнетит, для епідот-амфіболітової — куммінгтоніт + магнетит. Для залізистих кварцитів центрального зону характерний парагенезис кварц + магнетит + гематит.

При регресивному динамотермальному метаморфізмі частина залізовмісних силікатів (біотит, куммінгтоніт) заміщується селадонітом, стильномеланом і часто халцедоном. Термальний метаморфізм слабо проявляється в приконтактних зонах дайки діабазу в північній частині родовища.

Динамічний метаморфізм у зонах розривних пошкоджень пошкоджень до дроблення порід і утворення «глинок тертя», але значних проявів процесів мінералоутворення не використовується.

Метасоматоз і гідротермальні процеси.

Метасоматоз на Інгулецькому родовищі проявляється слабо. Найбільш характерним для залізистих кварцитів і сланців саксаганської світи є натрієвий метасоматоз, що супроводжується егірнізацією, рибекитизацією, а в ореольних зонах – слабким кварцуванням та карбонатизацією. Процеси натрійового метасоматозу значно слабшають у сланцях, де відбуваються альбітизація та магнезіорибекітизація.

Гідротермальні жили утворювалися під час динамотермального метаморфізму та метасоматозу, а також як самостійний етап мінерагенезу. Вони пов'язані з утворенням кварцевих, залізнолюдко-кварцевих, хлорит-кварцевих і карбонат-куммінгтоніт-кварцевих жил, які складаються з мінералів, які були виведені зі вміщуючих порід метаморфічними розчинами. Гідротермальні органи альпійського генезису формуються на завершальних стадіях натрієвого метасоматозу, заповнюючи тріщини та порожнини мінералами з пізніх метасоматичних розчинів. Постметасоматичні альпійські органи часто

утворюють рідкіснометалічну мінералізацію (скандій, цирконій, лантаноїди).

Також виявлено жили, не пов'язані з метасоматозом або динамотермальним метаморфізмом, які складаються з кварцу, карбонатів та сульфідів.

#### Гіпергенез.

Процеси вивітрювання в породах залізисто-кремністої формації пройшли кілька разів через перерви в осадконакопленні. Найдавніша кора вивітрювання гранітоїдів мезоархейського віку, що передувала накопиченню базальтоїдів та кластолітів новокриворізької світи (палеопротерозой). Продукти цього етапу вивітрювання не збереглися в первісному вигляді, а під впливом динамотермального метаморфізму перетворилися на кварц-серицит-хлоритові сланці.

Другий перерв у осадконакопленні стався в післясаксаганський період, коли утворився Криворізький синкліній. Раніше утворені породи, зокрема залізисті, піддалися вивітрюванню та розмиву. У базовій частині гданцевської світи складаються дрібні поклади залізних руд, що виникли через переми в вивітрених порід саксаганської світи. Ці продукти також позначили динамотермальний метаморфізм.

Третій етап гіпергенезу, післякриворізький, тривав довго (протерозой-кайнозой) і був пов'язаний з формуванням потужних коровивітрів. Він також супроводжувався перемивом продукту вивітрювання порід саксаганської світи, утворенням у базальній частині кайнозойського осадкового чохла лінзовидних тіл бідних і багатих хемогенно-кластогенних залізних руд.

Четвертий етап гіпергенезу, неоген-антропогенний, відзначається активним вмістом калію, натрію, кальцію, магнію, частково кремнію з вивітрюваних залізистих кварцитів і сланців та накопиченням залізу і алюмінію. Ці елементи разом з кремнеземом і водою є основними

компонентами породо- і мінералотворення кор вивітрювання залізистих порід Інгулицького родовища.

#### Магматизм.

Магматичні породи родовища можна поділити на три групи: 1) гранітоїди, 2) метаморфізовані базити та ультрабазити, 3) незмінні житлові базити.

Перша група включає архейські граніти дніпропетровського комплексу та пов'язані з ними мігматити, які є найстарішими магматичними утвореннями родовища.

Друга група містить метаморфізовані ефузивні породи основного та ультраосновного складу. Метабазити представлені амфіболітами конкської серії та новокриворізької світи. Їх ефузивне походження підтверджується мінеральним складом і наявністю реліктових міндалекаменних текстур. Метаультрабазити представлені карбонат-актиноліт-хлорит-тальковими сланцями, що верхній підсвіті скелеватської світи.

Третю групу складають наймолодші магматичні породи — діабазити, які мають маломощну дайку в північній частині родовища. Дайка проходить через товщу рід криворізької серії і приурочена до складної форми розривного порушення. На верхніх горизонтах вона представлена глинисто-дисперсногетитовою масою бурого кольору, а внизу — темносірим масивним діабазом. Основні мінерали діабазу — плагіоклаз (андезин-лабрадор) та піроксен (авгіт), з додатковими ільменітом, хлоритом, серицитом, епідотом, цоїзитом, карбонатами і лейкоксенном.

#### Корисна копалина.

Основною корисною копалиною Інгулецького родовища є бідні магнетитові руди (магнетитові кварцити), з яких за допомогою технології

«мокрої» магнітної сепарації підтримується залізорудний концентрат. Перспективними видами залізорудної сировини є бідні та багаті гематитові руди, які складають «втрачені» родовищі колишнього рудника «Інгулець». Залежі багатих гематитових руд приурочені до зони контакту саксаганської та гданцевської світ криворізької серії. Бідні гематитові руди п'ятого і шостого залізистих горизонтів великий залеж на Ліхманівській синкліналі. Вивчається можливість використання гематитових кварцитів для виробництва.

Плагіограніти і плагіомігатити, виявлені на заході кар'єра «ІНГЗК», використані для виробництва щебеню. Тальновмісні сланці застосовуються як сировина для лакофарбової промисловості, а в суміші з суглинками — для виробництва високоякісної керамічної цегли.

Після додаткових досліджень може бути залучено в експлуатацію гранатомісткі сланці (сировина для абразивного граната), кварц-хлоритові сланці (сировина для пористих будівельних матеріалів), охра, сурик, гетит, гематит, хлорит, рибекіт, селадоніт (мінеральні пігменти), вапняк, глина, суглинок, пісок, тротуарний та облицювальний камінь, колекційна та самоцвітна сировина та інші види неметалічних корисних копалин.

Отже, складна геологічна будова Інгулецького родовища вимагає аналізу та адаптації підходів до планування гірничих робіт. Різноманітність архейських, протерозойських і кайнозойських порід, зокрема гранітоїдів, мігматитів, амфіболітів та сланців, має суттєвий вплив на технічні аспекти вибухових робіт. Це вимагає точного визначення геологічних меж для забезпечення максимального результату від вибухів, зокрема зменшення кількості негабаритів та дрібного матеріалу. Тому важливо враховувати геологічні особливості для оптимізації витрат вибухових речовин, забезпечення ефективної екскавації та подальшої обробки матеріалів, що сприятиме підвищенню продуктивності та якості гірничих робіт.

### **2.3 Комплекс буро-вибухових робіт та їх вплив на основні технологічні процеси в умовах Інгулецького кар'єру**

На ПРАТ «ІНГЗК» для проведення вибухових робіт використовується сучасна екологічно безпечна емульсійна вибухова речовина «Емоніт-Н», яка не містить тротилу.

Розробка родовища ПРАТ «ІНГЗК» базується на сучасному підході до видобутку, який передбачає подрібнення скельних гірських порід із міцністю за шкалою М.М. Протод'яконова ( $f=4-20$ ) за допомогою свердловинних зарядів. Для цього використовуються свердловини постійного діаметра, розташовані вертикально або під нахилом.

Комплекс буро-вибухових робіт (БВР) в умовах Інгулецького кар'єру є важливою складовою технологічного процесу виготовлення залізної руди. Ці роботи розроблені для подрібнення скельних порід, що забезпечують можливість подальшого транспортування та переробки руди.

Процес БВР включає кілька етапів: проектування, підготовка до вибуху, буріння свердловини, заряджання вибуховою речовиною, після вибуху та аналіз результатів. Кожен етап вимагає чіткої координації між геологічними, маркшейдерськими, вибуховими та технічними службами.

Перший етап — проектування БВР — визначається у визначених параметрах вибуху, вибір типу вибухової речовини та розрахунок необхідної кількості вибухівки. Цей етап є критичним для забезпечення ефективності вибуху, мінімізації сейсмічного впливу та запобігання розкиду шматків гірничої маси, що може негативно вплинути на безпеку та ефективність подальших етапів. Правильне планування свердловинної мережі дозволяє досягти оптимальних результатів у подрібненні порід, що забезпечує якісне розкриття вкладів та зменшення витрат на транспортування та обробку матеріалу.

Другий етап — підготовка до вибуху — включає буріння свердловини, заряджання їх вибухівкою та монтаж системи ініціювання. Для забезпечення точності виконання робіт важлива взаємодія між буровою дільницею, маркшейдерською та геологічною службами, що дозволяє коригувати проектні параметри відповідно до фактичних умов кар'єру.

Вибух сам по собі та подрібнення гірничої маси є етапом виготовлення. Подрібнена маса, завдяки вибуху, набуває необхідної гранулометрії для подальшого транспортування та збагачення. Успішно виконані буро-вибухові роботи забезпечують ефективність наступних етапів, таких як екскавація та транспортування матеріалу до збагачувальних фабрик. Важливим аспектом є мінімізація створення негабаритів та дрібного матеріалу, що сприяє зменшенню витрат на подальшу переробку.

Аналіз результатів вибуху дозволяє оперативно коригувати параметри наступних вибухових робіт, що забезпечує постійну оптимізацію технологічного процесу на всіх етапах видобутку та переробки руди.

Таким чином, комплекс буро-вибухових робіт відображає ефективність усіх основних технологічних процесів Інгалецького кар'єру, забезпечуючи максимальну продуктивність при мінімальних витратах і забезпечуючи безпеку та стабільність процесів виготовлення та обробки залізної руди.

Після виконання буро-вибухових робіт наступним етапом є гірничі роботи, що включають екскавацію, транспортування та обробку подрібненої гірничої маси. Це важлива частина технологічного процесу, яка забезпечує безперебійний рух матеріалу через кар'єр до подальшої обробки. Розглянемо детальніше ці процеси та їх взаємодію з іншими етапами.

Гірничі роботи та система розробки. Гірничі роботи на горизонтах здійснюються здебільшого поперечними заходками, які охоплюють усю ширину рудного поля, що забезпечує максимальну ефективність видобутку. Розкривні породи транспортуються до зовнішніх відвалів, що відповідає гірничо-технічним умовам залягання родовища та сприяє оптимізації виробничих процесів.

Таблиця 2.1. Основні показники роботи ПРАТ «ІНГЗК»

Показники	2025р. (проект. плану)	В тому рахунку по кварталам			
		1 (план)	2 (план)	3 (план)	4 (план)
Виробництво концентрату ММС	8 855,8	2 201,6	2 226,3	2 250,6	2 177,3
Видобуток руди	21 340,0	5305,4	5364,6	5423,4	5246,6
	6 276,5	1560,4	1577,8	1595,1	1543,1
Руда з р/скл на РЗФ	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Вміст заліза:					
- Fe <sub>заг.</sub>	32,60	32,60	32,60	32,60	32,60
- Fe <sub>маг.</sub>	23,60	23,60	23,60	23,60	23,60
Постачання сировини на РЗФ	21 340,0	5305,4	5364,6	5423,4	5246,6
Вміст заліза у руді, що постачається на РЗФ:					
	- Fe <sub>заг.</sub>	32,60			
	- Fe <sub>маг.</sub>	23,60	23,60	23,60	23,60
Розкривні роботи	15 748,6	3 915,3	3 959,0	4 002,4	3 871,9
Коефіцієнт розкриття	0,738	0,738	0,738	0,738	0,738
Гірнича маса	22025,1	5475,7	5536,8	5597,5	5415,0
Втрати	1,53				
Засмічення	4,15				

Для видобутку гірничої маси в кар'єрі та на відвалах застосовуються екскаватори ЕКГ з об'ємом ковша 8-12 м<sup>3</sup> виробництва Іжорського заводу (ЗАТ ІРО Трейдінг), фронтальний навантажувач САТ-993К, а також гідравлічні екскаватори Hitachi-2500 та Hitachi-3600.

