



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 «Підвищення ефективності буро-вибухових робіт за
рахунок вдосконалення конструкції заряду»

Керівник роботи

Ігор ШВЕЦЬ

Консультант від
бази практики

Юрій ЛАПАТЕНКОВ

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

Здобувач

Станіслав ЯКОВЕНКО

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

Голова ЕК

Валерій СЛОБОДЯНЮК

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП



В'ячеслав КАМЕНЕЦЬ

«15» грудня 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Яковенко Станіслава Володимировича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

- Тема роботи **«Підвищення ефективності буро-вибухових робіт за рахунок вдосконалення конструкції заряду»**
керівник роботи **Швець Єгор Миколайович, кандидат технічних наук, доцент кафедри гірничої справи,**
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом Університету від **29.08. 2023 р. №137.1/29.08.2023**
- Термін подання роботи **14.01.2024 р.**
- Вихідні дані до роботи **Навчальна література, державні стандарти з гірничої справи, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи з тематики гірничої справи, літературні джерела, технологічні інструкції, дані ПАТ «ПІВДГЗК» м. Кривий Ріг, результати власних експериментів та досліджень.**
- Зміст пояснювальної записки (перелік питань) **Анотація. Зміст. Вступ. 1. Аналіз виконання буро-вибухових робіт в умовах кар'єру ПАТ «ПІВДГЗК». 1.1. Вибухові речовини та засоби ініціювання зарядів. 1.2. Вивчення конструкції бойовиків в свердловинних зарядах. 2. Дослідження ефективності використання конструкцій свердловинних зарядів вибухових речовин з радіальним зазором. 3. Шляхи удосконалення конструкцій свердловинних зарядів при буро-вибуховому способі підготовки гірських порід до виїмання. 4. Дослідження швидкості детонації по довжині колонки заряду ВР. Загальні висновки. Список використаних літературних джерел.**
- Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): **Схеми конструкції свердловинних зарядів. Графіки встановлених залежностей. Таблиці ключових показників. Схеми комутації свердловинних зарядів вибухових речовин. Результати розрахунків.**

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

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
<i>Розділ 2</i>	Лапатенков.Ю.В., начальник технічного відділу ПАТ «ПІВДГЗК»

7. Дата видачі завдання 05.12.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Підвищення ефективності буро-вибухових робіт за рахунок вдосконалення конструкції заряду	25.12.2023 – 28.12.2023
2	Розділ 2. Проведення досліджень швидкості детонації по довжині колонки заряду ВР	28.12.2023 – 07.01.2024
3	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	07.01.2024 – 08.01.2024
4	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	08.01.2024 – 12.01.2024
5	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	12.01.2024 – 19.01.2024
6	Рецензування завершеної роботи. Захист	22.01.2024 – 26.01.2024

Здобувач



(Станіслав Яковенко)

Керівник
роботи



(Єгор Швець)

АНОТАЦІЯ

Актуальність теми роботи. Сучасний етап розвитку гірничої та будівельної індустрії вимагає постійного удосконалення технологій, які забезпечують високу продуктивність та ефективність використання ресурсів. У цьому контексті, проблема ефективності буро-вибухових робіт, особливо щодо конструкцій зарядів, стає критичною та актуальною.

Використання вибухових речовин є необхідною складовою для розвідування мінеральних родовищ, будівництва тунелів та інфраструктури. Однак існуючі конструкції зарядів часто мають технічні обмеження, що обмежують їхню ефективність та можливості використання в різних умовах гірничих та будівельних робіт.

Розробка та впровадження оптимальних конструкцій зарядів має потенціал вирішення цих проблем, сприяючи підвищенню продуктивності, зменшенню витрат та покращенню безпеки робітників. Крім того, удосконалення конструкцій зарядів може внести вагомий внесок у вирішення екологічних питань та зменшення впливу вибухових робіт на навколишнє середовище.

Таким чином, дослідження та розвиток нових конструкцій зарядів для буро-вибухових робіт стає актуальною та стратегічно важливою темою, яка може сприяти покращенню ефективності та сталкерованості сучасних технологій в галузі гірничої та будівельної індустрії.

Постановка проблеми. Зараз існуючі конструкції зарядів для буро-вибухових робіт не завжди ефективно використовують енергію та не забезпечують оптимальні умови для досягнення бажаних результатів. Недоліки в конструкціях можуть призводити до неповного розриву порід, зайвого розкиду енергії, або інших негативних ефектів, що обмежують продуктивність та безпеку буро-вибухових робіт.

Мета дослідження. Дослідити та обґрунтувати можливості підвищення ефективності буро-вибухових робіт шляхом розробки та удосконалення конструкції заряду. Отримати об'єктивні дані та результати, які не лише підтвердять вплив вдосконаленої конструкції на параметри вибуху, але й нададуть конкретні рекомендації для практичного впровадження нових технологій у сфері буро-вибухових робіт. Розробити оптимальні конструкції зарядів, які сприятимуть підвищенню продуктивності та забезпечать ефективне використання енергії при проведенні вибухових робіт.

Задачі дослідження

1. Огляд літератури:

- Провести аналіз існуючих методів та технологій у сфері буро-вибухових робіт.
- Розглянути попередні дослідження, що стосуються конструкції заряду та її впливу на ефективність робіт.

2. Визначення проблем та вдосконалення:

- Встановити основні проблеми чи недоліки існуючих конструкцій зарядів.
- Розробити критерії для визначення ефективності зарядів.
- Виділити основні напрямки вдосконалення конструкцій.

3. Моделювання та аналіз:

- Створити математичні моделі для різних конструкцій зарядів.
- Провести аналіз впливу параметрів конструкції на характеристики вибуху.
- Використати моделі для прогнозування ефективності нових конструкцій.

4. Експериментальне дослідження:

- Провести натурні експерименти для перевірки моделей та отримання практичних даних.
- Виміряти ключові параметри, такі як потужність вибуху, розсіювання енергії тощо.
- Порівняти результати експериментів з прогнозами моделей.

5. Оптимізація та розробка рекомендацій:

- Розробити оптимальні конструкції зарядів на основі отриманих результатів.
- Визначити оптимальні параметри для певних умов роботи.
- Сформулювати рекомендації для впровадження нових конструкцій в практику буро-вибухових робіт.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є конструкції зарядів, використовувані в буро-вибухових роботах, з метою підвищення їхньої ефективності. Дослідження спрямоване на вивчення особливостей будови, технічних характеристик та функціональності цих конструкцій з метою виявлення можливостей для їхнього вдосконалення.

Предмет дослідження. Предметом дослідження є вплив параметрів форми та складу конструкцій зарядів на їхню ефективність в контексті буро-вибухових робіт. Дослідження спрямоване на визначення оптимальних параметрів, що можуть підвищити рівень руйнівної дії та забезпечити кращу адаптацію до конкретних умов робіт.

Результати та обґрунтування їх новизни / інноваційності. Результати проведеного дослідження свідчать про новаторський підхід до вирішення проблеми неефективності конструкцій зарядів у буро-вибухових роботах. Також новизна роботи полягає в розробці та оптимізації конструкцій зарядів, які враховують специфіку гірничо-будівельних умов. Виявлено, що впровадження запропонованих

модифікацій суттєво підвищує ефективність вибухових робіт, забезпечуючи більш точне і рівномірне розподілення енергії під час вибуху.

Окрім того, результати чисельного моделювання та польові експерименти підтверджують переваги нових конструкцій у порівнянні з традиційними методами. Виділяються покращення в якості руйнування матеріалів, зменшення екологічного впливу та збільшення загальної безпеки вибухових робіт. Це визначає новий рівень технологічних можливостей у сфері буро-вибухових робіт та відкриває шлях для подальших досліджень та практичного впровадження інноваційних рішень в цю галузь.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ВИКОНАННЯ БУРО-ВИБУХОВИХ РОБІТ В УМОВАХ КАР'ЄРУ ПАТ «ПІВДГЗК».....	10
1.1 Вибухові речовини та засоби ініціювання зарядів	10
1.2 Вивчення конструкції бойовиків в свердловинних зарядах.....	12
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ КОНСТРУКЦІЙ СВЕРДЛОВИННИХ ЗАРЯДІВ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН З РАДІАЛЬНИМ ЗАЗОРОМ	16
РОЗДІЛ 3. ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ СВЕРДЛОВИННИХ ЗАРЯДІВ ПРИ БУРО-ВИБУХОВОМУ СПОСОБІ ПІДГОТОВКИ ГІРСЬКИХ ПОРІД ДО ВИЙМАННЯ.....	26
РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ШВИДКОСТІ ДЕТОНАЦІЇ ПО ДОВЖИНІ КОЛОНКИ ЗАРЯДУ ВР.....	42
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	67

ВСТУП

На гірничих підприємствах країни спостерігається тенденція до збільшення обсягів підривання гірської маси та вихід на проектні потужності кар'єрів з видобутку корисних копалин.

Ефективна та якісна підготовка гірських порід до виймання впливає на технічно-економічні показники виробництва залізорудної товарної продукції.

Від якісного підривання гірської маси в кар'єрі залежить продуктивність роботи навантажувального, транспортного обладнання та дробарного устаткування крупної стадії подрібнення – дробарок ККД-1500/180. Крім того, на стабільність і економічність роботи обладнання значно впливають стійкість та ефективність експлуатації змінного обладнання, питомі витрати якого також знаходяться в прямій залежності від якості підривання гірської маси.

Ефективність підривання гірничої маси в значній мірі залежить від гірничо-геологічних умов ведення вибухових робіт, підбором відповідних характеристик вибухової речовини та засобів ініціювання, обґрунтованими параметрами ведення буро-вибухових робіт для отримання максимальної ефективності роботи свердловинного заряду.

Тому питання підвищення ефективності буро-вибухових робіт за рахунок вдосконалення конструкції заряду для поліпшення якості підривання гірничої маси, й підвищення технічно-економічної ефективності всіх ланок гірничого виробництва є на сьогодні надзвичайно актуальним. Розв'язання цього актуального наукового завдання присвячено дослідження викладене в магістерській роботі.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ВИКОНАННЯ БУРО-ВИБУХОВИХ РОБІТ В УМОВАХ КАР'ЄРУ ПАТ «ПІВДГЗК»

1.1 Вибухові речовини та засоби ініціювання зарядів

Технологія ведення вибухових робіт в кар'єрі передбачає застосування сучасних вибухових речовин та засобів ініціювання, що широко використовуються в світовій практиці.

Щорічно у кар'єрі ПАТ "ПІВДГЗК" об'єм підривання гірничої маси складає більше 10,5 млн.м³ у тому числі по руді - близько 7 млн.м³, по скелі більше 3,5 млн.м³. При цьому витрачається більше 11 тис. тон ВР, у тому числі по руді - витрата складає більше 8 тис. тон ВР, а по скелі більше 3 тис. тон ВР.

Для попереднього подрібнення порід, що розробляються і мають середню і високу міцність, передбачено виконання буро-вибухових робіт методом котлових і колонкових зарядів у свердловинах.

Для підривання гірських порід використовуються емульсійні вибухові речовини типу "Україніт-ПП-2Б" в різних конструкціях свердловинних зарядів.

Емульсійна вибухова речовина Україніт-ПП-2Б (ТУ У 24.6-00190934-005: 2006), складається з 99% мас. емульсійної композиції і 1% мас. газогенеруючої добавки.

Звертає на себе увагу те, що при невисокій розрахунковій теплоті вибуху, Україніт-ПП-2Б має високі детонаційні характеристики (таблиця 1.1).

Патроновані емульсійні вибухові речовини (ЕВР) застосовуються як для підривання свердловин контурного буріння, так і як елементи проміжного бойовика свердловинного заряду.

Основні фізико-хімічні та вибухові характеристики ЕВР марки ЕРА-Р приведені в таблиці 1.1

Тротилова шашка ДПУ-830 застосовується як елемент проміжного детонатора свердловинного заряду. Основні фізико-хімічні та вибухові характеристики ДПУ-830 приведені в таблиці 1.1.

Ініціювання колонкових свердловинних зарядів відбувається проміжними детонаторами, конструкції та правила поводження з якими передбачені «Типовим проектом проведення БВР» і зазначені в паспортах на кожен масовий вибух.

Для з'єднання та передачі детонації тротилевим шашкам ДПУ-830 або патронованим БВР марки ЕРА-Р застосовується детонаційний шнур ДШЄ-12 або неелектрична система ініціювання Пріма-ЕРА та їх комбінація . (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 Фізико-хімічні та вибухові характеристики вибухових матеріалів

Найменування показника	Україніт ПП-2Б	Україніт ПС	Шашка ТЗП-800	ДШЄ-12	НСІ «Пріма-Ера»
Зовнішній вигляд	Текуча однорідна газофікована маса жовто-коричневого кольору	Пластична маса від жовтого до коричневого кольору	Пресована TNT від жовтого до коричневого кольору	Шнур від жовтого до червоного кольору з різними відтінками	Пластикові трубка блакитного, жовтого або помаранчевого кольору, діаметром 3,0 мм з нанесенням на внутрішню поверхню активної речовини 20 шт/мг
Щільність, кг/м ³ /г/м	1100-1410	1000-1250	1500	12	20 шт/мг

				(+1,5/-1,0)	
Теплота вибуху $Q_{вр}$, кДж/кг	2940-2960	3100-3150	4100	5760	-
Швидкість детонації, м/с					
-в сталій оболонці	5200-5300	4400-4800	6200	Не менше 6200	1600-2000 м/с
-в паперовій оболонці	4800-5000	4800-5000			

1.2 Вивчення конструкції бойовиків в свердловинних зарядах

Для ініціювання свердловинного заряду вибухової речовини в якості проміжних бойовиків використовується патроновані ЕВР «Україніт-ПС» або тротиліві шашки ЗТП-800 (рисунок 1.1).

Виходячи з фізико-механічних, гірничо-геологічних і гідрогеологічних характеристик гірських порід, які підриваються, а також з урахуванням застосовуваних для цих цілей вибухових речовин і засобів підривання в «Типовому проекті ведення вибухових робіт в кар'єрі рудоуправління ПАТ« Південний ГЗК » передбачено 17 конструкцій свердловинних зарядів і 11 конструкцій проміжних бойовиків, які можна застосовувати при підриванні свердловинних колонкових зарядів.

В даній роботі розглядається конструкція свердловинного заряду ВР (рис.1.1), як основна конструкція, яку застосовують при розробці паспортів на кожний масовий вибух.

Під час проведення підричних робіт з застосуванням вище зазначеної конструкції бойовика у свердловинних зарядах відмов

роботи свердловинних зарядів, за аналізований період 2017-2023гг., не встановлено.