Видобуток руди здійснюється за циклічно-поточним методом із використанням автомобільного та конвеєрного транспорту. Руду транспортують автотранспортом із вибоїв на концентраційні горизонти - 60 м, -180 м, -300 м, де встановлені дробарки ККД-1500/180. Звідти руда подається на 2-гу, 3-ю та 4-у стадії подрібнення через конвеєри підземних трактів «Східний», «Західний-1» і «Східний-2».

Ключові характеристики системи розробки в цьому проєкті визначені відповідно до затвердженого Проєкту та включають такі параметри:

- висота уступів у проєкті визначена залежно від типу порід і становить: 10 метрів для наносних відкладів, 14 метрів для вапняків (на західному борту враховано перенарізку водоносних горизонтів, тому висота варіюється від 12 до 14 метрів), а для скельних і рудних порід – 15 метрів.

- ширина робочих майданчиків на горизонтах у межах наносів і вапняків варіюється від 30 до 60 метрів. Такі параметри обрано з урахуванням необхідності розміщення екскаваторів, забезпечення двостороннього руху автосамоскидів або залізничного транспорту, а також розташування ліній електропередачі;

- ширина робочих майданчиків на рудних і скельних розкривних уступах визначається з урахуванням кількості одночасно активних вибухових рядів свердловин, ширини зони розкиду гірської маси та оптимального розташування обладнання. Вона складає від 45 до 65 метрів, забезпечуючи ефективність проведення робіт і безпеку процесів.

Середня протяжність очисного фронту на одному уступі варіюється в межах від 100 до 800 метрів, залежно від гірничо-геологічних умов і плану розробки родовища.

Таблиця 2.2. Основні проектні та фактичні параметри кар'єру

Параметри		Одиниці виміру	Проектні показники	Фактичні показники на 01.10.2024 р.
Довжина по поверхні		м	4 234	3 720
Ширина по поверхні		м	2 506	2 280
Середня глибина		м	667	480
Кути нахилу бортів	Південного	град. хв.	31 град. 56 хв.	26 град. 04 хв.
	Західного	град. хв.	33 град. 20 хв. – 35 град. 58 хв.	26 град. 28 хв.
	Східного	град. хв.	22 град. 56 хв. – 36 град. 05 хв.	30 град. 04 хв.
	Північного	град. хв.	20 град. 20 хв. – 25 град. 50 хв.	15 град. 13 хв.
Висота уступів	По наносам	м	12	12
	По скельним породам	м	15	15
<b>Довжина транспортних берм:</b>				
Станом на:		Загальна довжина		Довжина транспортних берм, які не відповідають проекту, м
		м	м	%
01.01.2024 р.		21 290	350	1,64
01.01.2025 р.		24 100	350	1,45
01.01.2026 р.		23 680	310	1,31
<b>Довжина берм безпеки:</b>				
Станом на:		Довжина бортів кар'єра, на яких відсутні берми безпеки		Довжина берм безпеки, які не відповідають вимогам правил безпеки
		м	м	
01.01.2024 р.		540		1480
01.01.2025 р.		410		1700
01.01.2026 р.		400		1660

Темп просування уступів у горизонтальному напрямку складає 50 метрів на рік, що відповідає оптимальній швидкості для забезпечення ефективної розробки родовища.

Річний обсяг зниження гірничих робіт при виконанні проектних рішень складає 8-9 метрів на рік, що забезпечує стабільне та контрольоване проведення розробки родовища відповідно до затверджених технічних вимог.

На 01.06.2024 року в кар'єрі виконуються роботи на 34 горизонтах. Середня глибина кар'єру складає 475 метрів, його загальна довжина — 3720 метрів, а ширина — 2240 метрів.

У кар'єрі гірничі роботи проводяться за принципом поетапної розробки, що включає відпрацювання кар'єрних шарів з утворенням неробочих та тимчасово неробочих бортів. Цей процес реалізується через контурне підривання та пошарову розробку здвоєних уступів висотою 30 метрів.

Висотні відмітки горизонтів у кар'єрі: +66; +56; +40; +24; +12; ±0; -15; -30; -45; -60; -75; -90; -105; -120; -135; -150; -165; -180; -195; -210; -225; -240; -255; -270; -285; -300; -315; -330; -345; -360; -375; -390; -405; -420.

Згідно з проектом, виробнича потужність на 2024 рік визначена на рівні 30,976 мільйона тонн руди. Кар'єр працює в цілорічному режимі, при цьому масові вибухи здійснюються один раз на два тижні. Загальна кількість робочих днів складає 345, що відповідає 690 змінам.

Ключовими технологічними операціями є:

- підготовка гірських порід до виїмки;
- виймально-навантажувальні роботи;
- транспортування гірничої маси;
- відвалоутворення та рекультивація.

Отже, буро-вибухові роботи виконують ключову роль у забезпеченні ефективності всіх наступних технологічних процесів у кар'єрі ПрАТ «ІНГЗК». Вони також впливають на якість та гранулометричний склад гірничої маси, що сприяє ефективності її подальшого транспортування, дроблення та збагачення. Оптимальне подрібнення породи після вибуху сприяє зменшенню витрат на навантаження та перевезення, а також мінімізує втрати корисної копалини.

Крім того, правильне проектування та виконання вибухових робіт дозволяє контролювати рівень сейсмічного впливу, знижуючи ризики пошкодження обладнання та інфраструктури кар'єру. Завдяки використанню сучасних вибухових матеріалів, таких як «Емоніт-Н», забезпечується екологічна безпека процесу та зниження негативного впливу на навколишнє середовище.

Одним із важливих напрямків удосконалення буро-вибухових робіт є зменшення питомої витрати вибухових речовин. Це дозволяє не лише зменшити витрати на вибухові матеріали, а й мінімізувати утворення низько дрібних фракцій, що забезпечує подальшу обробку руди. Надмірне використання вибухових речовин може призвести до нераціонального руйнування гірничої маси, утворення великої кількості пилу та викидів, що негативно позначається на екологічному стані кар'єру та потребує додаткових витрат на пилоподавлення та рекультивацію.

Зменшення питомої витрати вибухових речовин можливо шляхом оптимізації параметрів буро-вибухових робіт, у тому числі завдяки вдосконаленню конструкції свердловинних зарядів. Використання зарядних колон з проміжних заповнювачів, а також вдосконалення схеми ініціювання сприяння більш рівномірному розподілу енергії вибуху, що покращує якість подрібнення породи. Це дозволяє підвищити ефективність процесу руйнування при зменшенні загального обсягу використаних вибухових речовин, що, за своїм часом, знижує витрати на проведення вибухових робіт та покращує загальну рентну видобуток.

### 3. АНАЛІЗ МЕТОДІВ КЕРУВАННЯ ЕФЕКТИВНІСТЮ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ВИБУХУ СВЕРДЛОВИННОГО ЗАРЯДУ, НАПРАВЛЕНИХ НА ЗМЕНШЕННЯ ПИТОМИХ ВИТРАТ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН

#### 3.1 Аналіз конструкцій свердловинних зарядів та їх вплив на питомі витрати вибухової речовини в умовах Інгuleцького кар'єру

Одним із чинників впливу на питомі витрати вибухової речовини є застосування різнотипних конструкцій свердловинних зарядів. На підприємстві для виробництва масових вибухів використовуються основні типи конструкцій свердловинних зарядів в залежності від категорії вибуховості (табл. 3.1):

- конструкція з суцільною колонкою заряду;
- конструкція розосередженого свердловинного заряду;
- конструкція з модульною перетинкою.

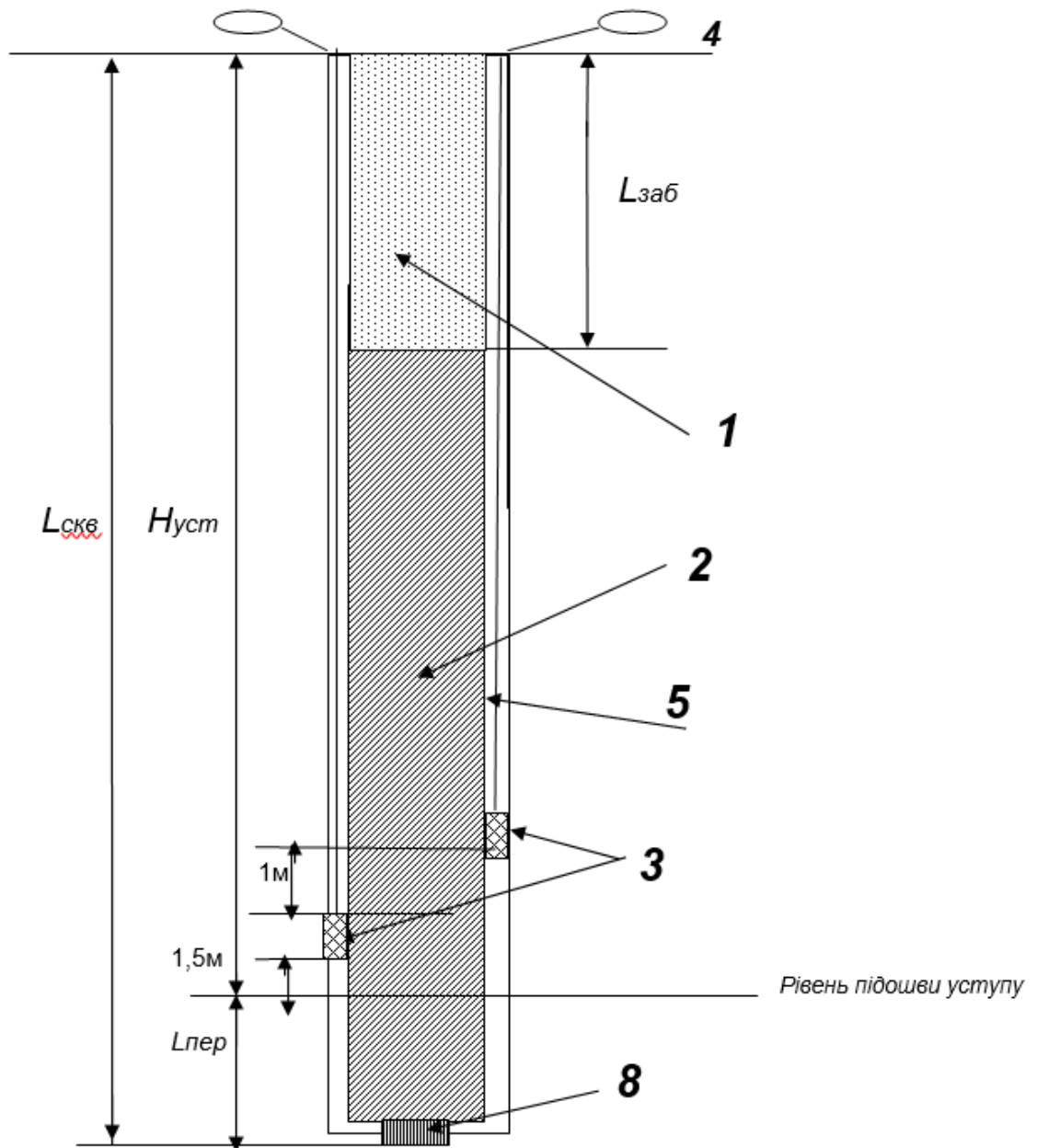
Таблиця 3.1 Класифікація гірських порід кар'єра Інгuleцького ГЗК з буримості та вибуховості

Категорія вибуховості порід	Найменування порід	Стратиграф ічний індекс	Категорія порід по буримості	Коеф-т міцності по Прото-дияконов у	Об'ємни й вага порід тм <sup>3</sup>
I. Дуже легко вибухають	Вапняки Дуже вивітрілі аркозо-філітові пісковики, мігматити, граніти, амфіболіти.	N	X	1-2	2.2
		AR PR <sub>1NK</sub>		1-4	2.6
II. Легко вибухають	Сланці біотитові, кварц-амфіболові, частково схильні до процесів вивітряння Дуже тріщинуваті окислені різновиди кварцитів Сланці талькові	PR <sub>1SX2</sub> <sup>3-4S</sup>	X-XII XI-XIII	3-5	2.6-2.8
		PR <sub>1SX1</sub> <sup>1-2S</sup>		5-8	3.0
		PR <sub>1SX3</sub> <sup>5f</sup>	1-5	2.6	
		PR <sub>1SX1</sub> <sup>2f</sup> PR <sub>1SK1</sub> <sup>3</sup>			

III. Середні вибухи	Кварцити окислені (вилужені, тріщинуваті)	PR <sub>1SX3</sub> <sup>5f-±</sup> PR <sub>1SX1</sub> <sup>2f</sup>	XI-XII	6-12	3.1-3.2
III . Середнє вибухаючі	Сланці біотитові, кварц-амфіболові	PR <sub>1SX2</sub> <sup>3-4S</sup> PR <sub>1SX1</sub> <sup>1-2S</sup>	XIII-XIV	8-12	2.8
	Кварцити окислені	PR <sub>1SX3</sub> <sup>5f-±</sup> PR <sub>1SX1</sub> <sup>2f</sup>	XII-XIV XII-XIV	10-14	3.2
	Аркозо-філіти	PR <sub>1SK1</sub> <sup>1</sup>	XII-XIV	8-12	2.7-2.8
IV. Трудно вибухаючі	Граніти, мігматити, амфіболіти (частково вивітрілі)	AR, PR <sub>1NK</sub>	XIV-XVI	10-17	2.8
	Кварцити окислені (грубо-блочні, бурозалізнякаві)	PR <sub>1SX3</sub> <sup>5f-±</sup> PR <sub>1SX1</sub> <sup>2f</sup>	XIV-XVI	10-15	3,0
	Кварцити магнетит-силікатні (широкополосчаті)	PR <sub>1SX3</sub> <sup>5f-±</sup> PR <sub>1SX1</sub> <sup>2f</sup>	XV-XVI	14-16	3,1-3.35
	Кварцити магнетитові	PR <sub>1SX3</sub> <sup>5f</sup>	XVII	18-20	3.35-3,5
V. Важко вибухаючі	Граніти, мігматити, амфіболіти	AR, PR <sub>1NK</sub>	XVII-XVIII	15-18	2,8-2,9
	Кварцити з прошарками сланців	PR <sub>1SX2</sub> <sup>3-4S</sup> PR <sub>1SX1</sub> <sup>1-2S</sup>		15-18	3.15-3.2
	Кварцити гематит-магнетитові	PR <sub>1SX3</sub> <sup>5f</sup>		18-20	3.35
	Кварцити силікат-магнетитові та магнетито-силікатні	PR <sub>1SX3</sub> <sup>4f</sup> PR <sub>1SX2</sub> <sup>3f</sup> PR <sub>1SX1</sub> <sup>2f</sup>		17-20	3.15-3.2
	Амфіболіти	PR <sub>1NK</sub>		10-14	2.9
VI. Дуже важко вибухаючі	Кварцити магнетито-силікатні	PR <sub>1SX2</sub> <sup>3f</sup>	XIX-XX	18-20	3.3
	Кварцити магнетито-силікатні приконтактної зони, кварцити п'ятого сланцевого горизонту	PR <sub>1SX1</sub> <sup>2f-1</sup> PR <sub>1SX3</sub> <sup>5S</sup> PR <sub>1SX3</sub> <sup>5f-±</sup>	XIX-XX	18-20	3,1
	Кварцити магнетитові, силікато-магнетитові та магнетито-силікатні	PR <sub>1SX1</sub> <sup>2f</sup>	XVIII	18-20	3,4

Детально розглянемо вище зазначені конструкції свердловинних зарядів, що використовуються на підприємстві, з урахуванням категорії вибуховості гірських порід. Особливу увагу буде приділено їх конструктивним характеристикам, принципам роботи та впливу на ефективність вибухових робіт, зокрема на питомі витрати вибухової речовини.

### Конструкція з суцільною колонкою заряду.



#### Умовні позначення :

- 1 - забивка свердловини; 2 - заряд ВР; 3 – ПД (проміжний детонатор); 4 - шпагат;
- 5 - рукав;
- 8 - обтяжувач;

Рисунок 3.1 – Конструкція з суцільною колонкою заряду.

#### Конструкції забивок:

- I - без забивки; II - суцільна; III - часткова; IV - природня гідрозабивка; V – суцільна з конусом;
- VI -гідрозабивка в рукаві; VII - зволожена забивка; VIII - зовнішня гідрозабивка; IX - Забивка з УУЕВ;

*X - зволожена забивка з щєбня в рукаві; XI - зволожена забивка з щєбня в рукаві з прошарком щєбня;*

*XII - Гідрозабивка між прошарками щєбня; XIII - Забивка з інертним прошарком (типу УП-1) та ін.; XIV – гідрозабивка в рукаві з інертним проміжком (типу УП1 та ін.) з прошарком щєбня; XV- зволожена забивка з щєбня в рукаві з інертним проміжком (типу УП1 та ін.).*

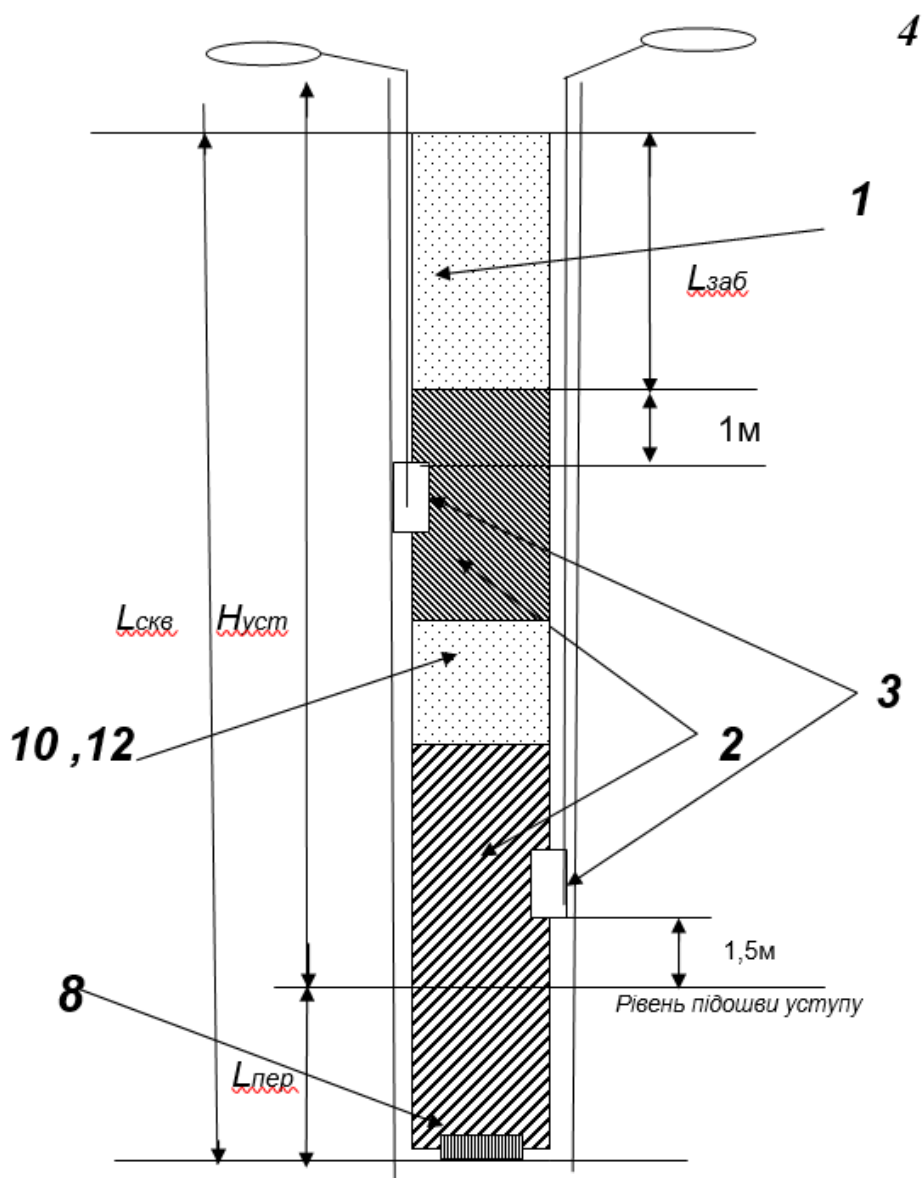
Суцільна колонка свердловинного заряду є найпростішим і найпоширенішим видом заряджання вибухових речовин у гірничій справі. Вона забезпечує рівномірне заповнення всієї вибухової частини свердловини без інертних проміжків, що забезпечує потужний і рівномірний вплив на породу

У цій конструкції вибухова речовина рівномірно заповнює всю зарядну частину свердловини від донної частини до гирла, без розосередження або використання інертних проміжків. Верхня частина свердловини (20–30% глибини) заповнюється інертним матеріалом (щєбінь, пісок, буровий шлам, гідрозабивка) для запобігання передчасному викиду газів та підвищення ефективності вибуху.

Застосовується при підриванні порід з категорію вибуховості II-VI.

Недоліками даної конструкції є підвищений рівень сейсмічного впливу, що може спричинити пошкодження навколишніх масивів і об'єктів, нерівномірне дроблення породи з утворенням значної кількості негабаритних уламків, а також збільшені питомі витрати вибухової речовини, що знижує економічну ефективність вибухових робіт. Крім того, потужний вибух може призвести до зниження якості підшви уступу, що ускладнює подальше буріння та транспортування гірської маси. Відсутність можливості регулювання вибухового процесу знижує ефективність використання енергії вибуху, а значне пиловідділення та газоутворення погіршують умови праці та негативно впливають на екологічне пошкодження.

## Конструкція розосередженого свердловинного заряду



### Умовні позначення :

1 - забивка свердловини; 2 - заряд ВР 0,65/0,35 загальної довжини; 3 – ПД (проміжний детонатор); 4 - шпигат; 5 - рукав;

8 - обтяжувач; 10 – розосереджуваний інертний проміжок; 12 – повітряний проміжок УП-1 та ін. схожі конструкції.

Рисунок 3.2 – Схема конструкції розосередженого свердловинного заряду

### Конструкції забивок:

I - без забивки; II - суцільна; III - часткова; IV - природня гідрозабивка; V – суцільна з конусом; VI -гідрозабивка в рукаві; VII - зволожена забивка; VIII - зовнішня гідрозабивка; IX - Забивка з УУЕВ; X -зволожена забивка з щебня в рукаві; XI - зволожена забивка з щебня в рукаві з прошарком щебня; XII - Гідрозабивка між

прошарками щебня; **XIII** - Забивка з інертним прошарком (типу УП-1) та ін.; **XIV** – гідрозабивка в рукаві з інертним проміжком (типу УП1 та ін.) з прошарком щебня; **XV**- зволожена забивка з щебня в рукаві з інертним проміжком (типу УП1 та ін.).

Розосереджений свердловинний заряд - це метод вибухових робіт, за якого вибухова речовина розміщується у свердловині не суцільно, а окремими зарядами, розділений проміжком. Цей метод дозволяє більш ефективно контролювати параметри вибуху та досягати кращих результатів дроблення.