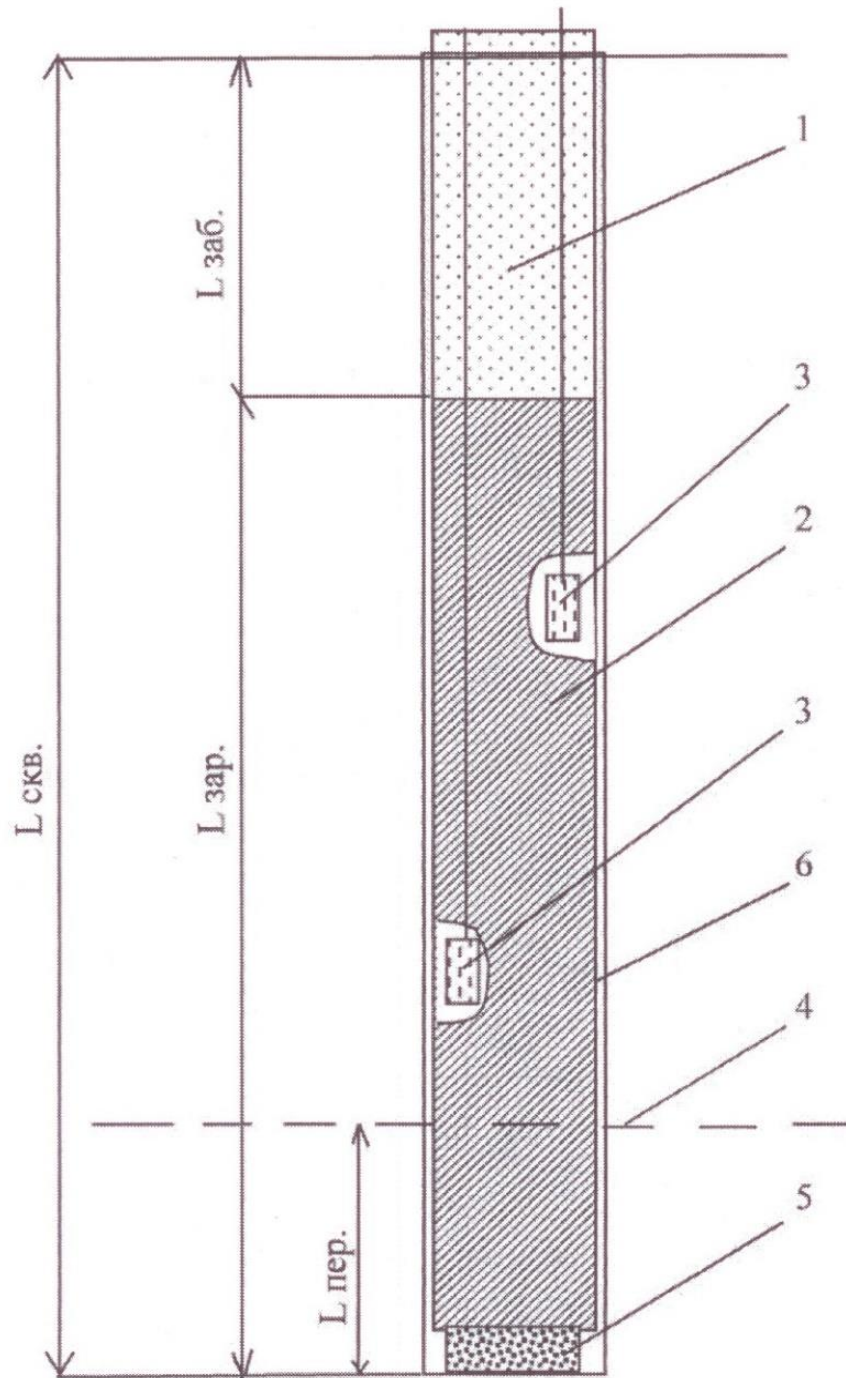


Рис.1 Конструкція свердловинного заряду з використанням проміжних бойовиків де: 1 - забійка; 2 - заряд вибухової речовини; 3 - проміжний детонатор з шашок ЗТП 800, «Україніт ПС»; 4 - рівень підосви уступу; 5 - утяжувач; 6 - гідроізолюючий рукав.

Вихід негабариту при вибуховому дробленні гірської маси за період 2017-2023р. наведено в таблиці 1.2 і є основною характеристикою ефективності, надійності і безпеки підривання рудо-скельної гірської маси.

Таблиця 1.2 - Відсоток виходу негабарита за період з 2017 по 2023 рік

По рокам	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Відсоток виходу негабарита (до об'єму підривання), %	0,70	0,95	0,86	0,80	0,77	0,76	0,66

Аналізуючи показники виходу негабариту слід зазначити досить високу якість і надійність проведення підривних робіт в кар'єрі ПАТ «Південний ГЗК». Це досягнуто в результаті правильного інженерного підбору ВР і ЗП, творчого підходу при проектуванні кожного масового вибуху, але не вичерпує можливість подальшого підвищення техніко-економічних показників ефективності виробництва буро-вибухових робіт.

Застосування конструкції бойовиків в свердловинному заряді (Рис. 1.1) є класичним рішенням, при якому проводиться ініціювання самого свердловинного заряду для забезпечення швидкості детонації по колонці заряду в режимі швидкості детонації «Україніту ПП-2Б», але виключає регулювання швидкості, в бік підвищення її по колонці заряду .

У всіх застосовуваних конструкціях використання дублюючого ПД, дозволяє тільки підвищити надійність підривання, без можливості отримання імпульсу, що підвищує швидкість детонації.

Питання підвищення якості вибухових робіт залежить від багатьох умов гірничо-геологічного, технічного, організаційного характеру, та розглядалось багатьма вченими та практиками в даній галузі.

Найважливішими факторами, що впливають на ефективність руйнування гірських порід вибухом, є працездатність ВР.

Працездатність вибухових речовин - здатність вибухових речовин виконувати під час вибуху механічну роботу за рахунок розширення газоподібних продуктів вибуху.

З огляду на велику швидкість розширення продуктів вибуху (ВР), процес можна розглядати як адіабатичний. В такому випадку, згідно Чельцову-Беляєву, мірою працездатності служить кількість роботи, яку здійснюють ВР при їх адіабатичному розширенні від початкового тиску до тиску навколишнього середовища, наприклад, до атмосферного тиску. Ця величина називається ідеальною роботою вибуху.

Працездатність в найбільшій мірі залежить від теплоти вибуху і зростає також зі збільшенням температури, тиску і об'єму ВР. Вона помітно збільшується при зниженні середній теплоємності ВР і тим вище, чим більше в складі ВР молекул мало атомних газів (N_2 , H_2 , CO) і менше твердих речовин (мінеральних солей, оксидів металів, сажі та ін.). Особливий вплив на працездатність ВР, поряд з іншими, тисне, яке в основному залежить від щільності заряджання і швидкості детонації ВР.

РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ КОНСТРУКЦІЙ СВЕРДЛОВИННИХ ЗАРЯДІВ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН З РАДІАЛЬНИМ ЗАЗОРОМ

Основними напрямками технічного прогресу в галузі виробництва вибухових робіт слід визнати активні методи управління вибухом свердловинного заряду, до яких насамперед відносяться зміни конструкції зарядів вибухової речовини та способів їх підривання. Ці методи дозволяють суттєво змінити механізм дії вибуху свердловинного заряду, підвищити його корисну роботу за рахунок більш повного використання виділеної енергії при вибуху.

До таких конструкцій зарядів ВР відносять заряди з повітряними та інертними проміжками з бічними та осьовими повітряними проміжками, заряди комбіновані з різною потужністю і чутливістю. Широке практичне застосування зарядів з повітряними проміжками на кар'єрі Південного ГЗК останнім часом в основному стримувалося через відсутність надійних та ефективних способів та пристроїв зі створення проміжків у заряді ВР.

Відмінною особливістю детонації суцільного заряду (рис. 2.1 а) при ініціюванні його проміжним детонатором є те, що фронт детонаційної хвилі становить приблизно кут 90° з віссю заряду.

Хвилі напружень у середовищі при цьому започатковують на місці заряду циліндричної форми, де проходить активний перебіг детонації, сферичний чи конічний фронт залежно від співвідношення швидкості детонації ВР та швидкості звуку в середовищі.

Змінити напрямок детонації можливо також шляхом зміни розташування точки ініціювання. Вплив розташування проміжного детонатора досліджувався багатьма авторами як теоретично, так і у виробничих умовах.

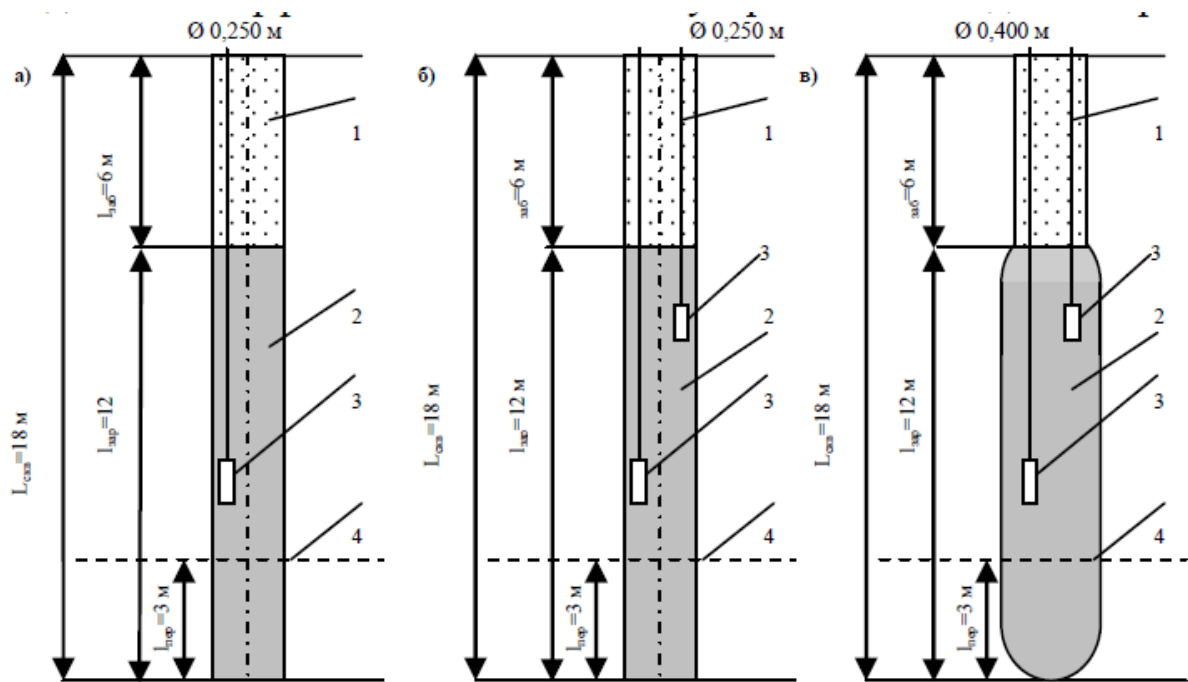


Рис. 2.1 Конструкція свердловинних зарядів ВР: а – суцільний заряд ВР; б - суцільний заряд з двостороннім ініціюванням; в – котловий заряд ВР; 1 – забійка; 2 – заряд ВР; 3 – проміжний детонатор; 4 – рівень підшови уступу.

Відома залежність хвильового поля напружень від напрямку детонації при різних співвідношеннях швидкостей звуку в середовищі детонації. У роботі показано, що в місці з'єднання похилої поверхні уступу з підшовою значення напруження, яке сприяє утворенню зсуву в площині підшови, у 2 рази більше при ініціюванні знизу, ніж під час ініціювання зверху.

Одним з різновидів методів, що використовують напрямок детонації, є двостороннє ініціювання свердловинного заряду. При цьому методі підривання можна забезпечити зустріч детонаційних хвиль у будь-якому заздалегідь обраному місці свердловини та завдяки багаторазовому збільшенню тиску при взаємодії двох детонаційних хвиль здійснити інтенсивне дроблення гірничої маси (рис. 2.1 в).

При видобутку вапняків питанню якості вибухового дроблення приділяють особливу увагу - зниження переподрібненої фракції при рівномірному дробленні порід. У зв'язку з цим, знайшли застосування свердловинні заряди малого діаметра. Використання свердловинних зарядів малого діаметра 146-149 мм забезпечило якісне дроблення порід, при виході негабариту не більше 1,5-3,0%. При збереженні питомої витрати, необхідно проводити збільшення довжини колонки заряду ВР, що призводить також до збільшення площі контакту ВР зі стінками свердловини.

Для підвищення ефективності вибухового дроблення, з метою зниження виходу переподрібненої фракції в ближній зоні заряду, що досягається за рахунок формування у свердловинах постійного діаметра ділянок зарядів змінного діаметра.

Дослідження ефективності дії вибуху зарядів змінного перерізу за довжиною зарядної порожнини були проведені полігонні випробування на гранітних кубічних моделях форми з ребром 200 мм.

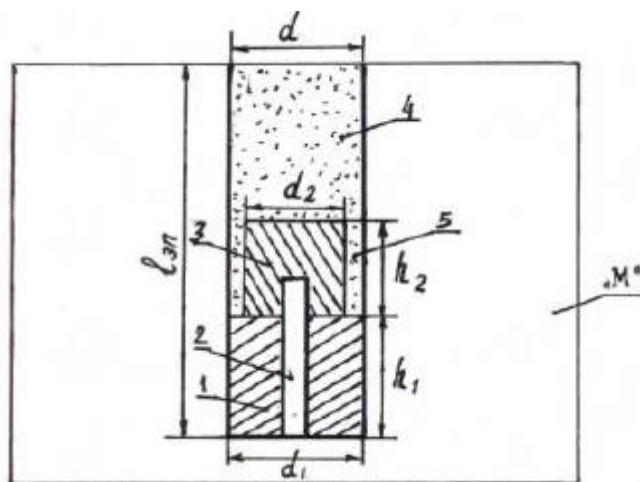


Рис. 2.2. Схема заряду ступінчатої форми: «М» - гранітна модель; 1 – місце розташування нижнього заряду вибухової речовини; 2 – електродетонатор; 3 – місце розташування верхнього заряду вибухової речовини; 4 – забійка; 5 – проміжок між вибуховою речовиною та стінкою зарядної порожнини

У свердловинах діаметром 16 мм формувалися заряди ступінчастої форми загальною масою 6,5 г, що складаються з двох частин: нижньої, діаметр якого d_1 у дослідях дорівнював діаметру свердловини d , і верхній діаметр якого d_2 . (рис. 2.2).

У ході проведених експериментів встановлено, що при застосування даної конструкції вихід дрібних (від 0 до 4 мм) знижується з 7,1% при діаметрі верхнього заряду 12,0 мм до 4,1 % при діаметрі верхнього заряду 9,0 мм, а вихід великих фракцій при цьому зростає.