Розміщення зарядів ВР у свердловині здійснюється відповідно до задалегідь розробленого проекту. Проект містить детальну схему розміщення зарядів із зазначенням відстані між ними, їх розмірів та маси.

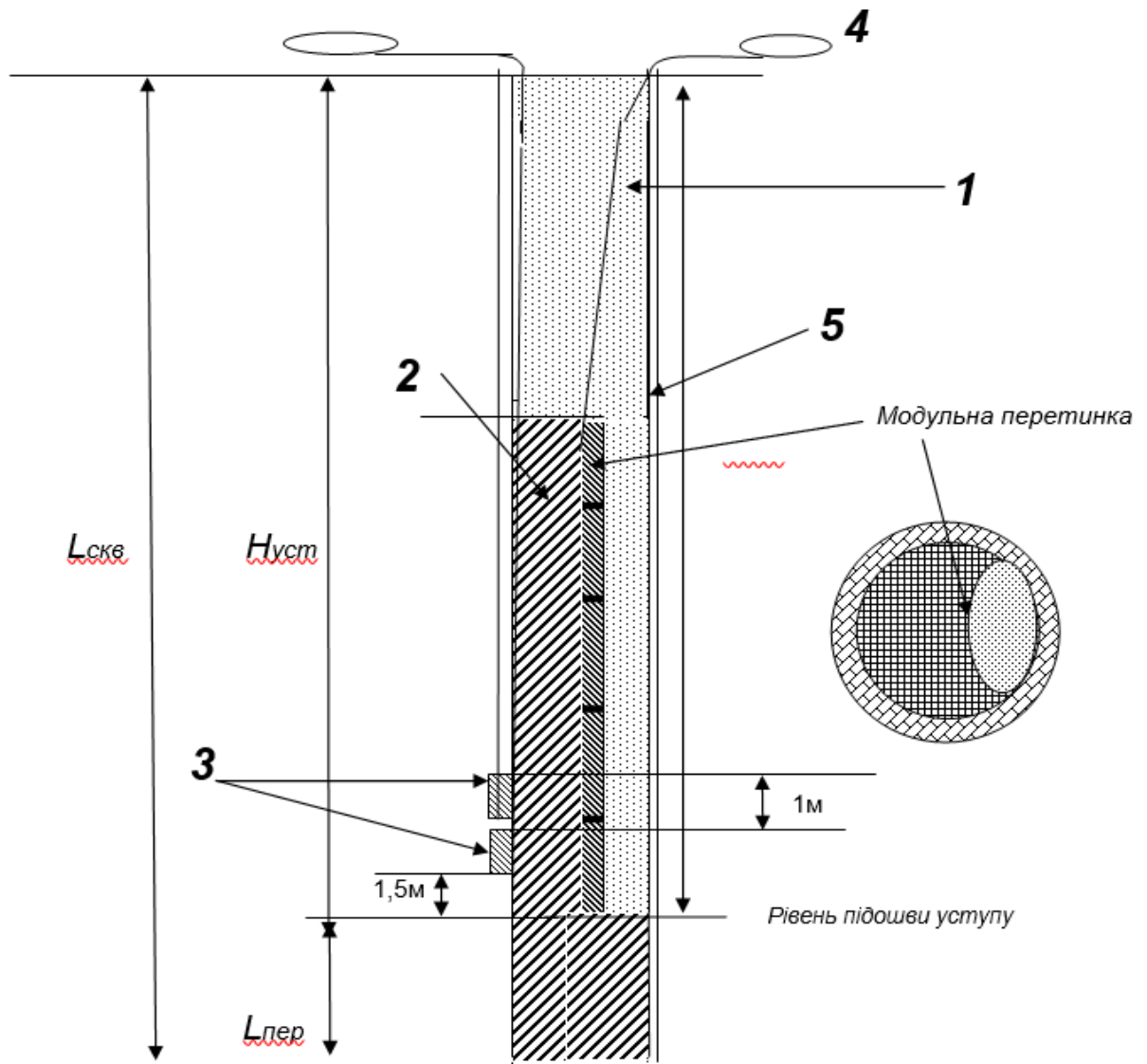
Для заповнення проміжку між зарядами можуть використовуватися повітряний проміжок або інертний матеріал (щебень, відсів, вода, пінопласт тощо).

На підприємствах в залежності від гірничо-геологічних розосередження зарядів по довжині здійснюється в пропорції 0,65/0,35, тобто довжина нижнього заряду складає 70% а верхнього 30% від загальної розрахункової довжини заряду та на основі таблиці

Таблиця 3.2 Показники для вибору довжини проміжку (за Л.Н. Марченко)

Показатели для выбора длины воздушного промежутка (по Л. Н. Марченко)	
Крепость и взрываемость пород	Отношение высоты воз- душного про- межутка к высоте заряда
Слабые породы типа крепкого вязкого каменного угля Эки- бастузского месторождения . . . . .	0,35—0,40
Породы средней крепости ( $f = 8 \div 10$ ), сильнотрещиноватые, ти- па известняков Каракубского месторождения . . . . .	0,30—0,32
Породы средней крепости ( $f = 8 \div 10$ ), крупноблочные, типа лейкократовых гранитов роговообманковых сиенитов Сорско- го месторождения . . . . .	0,21—0,27
Породы весьма крепкие ( $f = 12 \div 16$ ), трещиноватые, типа желе- зистых кварцитов Оленегорского месторождения . . . . .	0,15—0,20
Породы весьма крепкие ( $f = 12 \div 16$ ), вязкие, мелкотрещинова- тые, типа габбро-диабазов Норильского месторождения . . . . .	0,15—0,20

### Конструкція з модульною перетинкою



#### Умовні позначення :

1 - забивка свердловини; 2 - заряд ВР; 3 – ПД (проміжний детонатор); 4 - шпагат;  
5 - рукав;

Рисунок 3.3 – Схема конструкції з модульною перетинкою

#### Конструкції забивок:

I - без забивки; II - суцільна; III - часткова; IV - природня гідрозабивка; V – суцільна з конусом;

VI -гідрозабивка в рукаві; VII - зволожена забивка; VIII - зовнішня гідрозабивка; IX - Забивка з УУЕВ;

X -зволожена забивка з щєбня в рукаві; XI - зволожена забивка з щєбня в рукаві з прошарком щєбня;

XII - Гідрозабивка між прошарками щєбня; XIII - Забивка з інертним прошарком (типу УП-1) та ін.; XIV – гідрозабивка в рукаві з інертним проміжком (типу УП1 та ін.) з прошарком щєбня; XV- зволожена забивка з щєбня в рукаві з інертним проміжком (типу УП1 та ін.).

Свердловинний заряд з модульною перетинкою – це різновид розосередженого заряду, в якому заряди вибухової речовини у повздовжньому розділенні не просто проміжками, заповненими забійкою, а спеціальними модулями-перетинками.

Модульна перегородка виконана у вигляді щита з елементами пазового з'єднання між собою. Щит має дугоподібну форму з симетрично виконаними в його периферійній зоні повздовжніми надломами з торцевими накладками, які спряжені з центральною частиною щита і ребрами жорсткості. За допомогою модульної перегородки свердловини розділяють на подовжні основу і компенсаційну порожнину. В основній подовжній порожнині розміщена вибухова речовина, а в подовжній компенсаційній порожнині розміщена забивка, або низькобризантна вибухова речовина.

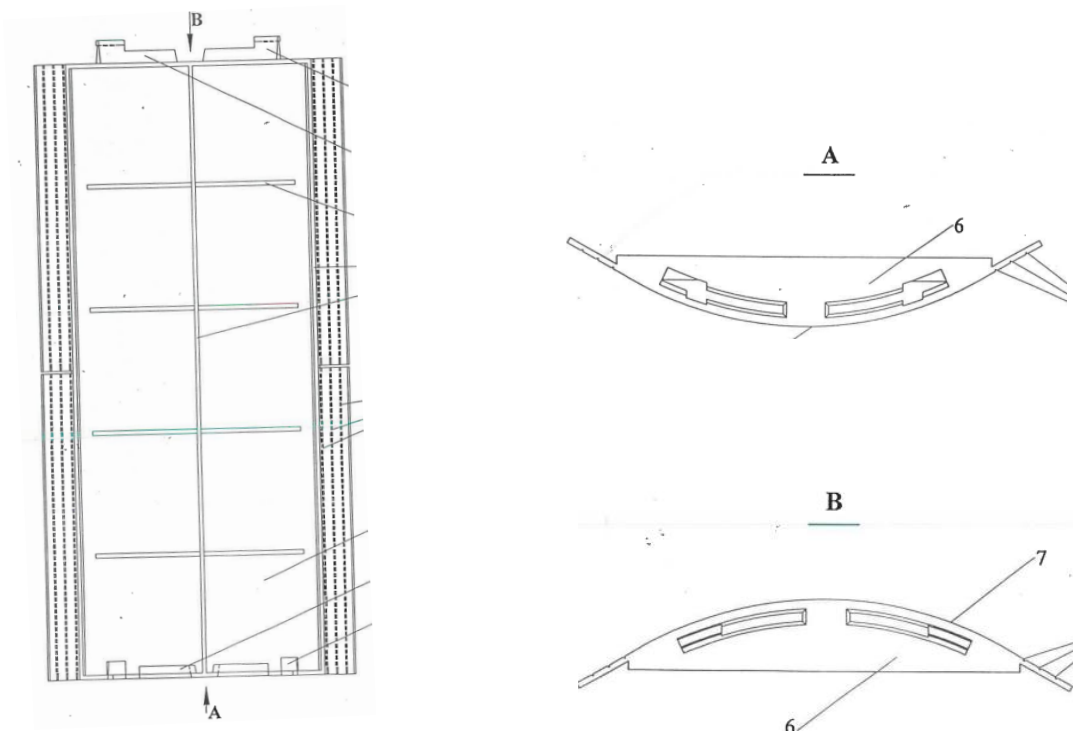


Рисунок 3.4 – Модульна перегородка для повздовжнього розділення порожнини вибухової свердловини

Дана конструкція розроблена лише для використання при підриванні останнього ряду блоків з метою зменшення руйнівного

впливу бризантної дії вибухової речовини на укіс уступу та формування чіткої лінії відриву, що в свою чергу дозволяє знизити витрату вибухової речовини.

Недоліками даної конструкції є суттєві обмеження у використанні, зумовлені тим, що зменшення величини заряду значно звужує сферу її застосування, дозволяючи ефективно використовувати конструкцію лише в останньому ряду вибухового блоку. Це обмежує можливості її впровадження в умовах кар'єру, де важливо забезпечити рівномірний розподіл енергії вибуху на всій площі. Крім того, дана конструкція відзначається підвищеною складністю у виконанні та організації, що ускладнює її реалізацію на практиці. Можливість додаткових технологічних операцій, таких як точне формування геометрії заряду, контроль його розташування та забезпечення стабільності конструктиву, збільшує до підвищення трудовитрат і ймовірності виникнення помилок під час монтажу.

Таким чином, виконавши аналіз наявних конструкцій свердловинних зарядів в умовах кар'єру ПрАТ «ІНГЗК», було визначено, що найбільш перспективною для удосконалення є конструкція з розосередженим свердловинним зарядом. Така конструкція дозволяє ефективно контролювати енергетичний вплив вибуху, що впливає на підвищення ефективності руйнування порід та зменшення питомих витрат вибухових речовин. Завдяки рівномірному розподілу зарядів по свердловині, розосередження дозволяє більш ефективно передавати енергію вибуху на руйнування порід, забезпечуючи максимальний результат при мінімальних витратах.

### 3.2 Удосконалення конструкції розосередженого свердловинного заряду з метою зниження питомих витрат вибухової речовини та оцінка економічної ефективності заходів з покращення.

Проведений аналіз існуючих методів розрахунку свердловинного заряду та його конструкції показала можливість керування дією вибуху свердловинного заряду шляхом застосування вибухової речовини з меншою питомою енергією в середній та верхній частинах заряду або зменшення щільності вибухової речовини (щільності заряджання) внаслідок чого може бути застосовані заряди нової конструкції.

На основі цього, автором пропонується конструкція розосередженого свердловинного заряду з запираючим приповерхневим зарядом.

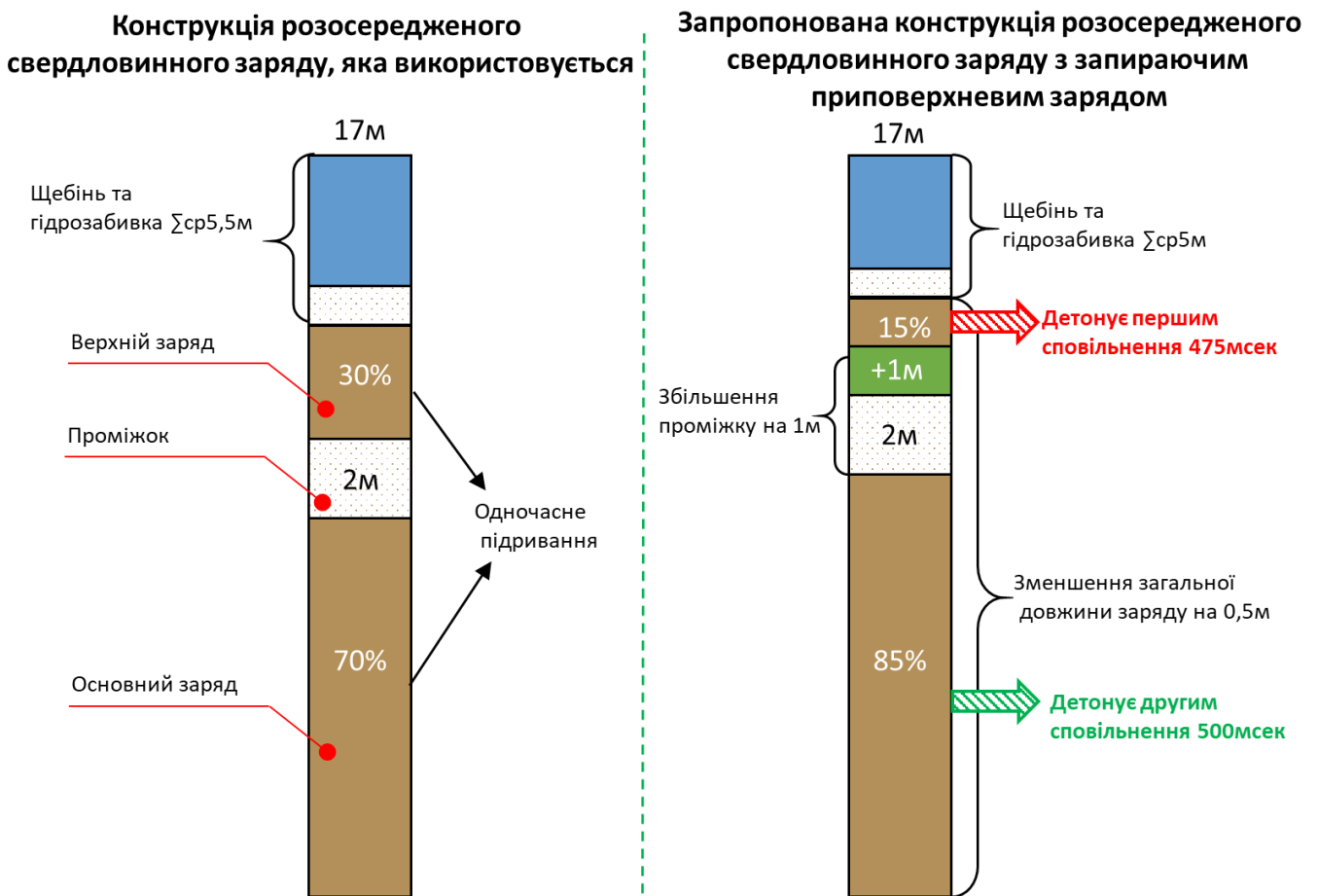


Рисунок 3.5 – Конструкція свердловинного заряду яка пропонується

Суть даного удосконалення свердловинного заряду полягає в наступному:

- зміна пропорції розподілу лінійної довжини основного і допоміжного заряду;
- збільшення проміжку з 2м до 3м(повітряний чи з інертним матеріалом) між зарядами;
- використання внутрішньосвердловинного сповільнення при ініціації свердловинного заряду, що дозволяє зменшити загальну довжину свердловинного заряду на 0,5м.

Зміна пропорції розподілу.

У розосередженому свердловинному заряді вибухова речовина розподіляється між основними і допоміжними зарядами в певних пропорціях, що залежать від гірничо-геологічних умов, характеристик вибухової речовини та бажаної ефективності вибуху.

Загальний прийнятий принцип розподілу розосередженого заряду, який використовується на підприємствах:

Основний заряд – складає 70% від загальної довжини заряду

Допоміжний заряд – 30%.

*Пропонується змінення розподілу зарядів:*

Основний заряд – 85% від загальної довжини заряду

Допоміжний заряд – 15%

Такий розподіл вибухової речовини дає можливість оптимізувати положення допоміжного заряду, підняти його на вищий рівень у свердловині та збільшити величину основного заряду. Це забезпечує ефективнішу проробку верхньої частини масиву, яка гарантовано має знижену активність у процесі руйнування через недостатню передачу енергії від основного і допоміжного заряду.

Розташування допоміжного заряду у верхній зоні свердловини та збільшення основного заряду дозволяє:

- Забезпечити рівномірний розподіл вибухової енергії по всій висоті вибухового блоку.
- Підвищити ефективність руйнування порід у верхній частині, що часто залишається недостатньо пропрацьованою при використанні традиційних заряджань.
- Зменшити ймовірність утворення великих шматків породи (негабариту) у верхньому шарі масиву, що сприяє покращенню дроблення.
- Мінімізувати енергетичні втрати та підвищити загальну ефективність вибухового процесу.

Таким чином, збільшення висоти розміщення допоміжного заряду дозволяє усунути проблему слабого опрацювання верхньої частини свердловини та значно підвищити результати вибухових робіт.

Збільшення проміжку.

Довжина повітряного проміжку в більшості випадків встановлюється емпірично і залежить від довжини колонки заряду, типу вибухової речовини і фізико-механічних властивостей гірських порід. Вона повинна забезпечувати виникнення досить високої напруги, яка могла б викликати інтенсивне руйнування.

Встановлення довжини повітряного проміжку ґрунтується на припущенні, що повітряні проміжки зменшують максимальний тиск продуктів детонації та збільшують час дії газів. Також величина довжини проміжку враховувалася для максимально можливого зміщення допоміжного заряду в сторону гирла свердловини.

Використання внутрішньосвердловинного сповільнення.

Пропонована конструкція буде вибухати з режимом внутрішньосвердловинного сповільнення, тобто першим вибухає верхній заряд і через уповільнення за часом вибухає нижній заряд. Номінал сповільнення нижнього заряду 500мсек, верхнього 475мсек.

Це дозволить створити в свердловині запираючий ефект, перерозподіл хвиль напруги, що дозволить збільшити працездатність свердловинного заряду.

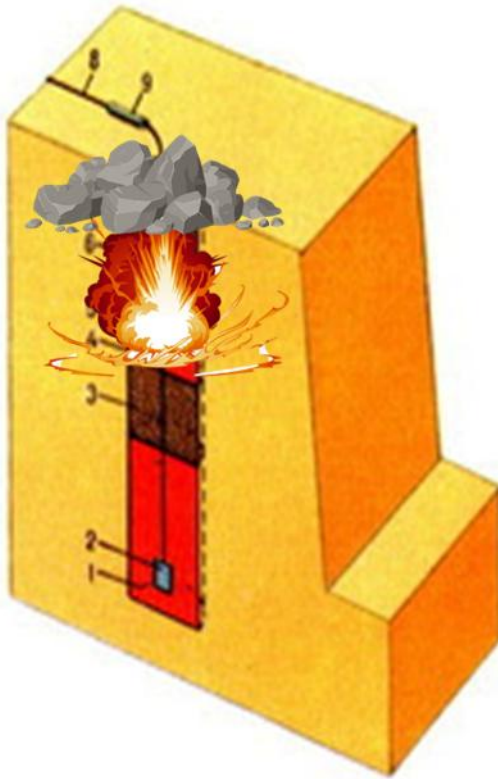


Рисунок 3.6 – Ініціювання верхнього заряду з сповільненням нижнього заряду

В результаті випереджального ініціювання «запираючого» заряду свердловини створюється горизонтальна «подушка» з відбитої гірської маси, що перешкоджає розльоту шматків і втраті енергії при вибуху основного заряду свердловини. Це дозволяє припустити зменшення загальної довжини свердловинного заряду на 0,5м, для зниження питомої витрати ВР без погіршення якості дроблення гірничої маси.

Крім цього, виробництво масових вибухів в пружному та затиснутому середовищі, поряд з підвищенням ступеня використання енергії поршневого та ударного впливу ВР, мінімізує викиди отруйних продуктів в атмосферу, що є дуже актуальним.

Розрахунок параметрів свердловинного заряду

1) Лінія опору по підшві уступу повинна задовольняти умові:

$$W_{\min} \geq h_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha + C \quad (\text{де } C - \text{безпечна відстань}).$$

2) Перебур свердловини необхідний для кращої проробки підшви уступу з метою створення нормальних умов для роботи ВНО та транспорту.

$$l_n = \sqrt{h_y^2 + W^2} - h_y, \text{ м,} \quad \text{або орієнтовно прийняти } l_n = (10 \dots 15) \cdot d_c, \text{ м}$$

$W$  – довжина лінії опору по підшві уступу.

3) Глибина свердловини залежить від висоти уступу та кута їх нахилу

$$l_c = \frac{h_y}{\sin \beta} + l_n, \text{ де } \beta - \text{кут нахилу свердловини, } ^\circ; l_n - \text{величина перебуру, м,}$$

Кут нахилу свердловини. Найбільше застосування в кар'єрах отримали вертикальні свердловини, при бурінні яких забезпечується висока продуктивність бурових верстатів та створюються оптимальні умови для механізованого зарядження свердловин.

4) Довжина забійки:  $l_3 = (20 \dots 35)d_c, \text{ м,}$  або  $l_3 = (0,6 \dots 0,8)W, \text{ м.}$

5) Довжина суцільного заряду:  $l_{зар} = l_c - l_{заб}$ . Якщо довжина суцільного заряду  $l_{зар} \geq 1,2W$ , то застосовують розосереджені заряди.

Для розосереджених зарядів:  $l_{осн зар} = 1,2 \cdot W, \text{ м}$  – довжина основного заряду; сумарна довжина повітряних проміжків:  $\Sigma l_{пром} = (0,17 \dots 0,35) \cdot l_c,$

м

6) Питомі витрати ВР:  $q = 12^4 \sqrt{\frac{f^3 \cdot \Delta}{Q^3}}$ , де  $Q$  – теплота вибуху обраної ВР,  $\Delta$  – щільність заряджання ВР у свердловині (при механізованому заряджанні – 1 кг/дм<sup>3</sup>).

7) Місткість заряду в 1 м свердловини:  $P = \frac{\pi \cdot d_c^2}{4} \cdot \Delta$ , кг/м

8) Відстань між свердловинами в ряду:  $a = 0,8 \cdot \frac{P}{q \cdot W}$ , м

9) Відстань між рядами свердловин:  $b = m \cdot a$ , м, де  $m$  – коефіцієнт зближення зарядів (для легкопідриваємих порід  $m = 1,1 \dots 1,4$ , для порід середньої важкості підривання  $1 \dots 1,1$ , для важкопідриваємих порід  $0,75 \dots 1$ ).