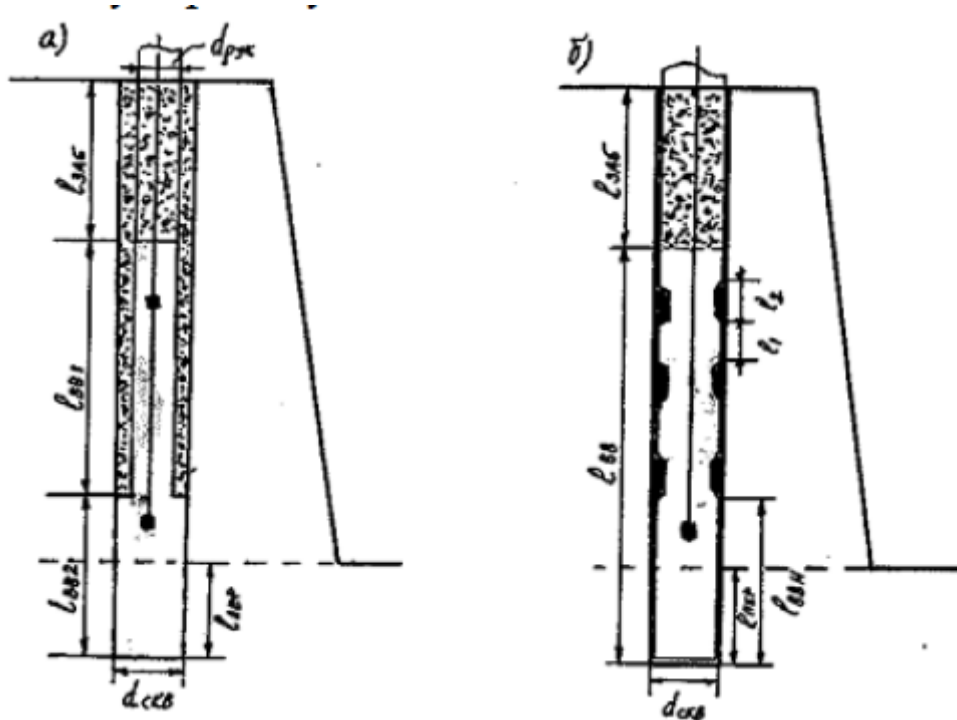


Рис. 2.3. Свердловинні заряди змінного діаметру: а – ступінчастої форми $d_{св}$ – діаметр свердловини; $d_{рук}$ – діаметр вузької частини поліпропіленового рукава $l_{вр1}$ та $l_{вр2}$, відповідно довжина верхнього та нижнього зарядів; б – змінного перерізу за довжиною заряду $l_{врн}$ – довжина нижньої частини заряду l_1 та l_2 – ділянки заряду повного та вузького перерізу.

Для визначення ефективності підривання з використанням свердловинної конструкції зарядів із змінною по висоті уступу площею

контакту ВР зі стінками зарядної порожнини авторами роботи був проведений промисловий експеримент в умовах Крюковського гранітного кар'єру при відбійці порід міцністю $f=11-12$ за шкалою проф. М.М. Протод'яконова (рис. 2.3).

Промислові експерименти на гранітному кар'єрі показали, що застосування конструкцій свердловинних зарядів з площею контакту ВР, що змінюється по висоті уступу, зі стінками зарядної порожнини дозволяє знизити питому витрату ВР при зниженні виходу дрібних фракцій на 4,5%.

Хвилі напруги, що виникають у гірському масиві при вибуху заряду ВР, мають дуже високий тиск на початковому фронті хвилі і швидко згасають у міру поширення їх углиб масиву, а енергія вибуху витрачається на пластичні деформації та на переподрібнення середовища в ближній зоні заряду, що призводить до зниження енергії, що витрачається на корисну роботу.

Для цього вдосконалена конструкція свердловинного заряду ВР з радіальним зазором для залізородних кар'єрів, з метою підвищення коефіцієнта використання енергії вибуху можливе при раціональному режимі вибухового навантаження гірського масиву, що руйнується та здійснюється завдяки конструктивним особливостям свердловинного вибухового заряду речовини (рис. 2.4).

Спосіб формування здійснюється таким чином [1].

Виконується буріння свердловини 1, в нижній частині свердловини розміщують заряд вибухової речовини 2 рукав з полімерного матеріалу зі змінним перерізом 4 і проміжний детонатор 3, висота якого визначається за формулою, м

$$h_{с.з.} = h_n + f \times 10^{-1}, \quad (2.1)$$

де h_n - висота перебуру в свердловині, м; f – коефіцієнт міцності за шкалою проф. М.М. Протод'яконова, після формування нижньої

частини заряду рукав заповнюється вибуховою речовиною 5, при цьому висота заряду у верхній частині рукава визначають за формулою, м

$$h_{з.р.} = h_{ск} - (h_{п} + f^{0.1}) - h_{заб}, \quad (2.2)$$

де $h_{ск}$ – глибина свердловини; $h_{заб}$ - довжина забійки, м.

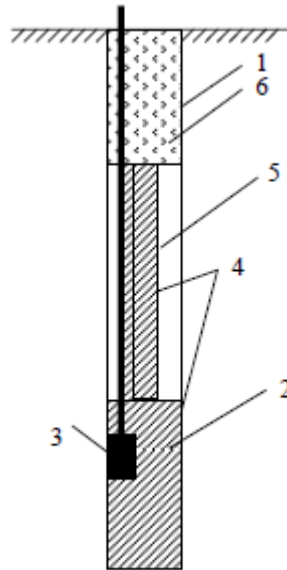


Рис. 2.4. Конструкція свердловинного заряду ВР з радіальним зазором: 1 – свердловина; 2 - вибухова речовина, розміщена в нижній частині заряду; 3 - проміжний детонатор (ДПУ 830-Тл); 4 - рукав з полімерного матеріалу для формування заряду; 5 - вибухова речовина, розміщена у верхній частині заряду; 6 - набійка

Внутрішній діаметр рукава в залежності від умов заповнення зазору між зарядом і стінками свердловини (вода або повітря) визначається за формулою, мм,

вода:

$$d_p = 0,63 \cdot d_{св} \cdot f^{0,1}, \text{ мм}; \quad (2.3)$$

де d_p – діаметр верхньої частини рукава, мм; $d_{св}$ - діаметр свердловини, мм;

повітря:

$$d_p = 0,6 \cdot d_{св} \cdot f^{0,1}, \quad (2.4)$$

для свердловини з діаметром 200 мм:

$$d_p = 0,7 \cdot d_{св} \cdot f^{0,1}, \quad (2.5)$$

Коли виконане зарядження свердловини, полімерний рукав ізолюється у верхній частині, а потім здійснюють забивання вибухової ємності матеріалом 6.

При висоті уступу 15 м, висота перебуру 3 м, коефіцієнт міцності за М.М. Протод'яконовим 20, діаметр свердловини 0,253 м, зазор між зарядом і стінками свердловини заповнюють водою, визначено:

висота нижнього заряду $h_{с.з.} = 5$ м;

висота верхнього заряду $h_з. = 7$ м;

внутрішній діаметр рукава $d_p = 0,212$ мм.

Ініціювання проміжним детонатором 3 здійснюється в нижній частині заряду 2, за рахунок суцільного рукава 4 вибухова хвиля надходить до заряду вибухової речовини 5, що знаходиться у верхній частині.

Розвиток методів управління енергією вибуху відбувається у двох напрямках: перший заснований на зміні концентрації енергії в заряді ВР, другий пов'язаний з підвищенням коефіцієнта використання енергії вибуху ВР за рахунок зміни його детонаційних характеристик. Методи управління енергією вибуху двох зазначених напрямків не суперечать один одному, а служать основою подальшого вдосконалення технології підривних робіт.

При підриванні суцільної конструкції свердловинного заряду взаємодія детонаційної хвилі з масивом залежить від кута падіння останньої на межу розділу «ВР – середовище».

Промислова перевірка підривання свердловинних зарядів з радіальним зазором здійснювалась під час виробництва масових вибухів у кар'єрі ПАТ «ПівдГЗК». Мета експериментів - перевірка у виробничих умовах ефективності підривання зарядів ВР з радіальним

зазором порівняно з суцільними зарядами, оскільки в даному випадку значно знижується витрата ВР. Висота колонки експериментальних зарядів дорівнювала суцільній колонці заряду.

Для проведення промислових вибухів та отримання достовірних результатів дослідний блок з аналогічними гірничо-геологічними умовами розбивався на дві ділянки - експериментальний та контрольний. На експериментальній ділянці підривали свердловинні заряди з радіальним зарядом, на дослідному - конструкції з суцільним свердловинним зарядом ВР.

Розташування свердловинних зарядів з радіальним зазором виконувались відповідно до розробленою технологією розміщення свердловин на вибуховому блоці. У даній технології враховувалися фізико-механічні властивості гірських порід кар'єру та параметри буро-вибухових робіт (рис 2.5).

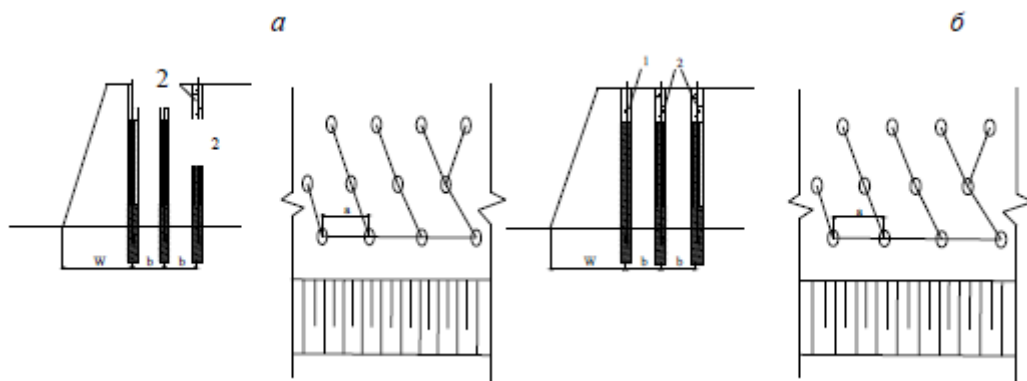


Рис. 2.5. Схема розташування свердловинних зарядів на експериментальній та контрольній ділянках дослідного блоку: а – з $f=16$ за М.М. Протод'яконовим при ЛОПП ($W < 10,5$ м); б - з коефіцієнтом міцності за шкалою проф. М.М. Протод'яконова $f = 16$ і вище при ЛОПП ($W > 10,5$ м); 1 – суцільний заряд ВР; 2 – заряди ВР із радіальним зазором; а – відстань між свердловинами у рядку, м; b – відстані між рядами свердловин, м

Якщо породи, що підриваються, мають коефіцієнт міцності $f=16$ і нижче за шкалою проф. М.М. Протод'яконова, а лінія опору по підшві уступу менше 10,5 м, то застосовуються свердловинні заряди з радіальним зазором у всіх рядах блоку, який підривається.

Якщо породи мають коефіцієнт міцності $f=17-20$ за шкалою проф. М.М. Протод'яконова, а зі збільшеною лінією опору по підшві уступу ($>10,5$ м), то в першому ряду свердловин застосовували заряд ВР із суцільною колонкою, а в наступних рядах свердловини з зарядами ВР з радіальним зазором.

Аналіз якості дроблення показав, що при підриванні гірських порід на експериментальному блоці збільшена зона регульованого дроблення, отримано зменшення виходу фракції 0+400 мм і відзначено зниження показників великих фракцій.

При проведенні хронометражу екскаваторів було встановлено, що час навантаження думпкарів екскаватором ЕКГ-8І на контрольних та експериментальних ділянках блоку склало 90-95 хв.

За даними маркшейдерської служби відхилень від рівня проектних позначок підшви уступу не встановлено.

У процесі навантаження підірваної гірничої маси виконується, спостереження та фотографування поверхні масиву на контрольних та експериментальних ділянках блоків.

Як критерій оцінки проведення вибуху, а саме гранулометричного складу, був використаний фотопланіметричний метод. У процесі обробки фоторезультатів отримано розподіл гранулометричного складу по експериментальному та контрольному блокам, наведено у табл. 2.1.

Таблиця 1

Клас фракції, мм	Експериментальний блок		Контрольний блок	
	Вміст фракцій, %	Кількість кусків, шт.	Вміст фракцій, %	Кількість кусків, шт.
50-150	78,5	2228	77,4	2135
150-250	15,2	432	15,1	415
250-350	3,7	105	3,5	98
350-450	1,4	40	1,5	42
450-550	0,6	18	0,9	25
550-650	0,3	9	0,7	22
650-750	0,03	0	0,2	8
750-850	0,07	1	0,14	4
580-950	0,03	0	0,18	5
950-1050	0,00	0	0,03	1

Отже, промислові випробування конструкцій свердловинного заряду з радіальним проміжком показали покращення якості дроблення гірничої маси зі збільшенням виходу фракції 0+400 мм на 2,5%.

Таким чином, нами розглянуто процес руйнування гірських порід зарядом вибухової речовини з радіальним зазором. Встановлено, що конструкції свердловинних зарядів вибухових речовин з радіальним зазором підвищують ефективність використання енергії вибуху заряду ВР, за рахунок перерозподілу енергії вибуху за висотою колонки заряду.

РОЗДІЛ 3. ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ СВЕРДЛОВИННИХ ЗАРЯДІВ ПРИ БУРО-ВИБУХОВОМУ СПОСОБІ ПІДГОТОВКИ ГІРСЬКИХ ПОРІД ДО ВИЙМАННЯ

Відома конструкція свердловинного заряду, що включає основний заряд вибухових речовин (ВР), розміщений у нижній частині свердловини і розміщену над ним на всю довжину до гирла свердловини інертну забійку.

Головним недоліком конструкції свердловинного заряду ВР є більший вихід негабариту у верхній частині уступу внаслідок недостатньої для руйнування цієї зони енергії вибуху.

Найбільш близька до пропонованої конструкції є конструкція заряду з активною набійкою, виконаною з аміачної селітри, флегматизованої 10-15% водою, розміщеної над основним зарядом.

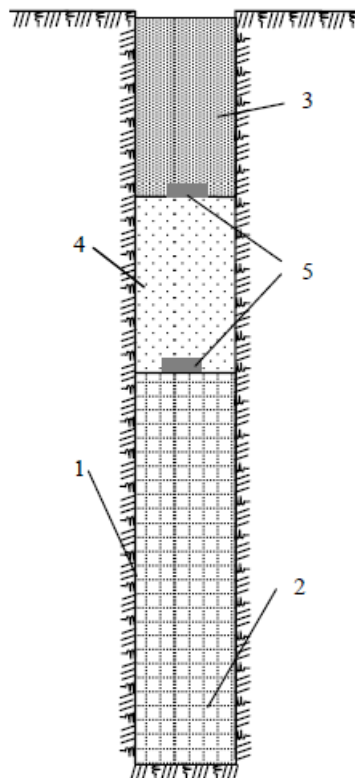


Рис. 3.1. Конструкція свердловинного заряду ВР з активною забійкою: 1 – свердловина; 2 – основний заряд промислового ВР; 3 -

забійка з аміачної селітри, флегматизованої 10-15% водою; 4 – пасивний заряд; 5 – проміжні детонатори

Дана конструкція не виключає вихід негабариту внаслідок в різниці у швидкості протікання детонації за основним зарядом та активною набійкою.

Розроблена конструкція свердловинного заряду ВР, що підвищує ефективність вибухових робіт за рахунок зниження виходу негабариту. Особливістю наведеної конструкції заряду вибухової речовини є формування в нижній частині технологічної свердловини активної забійки, що складається з аміачної селітри та 10-15% води.

Між забійкою та зарядом вибухової речовини формують додатковий пасивний заряд із суміші аміачної селітри (98%) з дизельним паливом (2%). Проміжні детонатори встановлюють на верхній та нижній межах пасивного заряду (рис. 3.1).

У нижній частині свердловини 1 розміщують промислове ВР 2. Над основним зарядом 2 до гирла свердловини закладають забійку, що містить два шари. Верхній 3, виконаного з аміачної селітри, флегматизованої 10-15% води, і нижній 4 – пасивний заряд, що містить суміш аміачної селітри (98%) із дизельним паливом (2%) довжиною, що дорівнює 0,5 довжини основного заряду. На верхній та нижній межах пасивного заряду встановлюють проміжні детонатори 5.

У свердловині 1 послідовно розміщують основний заряд ВР 2, пасивний заряд 4, встановлюють проміжні детонатори 5, закладають зверху до гирла свердловини активну забійку та здійснюють ініціювання.

Забійка з флегматизованої водою аміачної селітри є сприйнятливою до детонації.

Ініціювання пасивного заряду ВР здійснюється проміжними детонаторами, встановленими у верхній та нижній межах. Швидкість детонації пасивного заряду, порівняно з основним зарядом, нижче та за рахунок цього загальна швидкість детонації зарядів знижується, що сприяє переходу активного забійки в горіння.

Таким чином, за рахунок перетворення детонації в горіння забійної частини свердловини тривалість імпульсу вибуху збільшується, внаслідок чого підвищується якість дроблення гірських порід, зменшуються пилогазовиділення та вихід негабариту.

Використання свердловинного заряду з мінливими детонаційними характеристиками, що переходить у горіння, дозволяє керувати величиною відносного питомого імпульсу, що передається бічній поверхні свердловини по всій її довжині, що в свою чергу, дає можливість керувати якістю дроблення гірських порід.

Низка науковців вважає, що використання вибухових зарядів розосередженої конструкції в комбінації з різним за часом сповільнення ініціюванням окремих частин заряду, є одним з дієвих способів керування вибухом. Цьому питанню присвячені роботи М.Ф. Друкованого, Е.І. Єфремова та ін.

Різниця ведення сучасних вибухових робіт від наведених в роботі [7] є застосування в якості ВР Емоніту-Н, в якому роль сенсоризатора виконують газові пухирці. Для забезпечення їх цілісності в окремій частині заряду необхідно оптимізувати величину інертного проміжку. В сучасних умовах цей розмір повинен бути 3,5-4 м, що дозволить зменшити кількість забивного матеріалу.

Промислові випробування конструкції заряду з наведеними розмірами інертних проміжки відбулися на Першотравневому кар'єрі ПАТ «ПівнГЗК». Висота уступів складала 14-17 м, міцність порід $f=12-14$, відстань між свердловинами $6 \times 6,5$ м, величина верхнього заряду складала 4,5 м, питома витрата ВР $0,99 \text{ кг/м}^3$. За означений масовий

вибух підривалося 440 свердловин, з яких 81 свердловина була експериментальною.

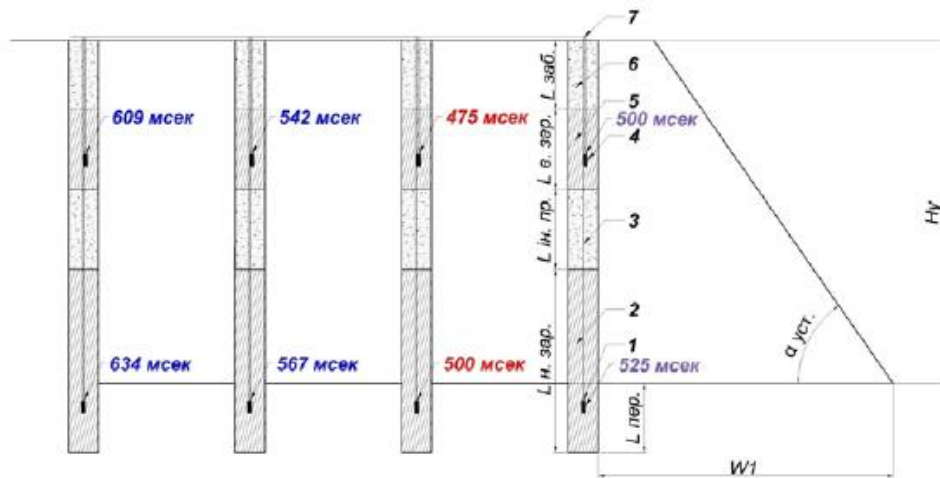


Рис. 3.2. Конструкції зарядів з різними номіналами сповільнення:
 1 - бойовик номіналом сповільнення 500 мс; 2 - заряд Емоніту-Н; 3 - забивка; 4 - бойовик з номіналом сповільнення 475 мс; 5 - заряд Емоніту-Н; 6 - забивка; 7 – трубка-хвильовід

Довжина інертного проміжку складала 3,5 м та була сформована з породного відсіву.

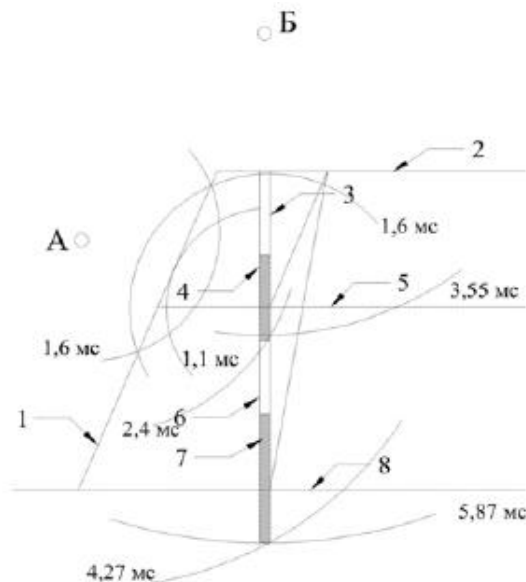


Рис. 3.3. Формування прямих і відображених хвиль:

1 – похила поверхня уступу; 2 – верхня площадка уступу; 3 - забійка; 4 - верхній заряд; 5 - умовна підшва; 6 - інертний проміжок; 7 - нижній заряд; 8 – нижня площадка уступу. Час розповсюдження хвиль.

Експериментальний блок було підірвано за 4362 мс, з центрально врубовою схемою комутації.

Формування прямих та відображених хвиль зображено на рис. 3.3.

Швидкість розповсюдження хвиль в даних породах складає 4,1 км/с. В такому випадку хвиля досягне верхнього майданчика за 1,6 мс, а до похилої поверхні уступу – 1,1 мс. Уявний заряд А відіб'є хвилю від укосу, а уявний заряд Б від верхнього майданчика уступу. Хвиля від заряду А через 2,4 мс досягне верхньої частини свердловинного заряду, а нижнього через 4,27 мс.

Хвиля від заряду Б буде в тому ж місці за 3,55 мс та 5,87 мс. Згідно робіт [5] відстань переміщення вибухової хвилі коливається від 7 до 10 м.

Саме в цей момент доцільно виконати підривання нижньої частини заряду. До часу проходження відбитої хвилі від верхнього майданчика, що складає 5,87 мс, необхідно додати 2,44 мс, з метою переміщення хвилі довжиною 10 метрів. У підсумку необхідно 8,31 мс для того, щоб хвиля розтягнення перетворилася в хвилю стиснення.

Далі було проведено моніторинг якості дроблення гірських порід при підриванні експериментальної ділянки блоку на Першотравневому кар'єрі ПАТ «ПівнГЗК». Аналіз виявив, що застосування даного методу доцільне при розробці порід міцністю $f=12-14$, так як діаметр середнього куска в розвалі порід зменшився на 15% в порівнянні з результатами підриванням контрольного блоку, виконаного за традиційною конструкцією заряду. В породах міцністю

16, розмір середнього куска зменшився лише на 9% відносно результатів, отриманих на контрольній ділянці уступу. Моніторинг вмісту негабаритної фракції показав аналогічну залежність.

Також привертає увагу розроблена Жуковою Н.І. [6] конструкція подовжених свердловинних зарядів вибухових речовин, які перетинали карстові порожнини (рис.3.4).

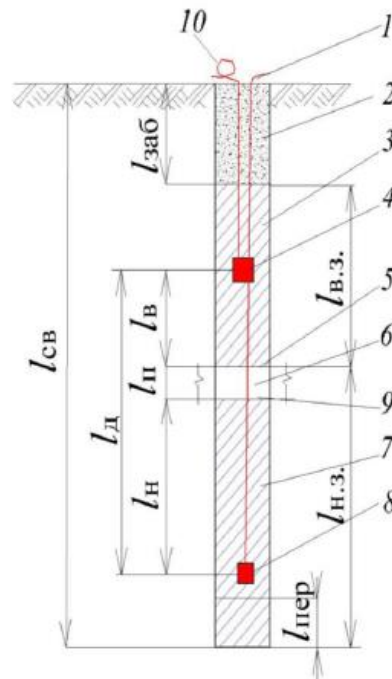


Рис. 3.4. Конструкція свердловинного заряду: 1 – хвильовід нижнього бойовика; 2 – забивка; 3,7 – заряди вибухових речовини; 6 – карстова порожнина; 4, 8 – бойовики; 5, 9 – верхня та нижня частини карстової порожнини; 10 – хвильовід верхнього бойовика; $l_{\text{д}}$ – відстань між бойовиками; $l_{\text{п}}$ – товщина карстової порожнини; $l_{\text{н}}$, $l_{\text{в}}$ – відстані від бойовиків до нижньої та верхньої частини карстової порожнини; $l_{\text{в.з.}}$, $l_{\text{н.з.}}$ – довжини подовжених зарядів.

Виконаємо дослідження впливу конструкції свердловинних зарядів з газогенеруючими компонентами на результат вибуху.

Конструкція свердловинних зарядів істотно впливає на перерозподіл енергії вибуху вибухової речовини у частині масиву гірських порід, що відбивається.

Найбільшого поширення у практиці ведення вибухових робіт одержала конструкція свердловинних зарядів, що складається з суцільної циліндричної колонки ВР, зазнала суттєвих змін та удосконалень. Широко відомі заряди з повітряними порожнинами та інертними проміжками, з бічними та осьовими вставками, а також низку інших.

Наявність повітряних проміжків і порожнин у зарядах змінює характер впливу продуктів детонації і може створювати умови для підвищення корисного використання енергії вибуху за рахунок скорочення її витрат на переподрібнення середовища в безпосередній близькості до заряду ВР та раціонального використання для руйнування більш віддаленої частини масиву [7–10].

В останні роки для зменшення вмісту переподрібнених фракцій (0–5 мм) у відбитій гірничій масі на кар'єрах нерудних будівельних матеріалів використовують у зарядах бризантних ВР газогенеруючі компоненти зокрема тверді ракетні палива. У гірничотехнічних умовах Власовського гранітного кар'єра були проведені промислові дослідження впливу газогенеруючих компонентів у зарядах гранульованих вибухових речовин на вміст у відбитій гірничій масі переподрібнених фракцій.

При відбиванні гірських порід гранульованими промисловими та конверсійними ВР в якості відправної точки прийняли результати контрольного масового вибуху на блоці № 1 для здійснення якого пробурено 115 свердловин діаметром 220 мм і глибиною 13,0–13,5 м. У свердловинах розмістили 30124 кг бризантних вибухових речовин, з них 9120 кг грамоніту 50/50 і 21004 кг високобризантного конверсійного ВР ТГФА.

Одну частину заряду ТГФА (рис. 3.5) розміщували в перебурі та нижній частині свердловини для поліпшення опрацювання підшви

уступу, іншу частину – на контактi із забійкою для зменшення виходу негабаритних шматків із верхньої частини уступу. Внаслідок вибуху відбито 52416 м³ гірничої маси. Середня питома витрата вибухових матеріалів склала близько 0,60 кг/м³.

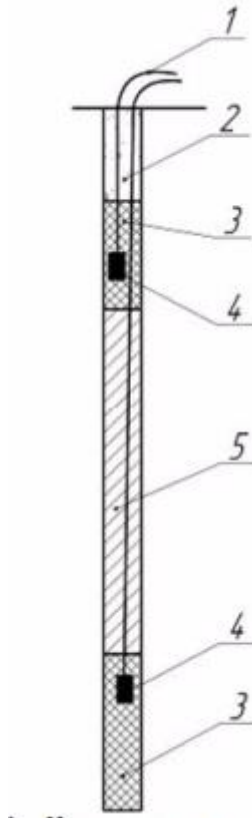


Рис. 3.5 Конструкція свердловинних зарядів при використанні гранульованих ВР на контрольному блоці Власовського кар'єру: 1 – детонуючий шнур; 2 – забійка; 3 – вибухова речовина ТГФА; 4 – тротилові шашки Т-400; 5 – грамоніт 50/50.

У процесі відвантаження гірничої маси встановлено обсяг переподрібнених фракцій, який використовували як основний критерій ефективності різних конструкцій зарядів з газоутворюючими компонентами.

В експериментальних вибухах частина вискобризантних гранульованих вибухових речовин замінили газогенеруючими компонентами – твердим ракетним паливом, яке зазнало первинної переробки для поліпшення технологічних властивостей при

зарядженні свердловин. При зарядженні блоку № 2 5960 кг грамоніту 50/50 замінили такою ж масою газогенеруючих компонентів. Таким чином, загальна маса заряду склала 16 380 кг у складі яких 2820 кг – ТДФА, 7600 кг - грамоніт 50/50 і 5960 кг твердого ракетного палива в порошку. Вміст у зарядах газогенеруючих компонентів становило 36,4%.

Конструкцію заряду вибухової речовини на блоці № 2 наведено на рис. 3.6.

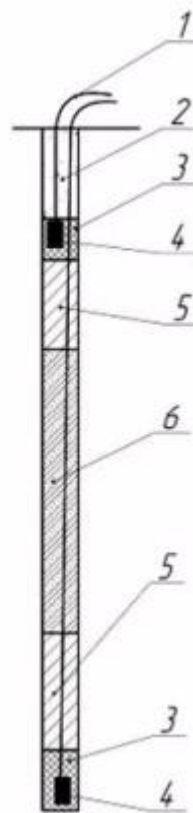


Рис. 3.7 Конструкція свердловинного заряду з використанням газогенеруючих компонентів у складі гранульованих вибухових речовин на блоці № 2: 1 – детонуючий шнур; 2 – забійка; 3 – вибухова речовина ТДФА; 4 – проміжний ініціатор; 5 – грамоніт 50/50; 6 – газогенеруючий компонент

Деякі види твердих ракетних палив містять у своєму складі певну кількість гексогену, але навіть при переході його горіння в детонацію вона протікає в низькошвидкісному режимі, що практично виключає утворення переподрібнених фракцій у значних обсягах.

У наступних експериментальних вибухах заміну бризантних вибухових речовин газогенеруючими компонентами проводили у великих обсягах. На блоці № 3 було пробурено 43 свердловини діаметром 216 мм та глибиною 13,0 м. Для виробництва масового вибуху в свердловинах розмістили 5200 кг високобризантного конверсійного ВР (ТГФА), розділяючи частини заряду твердим ракетним паливом (рис. 3.7), сумарна маса якого склала 5399 кг.

В даному масовому вибуху вміст твердого ракетного палива в зарядах становило близько 51%.

При великому відсотковому вмісті газогенеруючих компонентів гранульовані бризантні вибухові речовини змішували при зарядженні з порошкоподібним твердим ракетним паливом, засипаючи їх у свердловину одночасно. Під час підготовки масового вибуху на блоці № 4 Власівського гранітного кар'єра в 62 свердловини діаметром 215,4 мм і глибиною 13,5 м вміщено 15912 кг суміші, що складається з 7700 кг ТГФА та 8212 кг твердого ракетного палива. Маса газогенеруючого компонента в заряді становила майже 52 % від загальної маси вибухових матеріалів, використаних при масовому підриванні.

Аналіз результатів експериментальних вибухів показав, що заміна 30–50 % бризантних вибухових речовин у свердловинних зарядах газогенеруючими компонентами в умовах Власівського гранітного кар'єру призвело до помітного зниження вмісту переподрібнених фракцій у відбитій гірничій масі.

Аналогічні результати отримані під час вибухової відбійки гранітів у Мало-Кохнівському кар'єрі. В якості прикладу наведено два масові вибухи з суттєво різною кількістю (в %) твердого ракетного палива в зарядах.