10) Вихід підірваної гірської маси з 1 м свердловини:

$$q_{г.м} = \frac{[W + b \cdot (n_p - 1) \cdot h_y \cdot a]}{n_p \cdot l_c}, \text{ де } n_p = \frac{Ш_{бл}}{b}$$

11) Ширина розвалу при однорядному миттєвому підриванні:

$B_0 = K_B \cdot K_\beta \cdot \sqrt{q \cdot h_y}$  де  $K_B$  – коефіцієнт, що характеризує підриваємість гірських порід (для легкопідриваємих  $3 \dots 3,5$ , середньої важкості  $2,5 \dots 3$ , важкопідриваємих  $2 \dots 2,5$ )  $K_\beta = 1 + 0,5 \sin 2(\pi/2 - \beta)$  – коефіцієнт, що враховує кут нахилу свердловини.

12) Ширина розвалу при багаторядному підриванні:

$B_\sigma = K_\sigma \cdot B_0 \cdot (n_p - 1) \cdot b$ , де  $K_\sigma$  – коефіцієнт дальності відкидання підірваної породи, який залежить від інтервалу уповільнення між рядами зарядів

$$d_{сер} = \frac{60}{\frac{1}{l_{сер}} + \frac{300 + h_y}{100 + d_c} \cdot q_{с.м}}, \text{ м}$$

13) Очікувана кускуватість:

де  $l_{сер}$  – розмір середньої природної окремоті у масиві, м (Розмір окремоті приймають для сильнотріщинуватих 1,2 м, середньотріщинуватих 0,9 м, малотріщинуватих 0,6 м).

14) Вихід негабариту повинен складати не більше 3-5%, то об'єм негабариту після вибуху:  $V_H = (0,03 \dots 0,05) \cdot V_б, \text{ м}^3$ . Приймаємо вихід негабариту максимально можливим (тобто  $V_{H \max} = 0,05 \cdot V_б, \text{ м}^3$ ,  $V_б = D_б \cdot Ш_б \cdot h_y, \text{ м}^3$ ).

15) Витрати вибухової речовини для ВП:  $B = V_{H \max} \cdot q, \text{ кг}$ , де  $q$  -  $\text{кг/м}^3$  – питома витрата вибухової речовини.

Після розрахунків параметрів свердловинного заряду був розроблений паспорт конструкції свердловинного заряду з запираючим приповерхневим зарядом.

Таблиця 3.3 Паспорт конструкції свердловинного заряду з запираючим приповерхневим зарядом.

Висота уступу,м		12	12	12	12	12	15	15	15	15	15	17	17	17	17	17	
Діаметр свердловини,мм		256	256	256	256	256	256	256	256	256	256	256	256	256	256	256	
Міцність порід,ф		8	14	20	20	20	8	14	20	20	20	8	14	20	20	20	
Категорія з підриваємості		II	III	IV	V	VI	II	III	IV	V	VI	II	III	IV	V	VI	
ЛСПП,м		10	9	8	7	7	11	10	8	8	8	11	10	8	8	8	
ВМС 1-го ряду,м		7	6	6	5	5	7	5	4	4	4	7	6	4	4	4	
ВМС наступного ряду		8	7	7	6	5	8	7	7	6	5	8	7	7	6	5	
ВМР,м		8	7	6	6	6	8	7	6	6	6	8	7	6	6	6	
Перебур 1-го ряду,м		2,0	2,5	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	
Перебур наступного ряду,м		2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	
Довжина забивки, м	1-го ряду	верхня частина	7,0	6,0	5,0	4,5	4,5	6,0	5,0	4,5	4,0	4,0	7,0	6,0	5,5	5,0	5,0
		розосередження	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	наступ.рядів	верхня частина	7,0	6,0	5,0	4,5	4,5	7,0	6,0	5,5	5,0	5,0	7,0	6,0	6,5	5,0	5,0
		розосередження	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	останнього ряду	верхня частина	7,5	6,5	5,5	5,0	5,0	7,5	6,5	6,0	5,5	5,5	7,5	6,5	6,0	5,5	5,5
		розосередження	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Довжина заряду, м	1-го ряду	<b>заряд №1 низ</b>	2,0	4,0	5,5	6,0	6,0	6,5	7,5	8,0	8,5	8,5	8,5	9,5	10,0	10,5	10,5
		заряд №2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	наступ.рядів	<b>заряд №1 низ</b>	2,5	3,5	4,5	5,0	5,0	5,5	6,5	7,0	7,5	7,5	7,5	8,5	9,0	9,5	9,5
		заряд №2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,5	1,5	1,5	1,5
	останнього ряду	<b>заряд №1 низ</b>	3,0	4,0	5,0	5,5	5,5	6,0	7,0	7,5	8,0	8,0	8,0	9,0	9,5	10,0	10,0
		заряд №2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,5	1,5	1,5	1,5
Вага заряду в свер.кг	1-го ряду	<b>заряд №1 низ</b>	128	256	352	384	384	416	480	512	544	544	544	608	640	672	672
		заряд №2	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96
	наступ.рядів	<b>заряд №1 низ</b>	160	224	288	320	320	352	416	448	480	480	480	544	576	608	608
		заряд №2	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	160	96	96	96
	останнього ряду	<b>заряд №1 низ</b>	192	256	320	352	352	384	448	480	512	512	512	576	608	640	640
		заряд №2	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	160	96	96	96
Об'єм г.массы	1-го ряду	840	648	576	420	420	1155	750	480	480	480	1309	1020	544	544	544	
	наступного ряду	768	588	504	432	360	960	735	630	540	450	1088	833	714	612	510	
Місткість ВР в 1 м сверд., кг		64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	
останнього ряду		64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	
Пит.витрата ВР, кг /м3	1-го ряду	0,15	0,40	0,61	0,91	0,91	0,36	0,64	1,07	1,13	1,33	0,42	0,60	1,18	1,24	1,24	
	наступ.рядів	0,21	0,38	0,57	0,74	0,89	0,37	0,57	0,71	0,89	1,28	0,44	0,65	0,81	0,99	1,19	
	останнього ряду	0,25	0,44	0,63	0,81	0,98	0,40	0,61	0,76	0,95	1,35	0,47	0,69	0,85	1,05	1,25	
Выход г/м.м3/м	1-го ряду	93,3	64,8	54,9	40,0	40,0	92,4	60,0	38,4	38,4	38,4	84,5	65,8	35,1	35,1	35,1	
	останнього ряду	80,8	61,9	53,1	45,5	37,9	76,8	58,8	50,4	43,2	36,0	75,0	57,4	46,1	42,2	35,2	
Радіус розльоту,м		120	259	381	447	447	212	374	528	556	556	239	376	575	600	600	

Примітка:

Глибина свердловини та висота колонки заряду змінюється на величину відхилення висоти уступу (збільшення або зменшення).

Оцінка економічної ефективності заходів з покращення.

Проаналізувавши паспорти масових вибухів на Інгулецькому кар'єрі, було встановлено долю використання конструкцій свердловинних зарядів, що застосовують у вибухових роботах. Таким чином найбільшу кількість займають конструкції зі суцільною колонкою зарядів, які складають 85% від загальної кількості. Другу частину складають конструкції з розсередженим свердловинним зарядом, що становить 10%. Останні 5% складаються з модульної перегородки, що застосовується лише при заряджанні останніх рядів блоку. Не значна доля використання конструкцій з розосередженим зарядом та модульною перегородкою обумовлено складністю використання точного розподілу зарядів по всій свердловині, що ускладнює процес заряджання і підвищує вимоги до обладнання та технологічних процесів.



Рисунок 3.7 – Співвідношення використання конструкцій свердловинних зарядів, які застосовуються на кар'єрі ПрАТ «ІНГЗК»

На основі запропонованого вдосконалення, автор роботи разом зі спеціалістами цеху Кар'єр здійснили експерименти із застосуванням конструкції свердловинного заряду з запираючим приповерхневим зарядом під час проведення масових вибухів.

Для експерименту на протязі 7 місяців при проведенні масових вибухів виконувалося заряджання експериментальної конструкції свердловинного заряду на 19 вибухових блоках та підірвано 922 свердловини.

Таблиця 3.4 Кількість проведення експериментальних випробувань

№ п/п	Дата вибуху	№ блока	Горизонт	Кількість свердловин, шт	Економія ВВ, 1м зі свердловини, кг
1	05.04.2019	68	-30	41	2624
2	05.04.2019	62	-105	47	3008
3	19.04.2019	66	-75	25	1600
4	19.04.2019	67	-90	22	1408
5	19.04.2019	63	-120	17	1088
6	03.05.2019	93	-390	31	1984
7	17.05.2019	114	-390	25	1600
8	31.05.2019	119	-30	55	3520
9	31.05.2019	115	-135	45	2880
10	27.06.2019	129	-135	29	1856
11	14.06.2019	132	-120	39	2496
12	12.07.2019	133	-120	29	1856
13	26.07.2019	147	-45	141	9024
14	09.08.2019	168	-120	30	1920
15	06.09.2019	188	-45	43	2752
16	20.09.2019	185	-105	167	10688
17	04.10.2019	184	-150	48	3072
18	18.10.2019	216	-150	48	3072
19	18.10.2019	213	-150	40	2560
Всього				922	59008

Також на протязі експерименту відслідковувався економічний ефект від запропонованих заходів операційного покращення зазначений в таблиці 3.5

Таблиця 3.5 Економічний розрахунок БВР при застосуванні свердловинного заряду з запираючим приповерхневим зарядом.

1. Цех:		Кар'єр												
ВВ Україн-ПП 2Б														
Найменування параметра		Ум.позн.	Од. вимір.	Величина	Джерело	Примітка								
<b>Технологічні дані:</b>														
Проектна середня глибина свердловини		ТД1	м.	17	Звіт ПрО									
Місткість ВР в 1 м.п. свердловини		ТД2	кг/м.п.	64	Тех.бюро Кар'єра									
Висота колонки заряду (ДО)		ТД3	м.	9,5	Тех.бюро Кар'єра									
Висота колонки заряду (ПІСЛЯ)		ТД4	м.	9	Тех.бюро Кар'єра									
Кількість проміжних детонаторів (ДО)		ТД5	шт./свердловину	4	Тех.бюро Кар'єра									
Кількість проміжних детонаторів (ПІСЛЯ)		ТД6	шт./свердловину	4	Тех.бюро Кар'єра									
<b>Економічні дані:</b>														
Курс		ЭД1	грн/\$	27,18	Факт 2018									
Курс		ЭД1	грн/\$	29,00	БП 2019									
Вартість ВВ Україн-ПП 2Б		ЭД2	тис.грн./тонн.	14,92	ПЕО Кар'єра									
Вартість проміжних детонаторів ЗТП-800		ЭД3	тис.грн./шт.	0,197	ПЕО Кар'єра									
<b>Розрахунок ефекту:</b>														
Витрата ВВ Україн-ПП 2Б		РЭ1	тонн	531,07	Розрахунок									
<b>Економічний ефект за ресурсами за рахунок заходів, тис.\$</b>														
Витрати на підривання		ЭЭ1	тис. \$	15,18	Розрахунок									
Разом економічний ефект, тис.\$		ЭЭ2	тис. \$	15,18	Розрахунок									
<b>9.1 Фактичний ефект до БП-19:</b>				<b>2019</b>										
	Од. вимір.				Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень			Разом 2019
Економія	тис.\$				2,50	2,57	1,12	2,80	0,49	3,46	2,24			15,18
Кількість свердловин	шт.				152	156	68	170	30	210	136			922
Витрата ВР (ДО)	тон				92,42	94,85	41,34	103,36	18,24	127,68	82,69			560,58
Витрата детонаторів (ДО)	шт.				608	624	272	680	120	840	544			3 688
Витрата ВР (ПІСЛЯ)	тон				87,6	89,9	39,2	97,9	17,3	121,0	78,3			531,07
Витрата детонаторів (ПІСЛЯ)	шт.				608	624	272	680	120	840	544			3 688
Витрати на підривання (ДО)	тис.грн				1 498,2	1 537,7	670,3	1 675,6	295,7	2 069,9	1 340,5			9 087,93
Витрати на підривання (ПІСЛЯ)	тис.грн				1 425,66	1 463,18	637,80	1 594,49	281,38	1 969,66	1 275,59			8 647,76
Зниження витрати ВР	тон				4,86	4,99	2,18	5,44	0,96	6,72	4,35			29,50
<b>9.2 Фактичний ефект до факту</b>	<b>тис.грн</b>				<b>72,57</b>	<b>74,48</b>	<b>32,46</b>	<b>81,16</b>	<b>14,32</b>	<b>100,26</b>	<b>64,93</b>			<b>440,17</b>

Отже, після виконання підривних робіт на 922 свердловинах було досягнуто економічного ефекту у розмірі 440,17 тис. грн. Цей результат підтверджується експериментальними даними, що свідчать про ефективність використаної технології та конструкції свердловинних зарядів. Результати підривних робіт, зокрема зниження питомих витрат вибухових речовин та поліпшення параметрів вибухових процесів, дозволили отримати значні економічні переваги в умовах масових вибухів.