При підготовці та виробництві масового вибуху на блоці № 12 заряджено 59 свердловин діаметром 150 мм та глибиною переважно

18,5–19,0 м, у яких розміщено 13020 кг вибухових матеріалів, з них 8476 кг грамоніту 50/50 та 4544 кг твердого ракетного палива (31,5 % від загальної маси вибухових матеріалів).

Об'єм відбитої гірської маси становив 17255 м³, питома витрата вибухових матеріалів – 0,755 кг/м³. Зафіксували вихід переподрібнених фракцій у відбитій гірничій масі 192%.

При підготовці та виробництві масового вибуху на блоці № 7 було підірвано 34 свердловини діаметром 150 мм і глибиною 17,5–18,5 м, у яких було розміщено 7832 кг вибухових матеріалів, з них 2520 кг грамоніту 50/50 та 5312 кг твердого ракетного палива, кількість якого в зарядах досягло 67,8%. Внаслідок вибуху було відбито 9680 м³ гірничої маси, у складі якої вміст некондиційних фракцій зафіксовано на рівні 16,8 %. Питома витрата вибухових матеріалів склала 0,81 кг/м³.

Розробка та використання при виробництві масових вибухів у кар'єрах водоемульсійних та конверсійних ВР зумовило необхідність розширення обсягу досліджень із цими ВР [5-9]. В силу специфічних властивостей та технологічних можливостей формування свердловинних зарядів водоемульсійних ВР під час підготовки масових вибухів у кар'єрах нерудних будівельних матеріалів досліджено ефективність дроблення скельних гірських порід зарядами наступних конструкцій:

- суцільними комбінованими або однорідними (рис. 3.6);
- суцільними однорідними або комбінованими з поздовжніми (рис. 3.8) порожнинами, заповненими повітрям або іншими інертними матеріалами, наприклад, водою або глинистим розчином.

Оцінку ефективності різних конструкцій свердловинних зарядів водоемульсійних ВР здійснювали за двома критеріями:

- а) за обсягом некондиційних, що утворюються переподрібнених фракцій (0-5 мм);

б) за параметрами сейсмічних коливань при масових вибухів у кар'єрах.

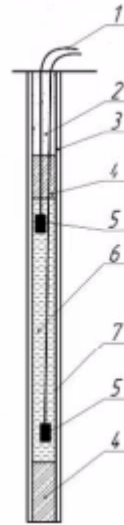


Рис. 3.8 Конструкція свердловинного заряду водоемульсійного ВР з поздовжньою порожниною: 1 – УНС; 2 – забійка; 3 - поздовжня порожнина між поліетиленовим рукавом і стінкою свердловини; 4 – тверде ракетне паливо; 5-ЗТП-800; 6 – анемікс; 7 – поліетиленовий рукав.

У Рижівському гранітному кар'єрі проведено експериментальні масові вибухи з різними конструкціями свердловинних зарядів водоемульсійних вибухових речовин, що дозволило комплексно підійти до вирішення ефективного та безпечного ведення підривних робіт.

Під час підготовки масового вибуху на блоці № 44 горизонту +28 м пробурено 86 свердловин діаметром 215,0 мм і глибиною переважно 13,5-14,0 м, більшість з яких малообводнені (висота стовпа води не перевищувала 4,0 м), а в деяких свердловинах вода відсутня взагалі. У свердловинах формували суцільні заряди водоемульсійного ВР Анемікс – 70 (контрольний вибух). Маса вибухової речовини у свердловині становила 310–320 кг, сумарна маса ВР у всіх свердловинах становила 27 086 кг. Заряди ініціювали групами з мілісекундними сповільненнями 10–40 мс. Максимальна

маса вибухових матеріалів на один ступінь уповільнення не перевищувала 2000 кг. Реєстрацію параметрів сейсмічних коливань під час масових вибухів здійснювали за допомогою сейсмодатчика ІОО-2 із записом сигналів на осцилографі Н.044.

Розшифровка осцилограм дозволила встановити швидкості зміщення ґрунту та частоту коливань у місцях установки сейсмоприймачів. У міру збирання гірничої маси визначали об'єм некондиційних (0-5 мм) фракцій після кожного масового вибуху.

Під час підготовки масового вибуху виконано буріння 96 свердловин діаметром 215 мм та глибиною 13,0–14,0 м (блок № 45, гор. +28), які поміщали поліетиленові рукави діаметром 190 мм. При використанні водоемульсійних вибухових речовин виникають технологічні проблеми при формуванні розосереджених зарядів з інертними або повітряними проміжками. Тому при використанні емульсійних ВР формували поздовжні осьові порожнини між поліетиленовими рукавами та стінками свердловин. На дно свердловин у поліетиленових рукавах поміщали 27 кг газогенеруючого компонента (твердого ракетного палива). В якості газогенеруючого компоненту використовували тверде ракетне паливо в патронах діаметром 120 і 180 мм масою відповідно 9 і 15 кг. Потім у поліетиленові рукави в свердловинах заливали вибухівкою Анемікс-70, а між зарядом у поліетиленовому рукаві та стінкою свердловини утворювався зазор, більше 20-25 мм, заповнений водою або повітрям залежно від рівня води у свердловині. Потім після заливання в рукав водоемульсійного ВР Анемікс-70 у верхній частині свердловини розміщує ще 15,0–18,0 кг газогенеруючого компонента – утилізованого твердого ракетного палива (рис. 3.8) і формували забійку. Загальна маса вибухових матеріалів, використаних у даному масовому вибуху, склала 30066 кг, у тому числі 4092 кг -

газогенеруючого компонента (твердого ракетного палива) (13,5% від загальної маси вибухових матеріалів).

При підготовці масового вибуху були пробурені 102 свердловини діаметром 215 мм і глибиною 13,0-14,0 м (блок № 46 гір. +28 м). У свердловинах при зарядці були розміщені поліетиленові рукави діаметром 180 мм. Конструкція свердловинних зарядів відповідає конструкції зарядів на блоці № 45 з газогенеруючими компонентами (рис. 3.8). Максимальний зазор між зарядом вибухової речовини і стінкою свердловини становив 30 – 35 мм, який був заповнений частково водою чи повітрям залежно від рівня води у масиві. Загальна маса вибухових матеріалів становила 31108 кг, з них 4284 кг газогенеруючих компонентів (близько 14 % від загальної маси вибухових матеріалів).

Експериментальні вибухи проведено на інших блоках Рижівського гранітного кар'єру. При підготовці масового вибуху на блоці № 49 негайно 83 свердловини діаметром 216 мм та глибиною 12,0–13,0 м.

Перед зарядженням у свердловини поміщали поліетиленові рукави діаметром 180 мм, на дні яких знаходилися 2–30 кг газогенеруючого компоненту – тверде ракетне паливо. Потім у поліетиленовий рукав заливали 240-280 кг водоемульсійного ВР (Анемікс-70), поверх якого в кожну свердловину додавали 15–18 кг твердого ракетного палива та формували забійку. Загальна маса вибухових матеріалів у всіх свердловинах склала 23550 кг з них 3952 кг (16,8%) твердого ракетного палива.

Питома витрата вибухових матеріалів при відбійці гранітів на блоці № 49 становив 0,58 кг/³.

На горизонті +16 м був підготовлений до масового вибуху блок № 50, на якому 89 свердловин діаметром 215 мм і глибиною 11,5-12,5 м, в які розміщували суцільні заряди без порожнин та проміжків.

Загальна маса вибухових речовин при відбійці порід на блоці № 50 склала 24600 кг.

Аналіз результатів експериментальних досліджень в умовах Рижівського та Мало Кохновського гранітних кар'єрів показав, що заміна частини високобризантних вибухівок у свердловинних зарядах газогенеруючими компонентами (твердими ракетними паливами) та створення поздовжніх інертних порожнин, суттєво знижує відносний обсяг переподібнених фракцій у підірваній гірничій масі. Ця якісна закономірність підтверджується під час проведення дослідно промислових вибухів та інших кар'єрах.

На Рижівському гранітному кар'єрі для підготовки масового вибуху на блоці № 5 було пробурено 25 свердловин діаметром 244 мм і глибиною 17,5 м по сітці 6,2х6,4 м. Загальна маса вибухових матеріалів, розміщених у свердловинах, склала 16436 кг, із них 936 кг твердого ракетного палива або 7% від сумарної маси вибухових матеріалів використаних при масовому вибуху на блоці № 5 гір. - 14,0 м. Обсяг підірваної гірничої маси становив 16120 м³. У процесі збирання гірничої маси встановлено відносний обсяг (у %) переподібнених фракцій, який у цьому дослідно промисловому вибуху становив 29,85 %.

При збільшенні в об'ємі вибухових матеріалів газогенеруючих компонентів вміст у відбитій гірничій масі переподібнених фракцій зменшується, про що свідчать результати масового вибуху на блоці № 4 гір. -14 м.

На блоці № 4 пробурено 20 свердловин діаметром 244 мм та глибиною 17,0 – 18,0 м, в яких розміщені 10730 кг вибухових матеріалів, із них 2940 кг (27,4%) газогенеруючого компонента. Після відвантаження з кар'єру на дробильно-сортувальний завод гірничої маси встановлено, що вміст некондиційних фракцій (0-5 мм) становив 26,4 %. При однаковій питомій витраті вибухових матеріалів (0,83

кг/м³) на блоках № 4 та № 5 більший відносний вміст у зарядах блоку № 4 газогенеруючого компонента зумовлює зменшення вмісту переподрібнених фракцій у підірваній гірничій масі.

Таким чином, при деякому зменшенні питомої витрати вибухових матеріалів, вихід переподрібнених фракцій суттєво скоротився. Однак вміст переподрібнених фракцій у підірваній гірничій масі виявився вищим за очікуваний у зв'язку з тим, що істотне збільшення довжини колонки твердого ракетного палива в заряді, ймовірно, сприяло розвитку низькотемпературних режимів детонації.

Економічний ефект від застосування списаних конверсійних матеріалів підвищується ще більше за рахунок економії коштів, що витрачаються на їх утилізацію.

РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ШВИДКОСТІ ДЕТОНАЦІЇ ПО ДОВЖИНІ КОЛОНКИ ЗАРЯДУ ВР

При дослідженні швидкості детонації по довжині колонки заряду, використовувалися дані отримані ООО «Мінерал» Академії гірничих наук України.

ООО «Мінерал швидкість вимірював з використанням приладу Micro Trap та коаксіального кабелю, який розміщувався в свердловинному заряді по всій довжині, та з'єднувався з приладом (рис. 4.1 та рис. 4.2).



Рис. 4.1 Прилад Micro Trap на блоці.



Рис.4.2 Комутація коаксіального кабелю з приладом в день
виробництва МВ.

Дослідження проводилися при виробництві масового вибуху 25.04.2022г. на блоці свердловин гор-75м / -90м при зарядці свердловин №1 і №2. Конструкції зарядів свердловин ВР №1 представлені на рис. 4.3

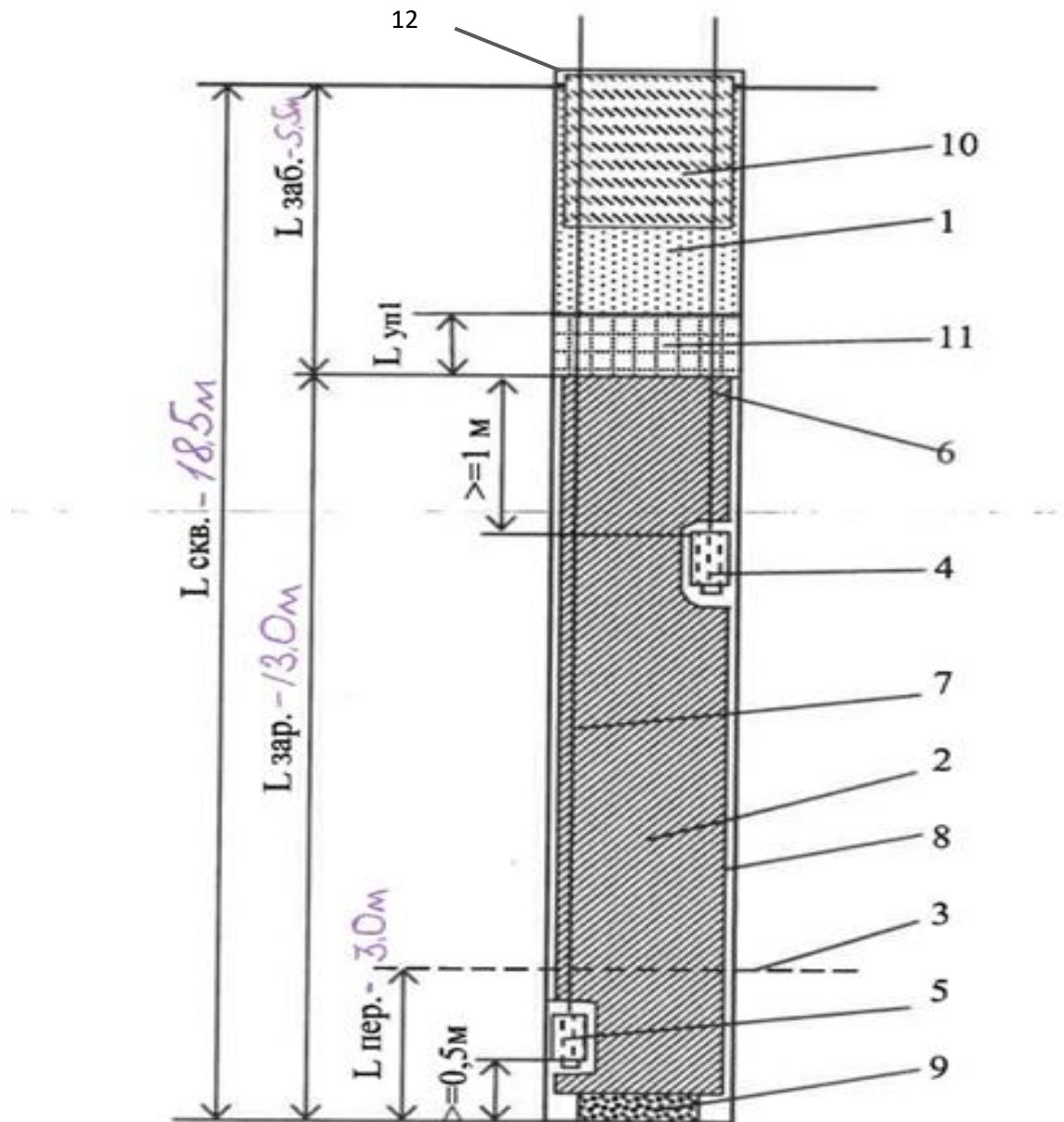


Рис. 4.3 Конструкція свердловинного заряду вибухової речовини.

1 - забійка; 2 - заряд вибухової речовини; 3 - рівень підосви уступу; 4 - детонатор ЗТП-800; 5 - детонатор ЗТП-800; 6 - хвилевід внутрішньосвердловинного детонатора Д500 (500мс); 7 - хвилевід внутрішньосвердловинного детонатора Д475 (475мс); 8 -

Прилад накривається металевим кожухом з метою запобігання пошкодження приладу при розльоті шматків породи від вибуху (рис. 4.6).



Рис.4.6 Установка приладу на блоці.

Швидкість детонації в свердловині №1 на блоці горизонту -75 / -90 складає в середньому 5226,4 м / с (рис.4.7 та 4.8).

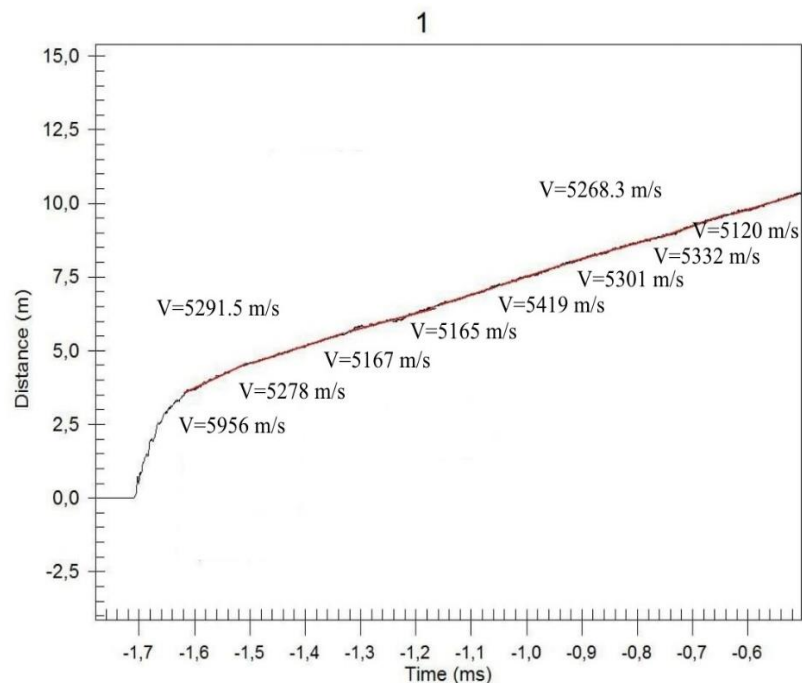


Рис.4.7 Швидкість детонації заряду ВР в свердловині №1 (початок)

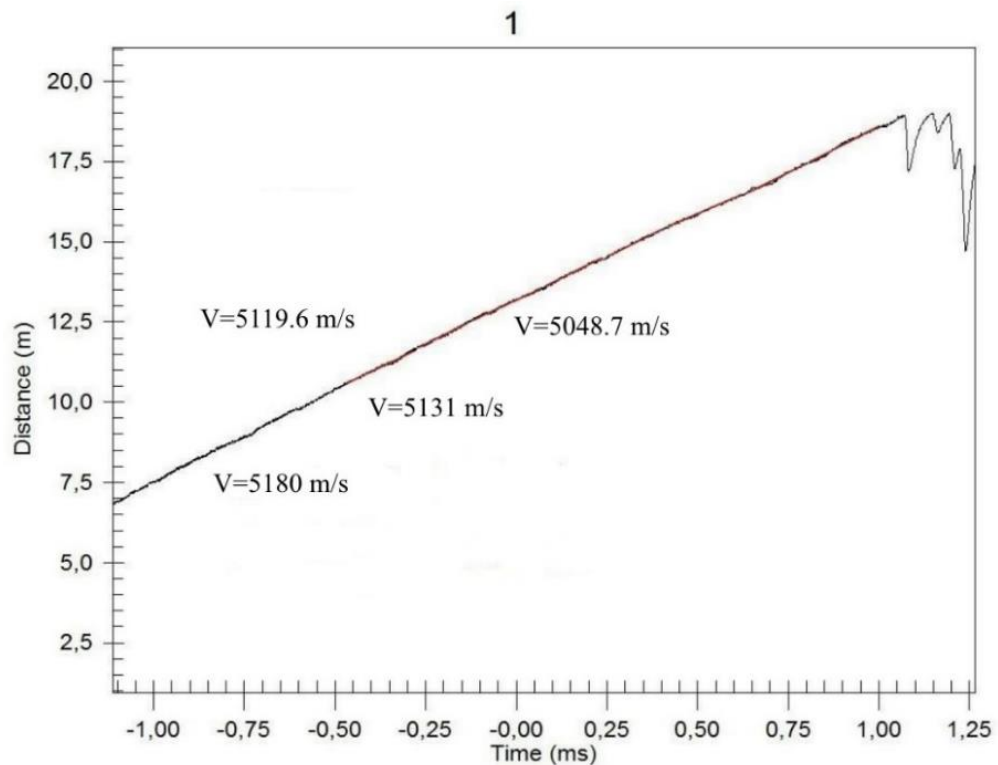


Рис.4.8 Швидкість детонації заряду ВР в свердловинах №1
(закінчення)

Аналіз отриманих результатів швидкості розподілу детонації по колонці заряду №1 (рис.4.3) дозволяє зробити висновки:

- середня швидкість детонації заряду ВР з використанням конструкції проміжного детонатора типу шашок ТПЗ-800 становить 5226.4 м / с., а швидкість детонації «Україніт ПП-2Б» відповідно до ТУ становить 4800 м / с.

- швидкість детонації по окремим трьом ділянкам від дна свердловини до верхнього рівня колонки заряду, відстанню між вимірами яких становить 1м. розподілилася наступним чином:

Ділянка –I - $V_{\text{сер}}=5291,0$ м/с

Ділянка-II – $V_{\text{сер}}=5268,3$ м/с

Ділянка-III – $V_{\text{сер}}=5119,6$ м/с

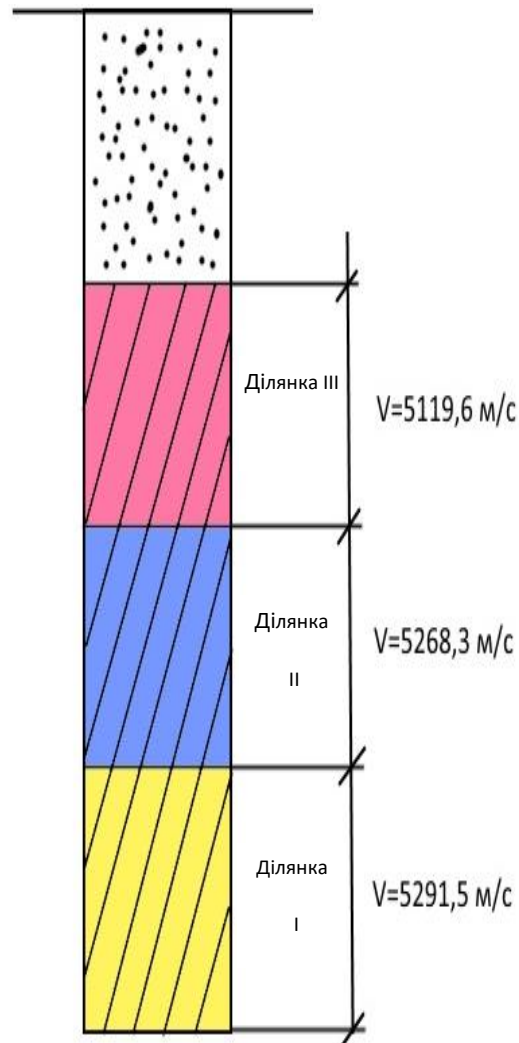


Рис. 4.9 Схема поширення швидкості детонації по свердловинному заряду ВР №1 заряду ВР №1 з розбивкою по ділянках

- на ділянках -I в нижній частині свердловинного заряду, де розташовані шашки ЗТП-800, швидкість детонації становить в середньому 5291,5 м / с, і знижується до рівня власної швидкості детонації «Україніту ПП-2Б».

- на ділянках -II в середній частині свердловинного заряду ВР швидкість детонації знижується і в середньому становить 5268,3 м / с.

- на ділянці -III у верхній частині свердловинного заряду ВВ швидкість в середньому становить 5119,6 м / с і знижується до рівня власної швидкості детонації «Україніту ПП-2Б»

- шашки ЗТП-800 дублюючого ПД не забезпечує збільшення детонаційного імпульсу.

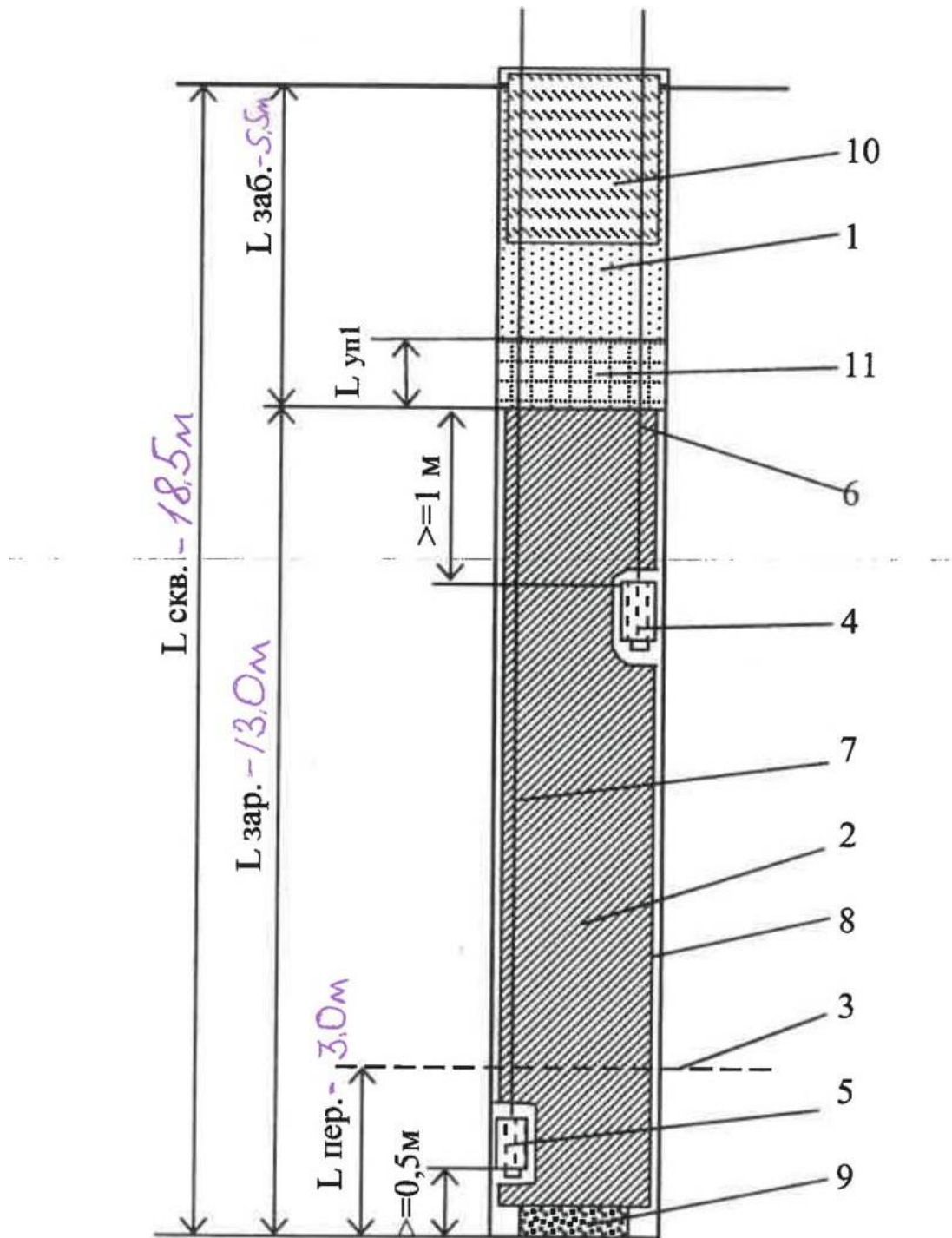


Рис.4.10 Конструкція свердловинного заряду ВР.

де: 1 - забійка; 2 - заряд вибухової речовини; 3 - рівень підшови уступу; 4 - детонатор Україніт-ПС; 5 - детонатор Україніт-ПС; 6 - хвилевід внутрішньосвердловинного детонатора Д500 (500мс);

7 - хвилевід внутрішньосвердловинного детонатора Д475 (475мс); 8 - гідроізолюючий рукав; 9 - утяжувач; 10 - поліетиленовий рукав заповнений водою; 11 - інертний проміжок; 12 - вимірювальний кабель.

На всіх трьох ділянках свердловинного заряду зафіксована ідентична швидкість детонації вибухової речовини, близького до номінальної швидкості детонації. Цей факт говорить про те, що використання в якості застосовуваної в даний час конструкції свердловинного заряду вибухової речовини з двома проміжними детонаторами ЗТП-800, розташованими у верхній і нижній частині заряду не забезпечує збільшення швидкості детонації свердловинного заряду вибухової речовини.

Таким чином, подальше дослідження швидкості детонації із застосуванням вище зазначеної конструкції бойовика є доцільною при внесенні змін до конструкції заряду, яка дозволить стабілізувати швидкість детонації на ділянці 1.

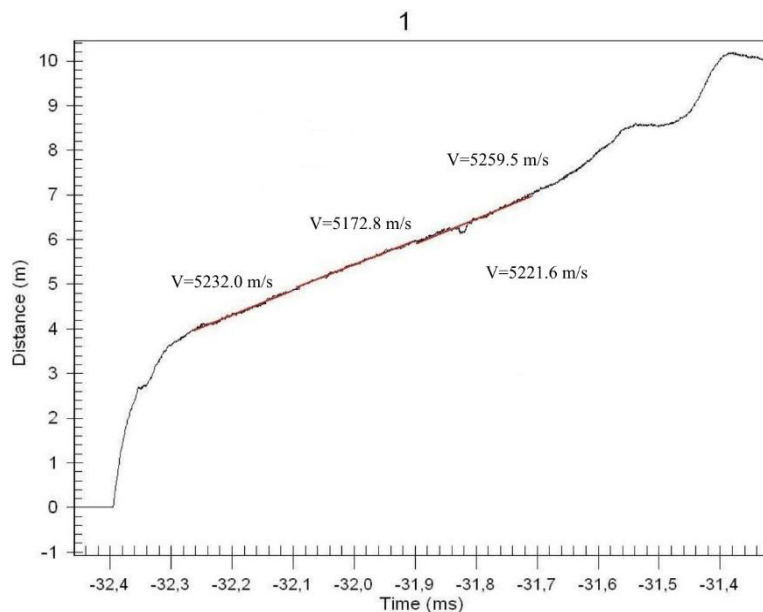


Рис. 4.11 Швидкість детонації заряду ВР в свердловині №1

В подальшому проаналізована швидкість детонації, при підриванні свердловинного заряду №2, конструкція якого зображена на рис. 4.10.

Замір швидкості детонації в свердловині №1 склав в середньому 5221,6 м/с (рис 4.11).

Аналіз отриманих результатів швидкості розподілу детонації по колонці заряду №1 (рис. 4.11 та 4.12) дозволяє зробити висновки:

- середня швидкість детонації заряду ВР з використанням конструкції проміжного детонатора типу Україніт-ПС становить 5245,5 м/с (рис. 4.12), а швидкість детонації «Україніт ПП-2Б» відповідно до ТУ становить 4800 м / с.