## **4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПРИ ВИКОНАННІ БУРОПІДРИВНИХ РОБІТ НА ВІДКРИТИХ ГІРНИЧИХ РОБОТАХ**

### **4.1 Забезпечення безпечних умов праці під час виконання буропідричних робіт у кар'єрах: нормативно-правові, технічні та організаційні аспекти**

Охорона праці при буровибухових роботах на відкритих гірничих роботах є одним із ключових аспектів для забезпечення безпеки трудового процесу та запобігання аварійним ситуаціям. Буровибухові роботи, як невід'ємна частина гірничих процесів, часто виконуються в умовах значної небезпеки. Вони передбачають використання вибухових речовин, що, в свою чергу, істотно підвищує рівень ризику як для працівників, так і для навколишнього середовища. Технічні, організаційні та медичні заходи для запобігання нещасним випадкам мають першочергове значення для створення безпечних умов праці та забезпечення сталості виробничих процесів.

Вибухові роботи можуть призвести до серйозних травм, таких як ушкодження органів слуху, зору, опіки, а також до травмування через уламки, що можуть бути викинуті під час вибуху. Крім того, невірне застосування технології вибухових робіт може призвести до руйнування бурового обладнання, автомобілів та інших механізмів, що використовується для транспортування матеріалів. Такі пошкодження не тільки збільшують витрати, а й можуть призвести до значних затримок у виконанні робіт.

Окрім ризиків для персоналу та техніки, важливим аспектом є вплив на довкілля. Порушення технологічних процесів чи недотримання стандартів безпеки може спричинити забруднення повітря, води,

ґрунтів, що, в свою чергу, негативно позначиться на екологічній ситуації в районі проведення робіт.

Тому організація безпеки при виконанні буровибухових робіт повинна включати в себе комплексний підхід, що охоплює не лише технічні та технологічні аспекти, але й навчання персоналу, регулярний контроль за виконанням вимог охорони праці, а також використання сучасних засобів для захисту від потенційних загроз.

Основні аспекти охорони праці під час буропідривних робіт:

- Дотримання нормативних вимог – робота проводиться за затвердженими інструкціями та технологічними картами.
- Навчання персоналу – вибухівники та буровики проходять спеціальну підготовку та атестацію.
- Засоби індивідуального захисту – використання касок, захисних окулярів, протишумових навушників та спеціального одягу.
- Контроль стану вибухових речовин – зберігання, транспортування та використання вибухових матеріалів здійснюється відповідно до правил безпеки.
- Огорожа та евакуація – перед вибухом проводиться евакуація персоналу із небезпечної зони та встановлюються попереджувальні знаки.
- Моніторинг та аналіз небезпечних факторів – контроль сейсмічного впливу, запобігання відколам та обвалам порід.

Забезпечення охорони праці при вибухових роботах не лише зменшує ризик травмування людей, але й сприяє стабільності виробничих процесів та екологічній безпеці підприємства.

При виконанні технологічних операцій з підготовки та проведення МВ вибухперсонал керується діючою нормативно-технічною документацією з ведення вибухових робіт, інструкціями та положеннями. Буріння свердловин повинно проводитися у суворій відповідності до паспорту та проекту бурових робіт.

Буровий верстат повинен бути встановлений на спланованому майданчику і розташований так, щоб гусениці верстата знаходилися не ближче ніж за два метри від верхньої брівки уступу і були перпендикулярні їй.

Дозволяється застосовувати буровий верстат для чищення свердловин блоку, що заряджається, у разі безперервного їх зашламування. Порядок використання верстата та заходи безпеки повинні бути узгоджені відповідно до чинного законодавства.

Гирла свердловин в радіусі 0,7 м повинні бути очищені від шматків породи та бурового шламу.

Проїзди між рядами свердловин та під'їзди до блоків повинні бути сплановані та забезпечувати безпеку роботи технологічного автотранспорту при зарядці та забійці свердловин.

Блоки, що заряджаються, повинні бути очищені від сторонніх предметів та обладнання.

Корки з ВР другої групи, що утворилися в свердловинах, допускається ліквідувати дерев'яним жердиною - пробійником.

Установка та кріплення проміжних детонаторів (ПД) повинні виключати їх падіння у свердловину.

При зарядці та забивці свердловин не допускати наїзди на ДШ, хвилеводи та гирла свердловин.

Заборонена зона повинна огороджуватись червоними прапорцями або попереджувальними табличками «СТІЙ! ВИБУХОВІ РОБОТИ».

Не допускати прохід у заборонену зону блоку осіб, не пов'язаних з підготовкою масового вибуху та контролем із заряджання, забійкою та комутацією вибухових блоків.

Забороняється перебування людей під та над «заколами», «козирками» і т.д., а також на відстані ближче 2/3 висоти уступу від нижньої брівки уступу вище.

Виконання технологічних операцій та робіт повинно проводитись за командою відповідального керівника масового вибуху та осіб технічного нагляду.

Не допускаються зміни проєкту масового вибуху без додаткового узгодження.

Усі роботи проводити у спецодязі, ЗІЗ, справним інструментом.

Не допускати витрати ВМ у кількості, що перевищує передбачене проєктом масового вибуху.

Контроль за виконанням проєкту масового вибуху покласти на осіб, зазначених у розпорядженні з Кар'єру.

Вибухові матеріали забороняється кидати, кантувати, бити тощо. Огляд місця вибуху повинен проводитися візуально і починатися з підвітряного боку.

Ходіння по підірваній гірській масі забороняється.

Оповіщення та організація робіт здійснюються відповідно до «Інструкції з організації використання повітряного простору під час проведення вибухових робіт у кар'єрі ПРАТ «ІНГЗК».

Вимоги безпеки при проведенні бурових робіт

#### 1. Допуск до роботи на бурових станках

До роботи на бурових станках допускаються лише особи, які досягли 18 років, пройшли медичний огляд та спеціальне навчання, визначене програмами та нормами безпеки. Усі працівники повинні скласти іспити, успішно їх пройти та отримати відповідні посвідчення, що дають право на виконання робіт на бурових станках.

#### 1.2. Направлення персоналу на робоче місце

Персонал бурової ділянки направляється до робочого місця тільки після отримання наряду від технічного нагляду. Робітник

підпорядковується безпосередньо особі, яка відповідає за технічний нагляд.

### 1.3. Вимоги до кваліфікації персоналу

Згідно з вимогами «Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів» та «Правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів», до персоналу, який обслуговує бурові станки, пред'являються такі вимоги:

- Якщо в машині використовується напруга до 1000 В, то машинисти бурових станків повинні мати кваліфікаційну групу не нижче III, а помічники машинистів — не нижче II групи.
- Якщо в машині використовується напруга понад 1000 В, то машинисти бурових станків повинні мати кваліфікаційну групу не нижче IV, а помічники — не нижче III групи.

## 2. Обов'язки машиниста та відповідальність

Протягом усієї зміни старшим на буровому станку є машинист бурової установки, який несе повну відповідальність за дотримання правил техніки безпеки при виконанні робіт на станку. При виконанні бурових робіт кількома станками, що працюють поруч один з одним, дозволяється працювати одному машинисту та одному помічнику на кожному станку.

### 2.1. Обов'язки машиниста бурової установки

Машинист бурової установки зобов'язаний:

- дотримуватись технологічних правил експлуатації станка;
- підтримувати станок та обладнання в чистоті й справності;

- своєчасно проводити мастило механізмів;
- вміти ліквідувати аварії з буровим ставом і усувати прості несправності електричного обладнання;
- контролювати наявність і справність протипожежного інвентарю;
- постійно перебувати на робочому місці і не залишати станок без нагляду, за умови спільної роботи з помічником на двох станках, другий станок має бути вимкнений під час виконання спільних операцій;
- слідкувати за показниками контрольно-вимірювальних приладів і оперативно коригувати їх до оптимального режиму;
- контролювати натяг канатів головного підйому та рівномірність руху бурового інструменту;
- слідкувати за станом освітлення станка, справністю кабелю, засобами індивідуального захисту від ураження електричним струмом, а також за своєчасною чисткою пилозбірних пристроїв.

### 3. Обов'язки щодо обслуговування бурової установки

Обов'язки машиниста та помічника визначаються внутрішніми інструкціями або іншими нормативними документами підприємства. Крім того, вони повинні бути навчені правилам поведження у разі виникнення небезпечних ситуацій та наданню першої допомоги потерпілим.

### 4. Перевірка знань безпечних методів роботи

Перевірка знань машинистів та помічників проводиться щорічно комісією, яку призначає керівник підприємства або цеху.

## 5. Прийом-здача зміни

Прийом-здача зміни має здійснюватися на робочому місці. Машинист попередньої зміни зобов'язаний повідомити працівників, які заступають на зміну, про всі зміни та виявлені небезпеки, щоб вжити відповідних запобіжних заходів.

## 6. Обов'язки при прийомі зміни

При прийомі зміни машинист та його помічник повинні:

- перевірити безпеку робочого місця та його достатнє освітлення;
- оглянути живильний кабель на наявність ушкоджень і правильне розташування для уникнення пошкоджень;
- перевірити трансформаторну підстанцію на справність заземлення та реле захисту;
- перевірити справність механізмів, наявність захисних пристроїв та індивідуальних засобів захисту, таких як діелектричні рукавички, коврики, галоші, очки, пояс та інші засоби;
- зафіксувати результати огляду у «Книзі прийому-здачі зміни».

## 7. Огляд станка перед початком зміни

Перед початком зміни та під час роботи проводиться огляд станка і усунення несправностей при вимкненому живленні.

## 8. Напруга для освітлення

Для освітлення, що працює від переносних джерел, повинна використовуватись напруга не більше 36 В змінного струму.

## 9. Обслуговування електрообладнання

Обслуговування електрообладнання бурового станка проводиться машинистом разом з електриком. Результати оглядів і поточних ремонтів фіксуються у журналі на станку.

### **4.2 Зменшення негативного екологічного впливу під час буропідривних робіт на відкритих гірничих роботах**

Буропідривні роботи на відкритих гірничих роботах мають значний вплив на навколишнє середовище, зокрема через викиди шкідливих газів, пилу та шум. Проте зусилля щодо зниження екологічного впливу стали важливою частиною сучасних технологій ведення буропідривних робіт. У цьому контексті велике значення має удосконалення конструкції розосередженого заряду з запираючим приповерхневим зарядом, що дозволяє знизити кількість шкідливих газів, які викидаються під час вибуху. Ось кілька основних методів, які сприяють зменшенню екологічного впливу при виконанні таких робіт:

#### 1. Удосконалення конструкції вибухових зарядів

Удосконалення конструкції вибухових зарядів є важливим етапом у зниженні екологічного впливу. Одним із способів є використання розосередженого заряду з запираючим приповерхневим зарядом, що сприяє частковому зменшенню викидів шкідливих газів під час вибуху. Така конструкція дозволяє знизити кількість та інтенсивність викидів шкідливих речовин у атмосферу, оскільки забезпечує більш рівномірний розподіл енергії вибуху та зменшує швидкість детонації. Це дозволяє знижувати кількість токсичних газів, таких як окис вуглецю, азоту та інших шкідливих сполук.