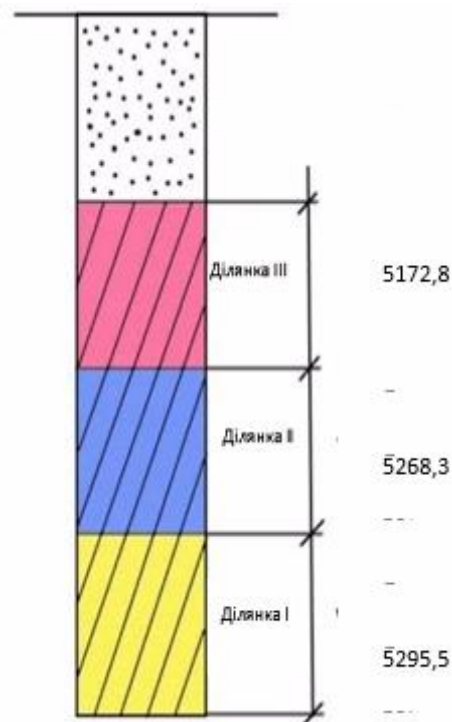


Рис. 4.12 Схема поширення швидкості детонації по свердловинному заряду ВР №1 з розподілом по ділянкам.

- розподіл швидкості детонації по окремих ділянках колонки заряду, що становлять 4м від дна свердловини до верхнього рівня колонки заряду становить:

- ділянка-I $-V_{\text{сер}}=5172,8$
- ділянка-II $-V_{\text{сер}}=5268,3$
- ділянка-III $-V_{\text{сер}}=5295,5$

На всіх ділянках свердловинного заряду зафіксована ідентична швидкість детонації вибухової речовини, близького до номінальної швидкості детонації. Цей факт говорить про те, що використання в якості проміжних детонаторів емульсійне ВР типу Україніт-ПС не забезпечує збільшення швидкості детонації свердловинного заряду вибухової речовини, в зоні висадження ПД.

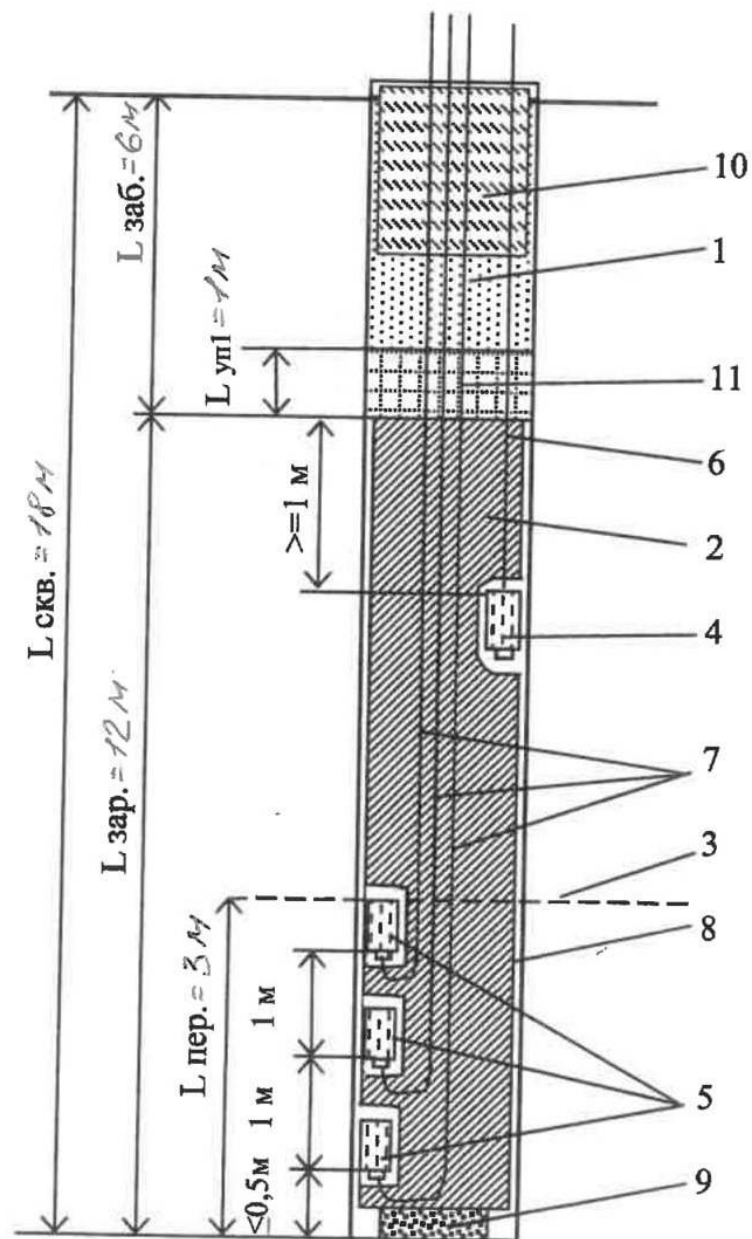


Рис. 4.13 Конструкція свердловинного заряду ВР.

де: 1 - забійка; 2 - заряд вибухової речовини Україніт ПП 2; 3 - рівень підшви уступу; 4 - детонатор ЗТП-800; 5 - детонатор ЗТП-800; 6 - хвилевід внутрішньосвердловинного детонатора Д500 (500мс); 7 - хвилевід внутрішньосвердловинного детонатора Д475 (475мс); 8 - гідроізолюючий рукав; 9 - утяжувач; 10 - поліетиленовий рукав заповнений водою; 11 - інертний проміжок ПФП -1 (L = 1м); 12 - вимірювальний кабель.

Таким чином, подальше дослідження швидкості детонації із застосуванням конструкції бойовика з використанням Україніту-ПС є недоцільним.

Подальші дослідження проводилися при виробництві масового вибуху 20.06.2022г. на блоці свердловин гір-195м / -210м при зарядці свердловин №1 (рис. 4.13)

План гірничих робіт на вибух і схема комутації свердловинних зарядів ВР представлені на рисунку 4.14 та 4.15.

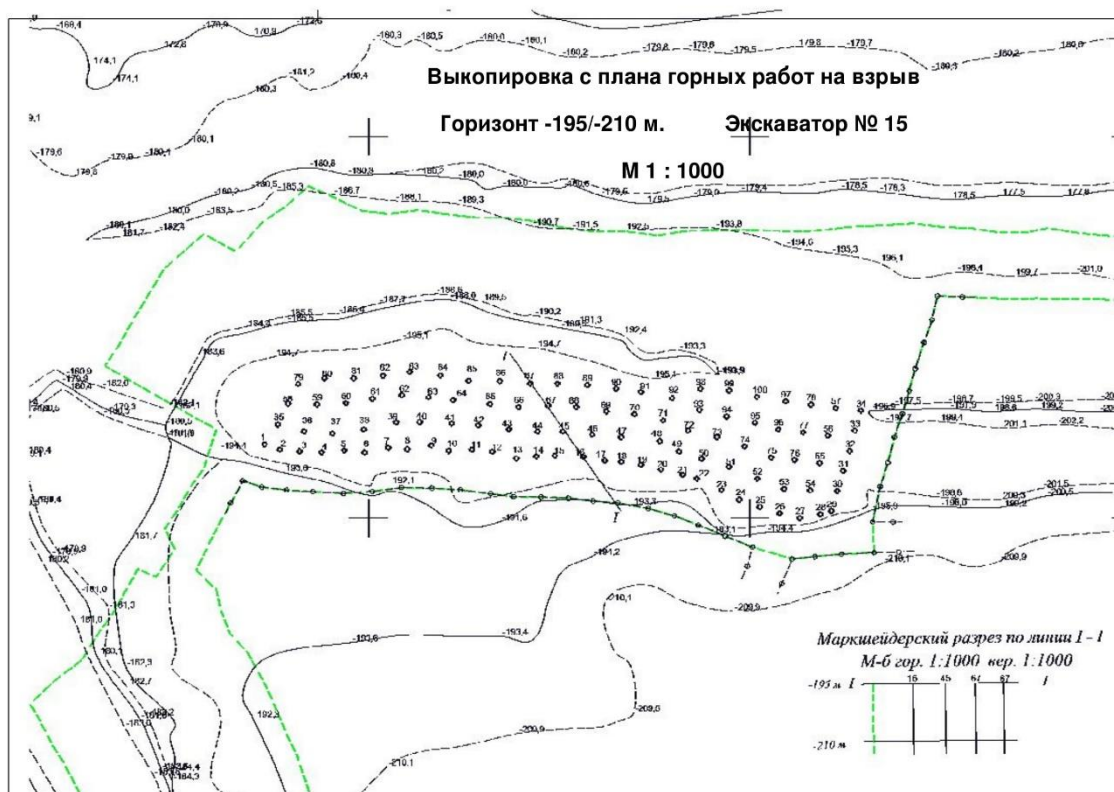


Рис. 4.14 План гірничих робіт на блоці.

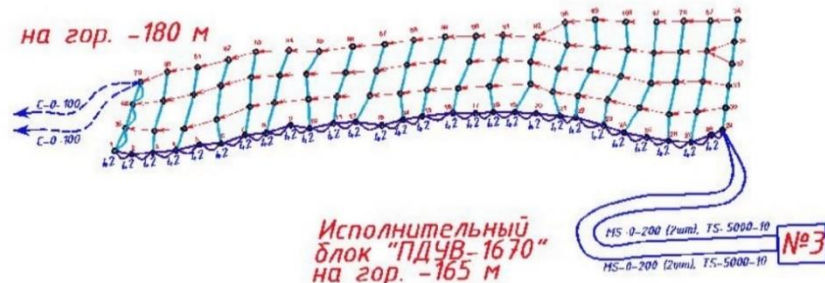
Схема очередности взрывания групп зарядов

на гор. - 195 / - 210 м.

Блок № 58 Экскаватор № 15

Необозначенные соединительные блоки S-6 7-10

Максимальный вес заряда в группе: 830 кг.



17,25,42,67,100 - номинал соединительного блока.

Начало работы блока: .. 5 6 7 5 .. мс.

1,2,3...100,101 - номерация скважины.

Конец работы блока: .. 7 0 5 2 .. мс.

- волновод внутрискважинного
детонатора MS-475-24
(направление подключения)

Рис. 4.15 Схема комутации свердловинных зарядов ВР.

Заміри швидкості детонації здійснювалися в свердловинах №1 (рис. 4.16) на блоці горизонту -195 / -210м. Організація робіт по виміру швидкості детонації виконувалася аналогічно як і при дослідженні на попередніх вибухах.

Конструкції свердловинних зарядів ВР аналогічні конструкції, яка приведена на рис.13. При цьому зарядка свердловин і установка вимірювального кабелю в свердловину №1 здійснювалася 15.06.2022 р, в перший день завезення ВР для виробництва МВ, в той час як масовий вибух проводився 20.06 .2022 р і завезення ВР здійснювалася в останній день. Таким чином вибухову речовину в свердловинах на блоці знаходилося 5 діб.

Середні швидкості детонації конструкції №1 свердловинних зарядів ВВ наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

№ п/п	Найменування	Вибух 25.04.2023р. конструкція свердловинного заряду 2ПБ ДПУ-800	Вибух 25.04.2023р. конструкція свердловинного заряду 2 патрона Україніт ПС	Вибух 06.06.2023р. конструкція свердловинного заряду 3 ПД, ЗТП-800 в нижній частині свердловини в останній день перед МВ	Вибух 20.06.2023р. конструкція свердловинного заряду 3 ПД, ЗТП-800 в нижній частині свердловини в перший день підготовки МВ
1	Швидкість детонації на ділянці III	5119,6	5295,5	5571,4	5123,1
2	Швидкість детонації на ділянці II	5283,3	5268,3	5600,2	5183,0
3	Швидкість детонації на ділянці I	5291,0	5172,8	5622,8	5253,0
4	Середня швидкість детонації	5226,4	5245,5	5680,9	5183,4

Розглянемо закономірності зміни тиску і питомого імпульсу у бічній поверхні циліндричного заряду для трьох перерахованих вище випадків падіння детонаційної хвилі на межу розділу ВР-середовище.

Нехай плоска детонаційна хвиля починається в центрі циліндричного заряду вибухової речовини (на початку координат).

Рівняння газової динаміки для одновимірного течії має вигляд:

$$\frac{\partial(u \pm c)}{\partial t} + (u \pm c) \frac{\partial(u \pm c)}{\partial x} = 0 \quad (4.1)$$

Рішенням рівняння (4.1) будуть

$$\left. \begin{aligned} x &= (u + c)t + F_1(u + c) \\ x &= (u - c)t + F_2(u - c) \end{aligned} \right\} \quad (4.2)$$

где F_1 и F_2 – довільні функції.

Для відображеної хвилі рішення визначено при $t = \frac{l}{D}$, $x = l$, $l = \frac{d}{2}$, де d – діаметр свердловинного заряду. При цьому:

$$u = (x - l)t, \quad c = \frac{l}{t}, \quad (4.3)$$

Закон руху фронту відображеної ударної хвилі має вигляд:

$$x = \frac{-Dt}{2} - \frac{\sqrt{lDt}}{2} + 2l, \quad (4.4)$$

з рівняння ізоентропи $P = A \rho^3$ слідує, що

$$\frac{P}{P_H} = \left(\frac{\rho}{\rho_H} \right)^3, \quad (4.5)$$

оскільки при $K = 3$ $C = \rho$, то

$$\frac{P}{P_H} = \left(\frac{C}{C_H} \right)^3, \quad (4.6)$$

Підставляючи в (4.6) значення C з (4.3) і беручи до уваги, що $C_H = \frac{3}{4D}$ отримаємо

$$P = \frac{64}{27} P_H \left(\frac{l}{Dt} \right)^3 \quad (4.7)$$

Вираз (4.7) є законом зміни тиску на кордоні розділу ВР-середовище (в акустичному наближенні) при прямому падінні детонаційної хвилі.

З іншого боку з урахуванням зміни ентропії у межі розділу при прямому відображенні детонаційної хвилі величини P і P_H згідно [5] пов'язані наступним співвідношенням:

$$\frac{2P_H}{K(K+1)P + (K-1)P_H} = \frac{4(P - P_H)^2}{((K+1)P + (K-1)P_H)^2}, \quad (4.8)$$

при $K = 3$ рівняння (3.8) приймає вигляд:

$$(2P + P_H)P_H = 3(P - P_H)^2, \quad (4.9)$$

звідки

$$P \approx 2,4 P_H.$$

У свою чергу, з огляду на результати отримані з рівнянь (4.10) і (4.12), можна зробити висновок, що нехтування незначним виміром ентропії при прямому відображенні детонаційної хвилі не змінить різко якісну і кількісну картину явища відображення.

Розглянемо випадок косою відображення детонаційної хвилі за умови:

$$\frac{\pi}{3} \leq \psi \leq \frac{\pi}{2},$$

де ψ – кут падіння детонаційної хвилі на межу розділу ВР-середовище.