#### 2. Використання екологічно чистих вибухових речовин

Одним із найважливіших способів зменшення екологічного впливу є застосування вибухових речовин, що мають менший негативний вплив на довкілля. На ринку з'являються нові, більш безпечні і менш забруднюючі альтернативи традиційним вибуховим матеріалам. Наприклад, такі речовини, як емульсійні вибухові суміші, вивільняють менше шкідливих газів і менш інтенсивно руйнують природне середовище в порівнянні з традиційними порохами чи динамітами.

### 3. Застосування спеціальних технологій для контролю за викидами газів

Для зменшення викидів шкідливих газів в атмосферу після вибуху використовуються спеціальні системи очищення повітря та зниження рівня шумового забруднення. Наприклад, бурові установки можуть бути оснащені пристроями для фільтрації викидів, що значно знижують концентрацію шкідливих речовин у повітрі. Це також включає системи вентиляції та видалення вибухових газів, які дозволяють знизити їх концентрацію та зменшити екологічне навантаження на довкілля.

### 4. Оптимізація параметрів вибухів

Зменшення екологічного впливу також досягається через оптимізацію параметрів вибуху. Технічні заходи, такі як точний розрахунок та планування розташування зарядів, дозволяють досягти ефективності вибуху при мінімальних екологічних витратах. Використання оптимальних розмірів і кількості вибухових зарядів дозволяє значно знизити викиди токсичних газів та пилу, що викидаються в атмосферу під час буропідливних робіт.

### 5. Система моніторингу та контролю екологічних параметрів

З метою контролю за екологічним станом навколишнього середовища на ділянках проведення буропідливних робіт можуть використовуватися системи моніторингу викидів газів і пилу. Це дозволяє в реальному часі

контролювати рівень забруднення та вжити необхідних заходів для його зниження. Підвищення екологічної безпеки забезпечується шляхом регулярних вимірів концентрацій шкідливих газів і частинок пилу в повітрі, що дозволяє оперативно коригувати параметри робіт.

#### 6. Використання бар'єрів і запобіжних споруд

Для зниження впливу на навколишнє середовище важливо також забезпечити ефективну ізоляцію вибухових робіт від природних об'єктів. Це можна зробити шляхом використання спеціальних бар'єрів, таких як стіни або екологічні укриття, які зменшують поширення пилу, вибухових газів і шуму в навколишнє середовище.

#### 7. Вдосконалення методів утилізації відходів

При виконанні буропідривних робіт утворюються великі об'єми вибухових залишків, що можуть забруднювати ґрунт та водні ресурси. Одним із методів зниження екологічного впливу є вдосконалення методів утилізації вибухових відходів, зокрема шляхом їхнього зберігання в спеціально відведених місцях, де вони не шкодять екосистемам. Це включає в себе використання герметичних контейнерів для зберігання відходів та їх подальшу переробку.

Зниження екологічного впливу буропідривних робіт є важливим аспектом сучасного гірничого виробництва. Використання удосконалених конструкцій вибухових зарядів, екологічно чистих вибухових речовин, систем очищення та моніторингу, а також оптимізація параметрів вибухів і покращення методів утилізації відходів дозволяють значно зменшити негативний вплив на навколишнє середовище. Врахування цих факторів у дипломній роботі дозволить отримати більш ефективні та безпечні методи проведення буропідривних робіт, що сприятиме зменшенню рівня забруднення та підвищенню екологічної безпеки на підприємствах

## ВИСНОВКИ

У ході дослідження було проведено аналіз методів керування ефективністю використання енергії вибуху свердловинного заряду з метою зменшення питомих витрат вибухових речовин. В результаті виконано оцінку сучасних підходів до вибухового руйнування гірських порід, виявлено основні фактори, що впливають на енергоефективність вибухових робіт, та запропоновано заходи щодо оптимізації цих процесів.

Проведене теоретичне дослідження дозволило встановити, що раціональне використання енергії вибуху суттєво залежить від низки параметрів, серед яких: характеристики вибухової речовини, схеми розташування свердловинних зарядів, параметри набійки, а також фізико-механічні властивості гірських порід. Аналіз показав, що значна частина енергії вибуху витрачається на неефективні процеси – викид газів, утворення дрібнодисперсного пилу, а також виникнення сейсмічних коливань, які не сприяють ефективному подрібненню гірських порід.

У першій частині дослідження розглянуто теоретичні аспекти вибухового подрібнення гірських порід. Встановлено, що основними параметрами, що впливають на процес подрібнення, є фізико-механічні характеристики гірських порід, тип вибухових речовин та конструкція свердловинного заряду. Аналіз літературних джерел показав, що традиційні методи вибухового подрібнення часто супроводжуються значними втратами енергії вибуху через її нерівномірний розподіл у породному масиві. Це призводить до неефективного дроблення та збільшення витрат вибухових речовин.

У другій частині досліджено вплив технологічних параметрів вибухового процесу на якість дроблення гірських порід. Проведений аналіз показав, що правильний вибір параметрів буропідривних робіт, таких як діаметр та довжина свердловини, зарядна щільність, схема розташування свердловин та часова затримка ініціювання, має критичне значення для підвищення ефективності вибухового подрібнення. Доведено, що використання сучасних систем ініціювання з програмованими затримками дозволяє значно зменшити утворення негабаритних уламків та покращити якість подрібнення.

Основний акцент у даній роботі зроблено на третю частину дослідження, яка присвячена методам оптимізації вибухового процесу для зменшення питомих витрат вибухових речовин. Було проведено експериментальну перевірку запропонованих методів на базі кар'єру ІнгЗК. В рамках експерименту було реалізовано оптимізовану схему закладання зарядів, що передбачала використання модернізованих параметрів ініціювання. Результати експерименту показали суттєве зниження питомих витрат вибухових речовин при збереженні або навіть покращенні якості дроблення гірської маси. Було проведено економічний аналіз отриманих результатів, який підтвердив значний економічний ефект від впровадження запропонованих рішень, що виразилося у зменшенні загальних витрат на вибухові роботи та підвищенні ефективності процесу видобутку.

Практичне застосування наведених методів дає змогу суттєво підвищити ефективність вибухового руйнування гірських порід. Проведений аналіз показує, що оптимізація вибухових процесів дозволяє не лише економити вибухові речовини, а й знижувати негативний вплив на довкілля за рахунок зменшення рівня сейсмічного впливу, газоутворення та пилення.

Таким чином, результати дослідження підтверджують, що ефективне керування енергією вибуху свердловинного заряду можливе

за рахунок комплексного підходу, що включає оптимізацію технологічних параметрів, використання сучасних вибухових матеріалів та методів моделювання. Практичне впровадження запропонованих методів дозволить не лише зменшити питомі витрати вибухових речовин, а й підвищити продуктивність гірничих підприємств, мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище та покращити економічні показники вибухових робіт.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Типові проекти ведення буровибухових робіт на Інгулецькому та Ганнівському кар'єрах. м. Кривий Ріг, 2024р. 127с.
2. Пояснювальна записка до плану розвитку гірничих робіт ПрАТ «ІНГЗК». М. Кривий Ріг, 2024р. 156с.
3. Бизов В.Ф. Вибухові роботи / В.Ф.Бизов, П.Й.Федоренко. Кривий Ріг: Мінерал, 2001. 230 с.
4. Євтехов В.Д. Етапи формування комплексної мінерально-сировинної бази залізорудних родовищ Криворізько-Кременчуцького лінеаменту // Відомості Академії гірничих наук України.– 1997.– № 4.– С. 111-114.
5. Євтехова Г.В. Геологія альпійських утворень залізисто-кременистої формації Криворізького басейну / Автореферат дис. канд. геол. наук / Дніпропетровськ: Національний гірничий інститут, 2007.– 20 с
6. НПАОП 0.00-1.24-10 Правила охорони праці при розробці родовищ корисних копалин відкритим способом; Харків, видавництво «Індустрія», 2010р. 104с.
7. Дриженко А.Ю. Відкрита розробка залізних руд України: стан і шляхи удосконалення: Монографія / А.Ю. Дриженко, Г.В. Козенко, А.О. Рикус // Національний гірничий університет, 2008. 452 с.
8. НПАОТ 0.00-5.41-14 Інструкція з безпечної організації та проведення масових вибухів свердловинних зарядів на відкритих гірничих роботах.м. Київ, 12 с.
9. Звіт про управління Приватного акціонерного товариства «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат». Кривий Ріг, 2020. 14 с.
10. Іщенко М.І. Перспективи підвищення еколого-економічної ефективності вибухових робіт у Криворізьких залізорудних кар'єрах / М.І.Іщенко // Розвиток методів добичі руд чорних і супутніх металів та

шляхи їх подальшого удосконалення: Матер. міжнар. наук.-техн. конф. присвяченої 70-річчю ГНІГРГ. Кривий Ріг. 2003. С. 159–163.

11. Курінний В.П. Фізичні аспекти руйнування гірських порід вибухом / В.П.Курінний. Дніпропетровськ: НГУ, 2009. 158 с.

12. Кривцов О.М. Про оперативне управління енергією вибуху при подрібненні негабаритних фракцій накладними зарядами / О.М. Кривцов, С.В. Ковалевич // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Гірництво» : зб. наук. пр. – К., 2006. С.81–84.

13. Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. Київ: МППУ. 2008. 702с.

14. Перегудов В.В. Підвищення ефективності підривних робіт в складних гірничо-геологічних умовах залізрудних родовищ: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.15.03 „Відкрита розробка родовищ корисних копалин” / В.В.Перегудов. Кривий Ріг, 2012. 20 с.

15. Перегудов В. В. Аналіз теоретичних передумов вибухового впливу на гірські породи / В.В.Перегудов // Вісник Житомирського державного технологічного університету. 2009. № 48. С. 205–208.

16. Перегудов В. В. Вплив вибухової дії на фізико-технологічні властивості залізрудної сировини / В.В.Перегудов // Вісник Криворізького технічного університету : зб. наук. праць. 2008. № 21. С. 24–27.

17. Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення: НПАОП 0.00-1.66-13: затв. М-вом енергетики та вугіл. пром-сті України 12.06.2013.– Луганськ: ЛЕТЦ, 2013.– 194 с.

18. Прокопенко В.С. Фізико-технічні основи руйнування скельних порід вибухами свердловинних зарядів вибухових речовин у рукавах: дис. доктора техн. наук: 05.15.11 / В.С.Прокопенко. К., 2003. 380 с.

19. Савотченко О. М. Дослідження параметрів пилогазових викидів при вибухових роботах у кар'єрах / О.М.Савотченко, О.В.Зберовський // Збірник наукових праць НГУ. 2017. № 51. С. 218–226

20. Сименович Г.А. Руйнування гірських порід вибухом / Г.А.Сименович, В.П.Меліхов // Навчальний посібник. Дніпропетровськ, ДНГУ, 2003. 116 с.

21. Твердий В.В. Визначення кількості шкідливих газів у продуктах вибуху з урахуванням міцності гірських порід / В.В.Твердий. Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». 2011. Вип. 20. С. 184–188.

22. Твердий В.В. Визначення впливу підривних робіт на виробничий персонал кар'єра та населення прилеглої території при застосуванні нових сумішевих вибухових речовин / В.В.Твердий, І.А.Лучко // Проблеми охорони праці в Україні. 2010. Вип. 19. С. 95–102.