При косому відображенні ентропія за фронтом відбитої хвилі при регулярному і нерегулярному відображенні зростає незначно, отже, для цього випадку теж має рівність (4.9). Величина тиску при відображенні детонаційної хвилі для даного випадку визначається зі співвідношення:

$$P = \frac{\rho D^2}{(K+1) \sin \psi} (1 + \cos \psi), \quad (4.10)$$

Враховуючи той факт, що $K = 3$ и

$$P_H = \frac{\rho D^2}{4}, \quad (4.11)$$

то формула (4.10) приймає вигляд:

$$P = \frac{P_H}{1 - \cos \psi}, \quad (4.12)$$

Згідно формул (4.9) і (4.12) отримаємо закон зміни тиску, що діє на кордон розділу при косому відображенні

$$P = \frac{P_H}{1 - \cos \psi} \left(\frac{l}{Dt} \right)^3 \quad (4.13)$$

Згідно з теоретичними та експериментальним дослідженням, виконаним в роботах [12, 13], тиск на кордоні розділу за умови відображення:

$$0^\circ \leq \psi \leq \frac{\pi}{3}$$

задовольняє наступній нерівності:

$$P \left(\frac{\pi}{3} \leq \psi \leq \frac{\pi}{2} \right) < P \left(0^\circ \leq \psi \leq \frac{\pi}{3} \right) < P(\psi = 0^\circ)$$

С точністю, що задовольняє практиці, ми можемо значення $P \left(0^\circ \leq \psi \leq \frac{\pi}{3} \right)$ апроксимувати прямою (рис. 4.13) що проходить через точки з координатами $(0; 2,4)$ і $(\pi/3; 2)$. Тоді, аналогічно міркуючи як і в раніше розглядаємо випадку, маємо:

$$P = 1,2P_H \left(2 - \frac{\psi}{\pi} \right) \left(\frac{l}{Dt} \right)^3 \quad 4.14$$

Слід зазначити, що при $\psi = \frac{\pi}{2}$ з виразу (4.14) будемо мати закон зміни тиску при нормальному відображенні детонаційної хвилі від кордону розділу. Для цього випадку формула (4.14) набуде вигляду:

$$P = P_H \left(\frac{l}{Dt} \right)^3 \quad (4.15)$$

Резюмуючи вище викладене, ми можемо записати формулу, що визначає величину тиску на кордоні розділу, $(t = \frac{l}{D})$, в залежності від кута падіння детонаційної хвилі на останню:

$$P(\psi) = \begin{cases} 2,4P_H, & \text{если } \psi = 0 \\ 1,2P_H \left(2 - \frac{\psi}{\pi}\right), & \text{если } 0^\circ < \psi < \frac{\pi}{3} \\ \frac{P_H}{1 - \cos \psi}, & \text{если } \frac{\pi}{3} \leq \psi \leq \frac{\pi}{2} \end{cases} \quad (4.16)$$

Отже, зміна кута падіння детонаційної хвилі від 90° до 0° призводить до зростання тиску на кордоні розділу ВВ-середовище, що вказує на необхідність враховувати цей факт при розрахунку величини питомої імпульсу.

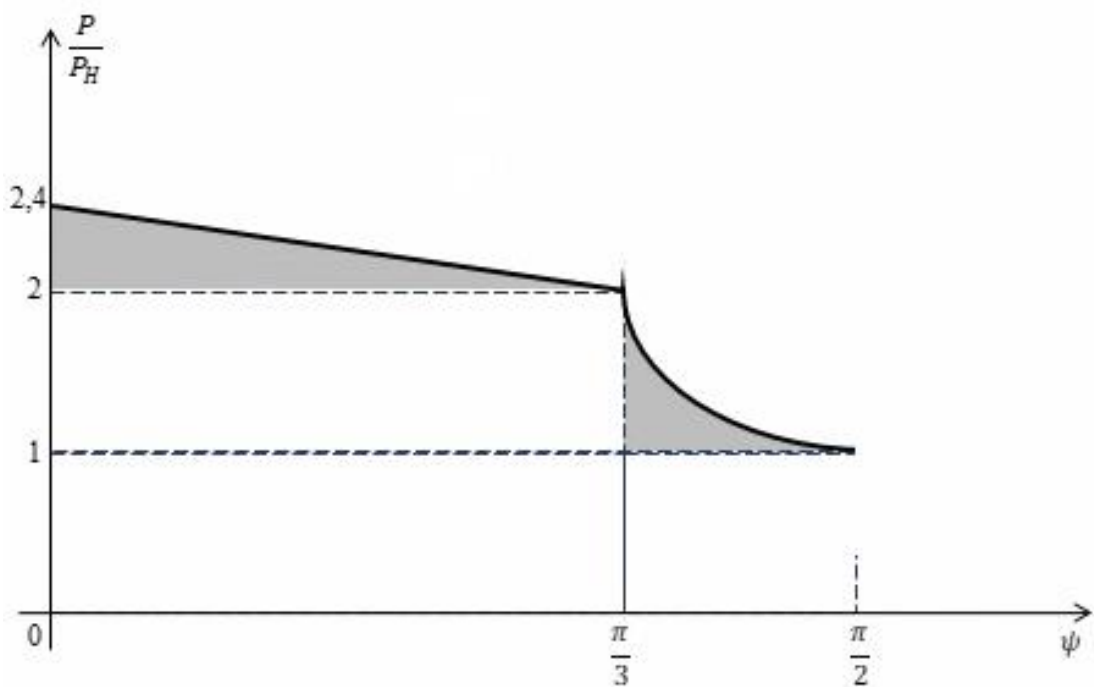


Рис.4.16. Залежність величини тиску від кута падіння детонаційної хвилі на межу розділу ВВ-середовище.

Розглянемо питання про величину питомої імпульсу (тобто імпульс припадає на одиницю площі внутрішньої поверхні циліндричного заряду) для трьох раніше перерахованих випадків поширення детонаційної хвилі. Відповідно до теорії детонації:

$$i = \int_t^{\infty} P(t) dt, \quad (4.17)$$

де $P(t)$ – закон зміни тиску на межі розділу:

Тоді на основі формул (4.7); (4.13); (4.14); (4.17) будемо мати:

при $\psi = 0^\circ$

$$i_1 = 2,4P_H \left(\frac{l}{Dt}\right)^3 \int_{l/D}^{\infty} \frac{dt}{t^3} = 1,2P_H \frac{l}{D}, \quad \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{М}^2 \cdot \text{С}} \quad (4.18)$$

при $0^\circ < \psi < \frac{\pi}{3}$

$$\begin{aligned} i_2 &= 1,2 \left(2 - \frac{\psi}{\pi}\right) P_H \left(\frac{l}{Dt}\right)^3 \int_{l/D}^{\infty} \frac{dt}{t^3} \\ &= 0,6 \left(2 - \frac{\psi}{\pi}\right) P_H \frac{l}{D}, \quad \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{М}^2 \cdot \text{С}} \end{aligned} \quad (4.19)$$

при $\frac{\pi}{3} \leq \psi \leq \frac{\pi}{2}$

$$\begin{aligned} i_3 &= \frac{P_H}{1 - \cos \psi} \left(\frac{l}{Dt}\right)^3 \int_{l/D}^{\infty} \frac{dt}{t^3} \\ &= \frac{P_H}{2(1 - \cos \psi)} \frac{l}{D}, \quad \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{М}^2 \cdot \text{С}} \end{aligned} \quad (4.20)$$

Згідно отриманих нами результатів (4.18-4.20) маємо нерівність:

$$i_3 < i_2 < i_1 \quad (4.21)$$

з якого випливає, що управління процесом поширення детонації в заряді ВВ дає можливість змінювати величину питомого імпульсу.

На практиці кут $\psi = 0^\circ$ поширення детонаційної хвилі щодо кордону розділу ВР-середовище (стінка свердловини) можна отримати використовуючи для ініціювання ВР декількох шашок ЗТП-800 розташованих так, щоб фронт детонації поширювався в бік укусу

уступу руйнуючогося гірського масиву. Слід зазначити, що так як швидкість детонації шашки ЗТП-800 ($\leq 7400\text{м/с}$), а ВР (Україніт -4800 - 5300 м/с), то виникає явище, іменоване в фізиці вибуху як пересжата детонація [11]. Пересжата детонація відбувається при переході детонаційної хвилі з потужного ВР в менш потужне. За своїм механізмом пересжата детонація не відрізняється від нормальної, але, проте має підвищену швидкість і тиск в порівнянні зі штатним плином детонації. Цей ефект буде сприяти підвищенню питомого імпульсу вибуху і збільшенню енергії, що переходить в ударну хвилю руйнації.

Дослідження параметрів ударних хвиль.

Імпульс вибуху являє собою одну з найважливіших характеристик дії заряду ВР в руйнується середовищі. Не менш важливим питанням в поданні про можливе руйнування середовища під дією імпульсних навантажень є закони поширення і погашення енергії хвиль напружень в середовищі, що володіє певними пружними постійними.

Енергія, що переходить в ударну хвилю, може бути визначена згідно з [4], як частина загальної енергії ВР $W_{\text{ВВ}}$ и виражається залежністю:

$$\frac{W_{\text{УД}}}{W_{\text{ВВ}}} = \left(1 - \frac{P_c}{(K - 1)\rho_{\text{ВВ}}Q_{\text{ВВ}}} \cdot \frac{V_{\infty}}{V_0} \right), \quad (4.22)$$

де P_c – міцнісний опір середовища; V_0 – початковий обсяг розширення газів; V_{∞} - кінцевий обсяг розширення газів; $\rho_{\text{ВВ}}$ – густина ВР; $Q_{\text{ВВ}}$ – потенційна енергія ВР; K – показник анізотропи у початковій стадії розширення.

Із залежності (4.22) очевидно, що зони пластичних деформацій і характеристиками міцності опір середовища в оцінці умов переходу

енергії вибухової розкладання ВВ в енергію ударної хвилі мають визначальне значення.

Згідно [18] характеристиками міцності опір середовища може бути визначено як:

$$P_c = \left(\frac{P_H^{\frac{1}{K}} \cdot P_K^{\frac{K-K_1}{K \cdot K_1}} \cdot V_0}{V_\infty} \right)^{K_1}, \quad (4.23)$$

де P_H – початковий тиск продуктів вибуху; P_K – тиск, до якого розширення продуктів вибуху проходить за законом:

$$P_K V_0^3 = const = P_H V_0^3 \quad (4.24)$$

Під час вибуху заряду ВР в середовищі, що руйнується, істотна частина енергії вибуху втрачається при переході кордону розділу ВР-середовище, внаслідок відображення детонаційної хвилі від стінок зарядної камери, завдяки чому частина продуктів вибуху до усунення рівноваги буде рухатися не до периферії, а до центру заряду.

При імпульсних навантаженнях гірських порід властива квазіпружна поведінка. Кількість енергії, відповідно відбитої від стінок зарядної камер, а також та, що пройшла в середовище, може бути визначено [16] з задовільною для практичних цілей ступенем похибки як:

$$\frac{W_c}{W_{уд}} = \frac{4\rho c \rho_{ВВ} D}{(\rho c + \rho_{ВВ} D)^2}, \quad (4.25)$$

де W_c – пружна енергія середовища; ρc – акустична жорсткість середовища, що руйнується; $\rho_{ВВ} D$ – акустичний імпеданс ВР.

Енергія хвилі напруги в роботах [17, 18] визначена як функція роботи, яку здійснюють при зсуві елементарної площадки на певну відстань в безмежному середовищі.

Розглянемо з цих позицій енергію ударної хвилі в залежності від величини початкового тиску у стінки свердловинного заряду.

Початкове рівняння енергії, що проходить через одиницю площі в нормальному до фронту хвилі за час dt може бути виражено як:

$$dW = d\sigma(r, t)du(r, t)dt, \quad (4.26)$$

або

$$W = \int_0^t \sigma(r, t)u(r, t)dt \quad (4.27)$$

Згідно [22] зміна швидкості масового зсуву і напруги під час з урахуванням їх максимального значення підкоряються експоненціальним законом виду:

$$U(t) = U_{\max} l^{-\alpha(t-t_H)} \frac{\sin \beta t}{\sin \beta t_H}, \quad (4.28)$$

$$\sigma(t) = \sigma_{\max} l^{-\alpha(t-t_H)} \frac{\sin \beta t}{\sin \beta t_H}, \quad (4.29)$$

де $l^{-\alpha(t-t_H)}$ – експонента, що характеризує крутизну наростання і спаду швидкості напруги; α, β – коефіцієнти, що характеризують крутизну наростання і спаду швидкості і напруги; t_H – час наростання напруги от 0 до \max .

При квазіпружної поведінці гірських порід основні закономірності зміни параметрів хвиль напруги можуть бути встановлені відповідно до закону теорії пружності. В цьому випадку максимальна напруга на фронті хвилі і швидкість масового зсуву породи можуть бути пов'язані між собою залежністю [23]:

$$\sigma_{\max} = \frac{U\rho c}{g}, \quad (4.30)$$

Тоді рівняння приймає вигляд:

$$W = \frac{\rho c}{g} \int_0^t \sigma^2(r, t) dt, \quad (4.31)$$

На основі досліджень, виконаних в роботі [21]:

$$\sigma_{\max(r)} = P_0 \frac{R_0^2}{r^2} = P_0 \overrightarrow{r^2}, \quad (4.32)$$

де P_0 – початковий тиск на межі пружної зони; R_0 – початковий радіус свердловини; r – відстань від вісі заряду до досліджуваної точки.

Тоді на підставі викладеного:

$$W = \frac{g \overrightarrow{r^4} P_0^2}{\rho c} \int_0^t l^{-2\alpha(t-t_H)} \frac{\sin \beta t}{\sin \beta t_H} dt \quad (4.33)$$

З формули (4.33) ми можемо отримати для кожного з раніше розглянутих випадків відображення, питому енергію хвилі напруги, з урахуванням отриманої залежності (4.16):

$$W_{yз} \approx 3,6 \frac{\rho_{BB} D_{BB}^4 \overrightarrow{r^4}}{\rho c} \int_0^t l^{-2\alpha(t-t_H)} \frac{\sin \beta t}{\sin \beta t_H} dt, \quad \frac{\text{кгс} \cdot \text{м}}{\text{м}^2}$$

В нашому випадку очевидно, що

$$W_{yз} \approx D i$$

так як інші параметри не змінювалися.

Розрахунок величини $W_{yз1}$ питомої енергії вибуху свердловинного заряду вибухової речовини (рис. 4.8) при використанні для ініціювання 2 проміжних детонаторів типу ЗТП-800, розташованих у верхній і нижній частині заряду вибухової речовини, при середній швидкості детонації $V_{ср} = 5226,4$ м / с становить $W_{yз1} = 1,0 = 1,0$ (застосовувані в даний час).

Розрахунок величини $W_{y\dot{z}2}$ питомої енергії вибуху свердловинного заряду вибухової речовини при використанні для ініціювання 2 проміжних детонаторів типу Україніт ПС, розташованих у верхній і нижній частині заряду вибухової речовини, при середній швидкості детонації $V_{сер} = 5221,6$ м/с становить $W_{y\dot{z}2}=0,78$ (застосовувані в даний час).

Розрахунок величини $W_{y\dot{z}3}$ питомої енергії вибуху свердловинного заряду вибухової речовини при використанні для ініціювання 3 проміжних детонаторів типу ЗТП-800, розташованих в нижній частині заряду вибухової речовини, при середній швидкості детонації $V_{сер} = 5680,9$ м / с, становить $W_{y\dot{z}3}=1,2$ (пропонована до впровадження).

Висновки за результатами розрахунків.

1. За результатами теоретичних розрахунків впливає, що при використанні для ініціювання свердловинного заряду вибухової речовини 3-х проміжних детонаторів типу ЗТП-800, розташованих в нижній частині заряду, забезпечується детонація заряду вище штатного режиму, що сприяє підвищенню питомої імпульсу і збільшення енергії вибуху на 20%.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Встановлено залежності швидкості детонації зарядів ВР від конструкції ПД і часу знаходження заряду в свердловині.

2. Оптимальними варіантами конструкції ПД є конструкція 1 (рис.13) свердловинного заряду вибухової речовини при використанні для ініціювання 3 проміжних детонаторів типу ЗТП-800, розташованих в нижній частині заряду вибухової речовини, що передбачає:

- підвищення швидкості детонації на 10% забезпечує підвищення працездатності свердловинних зарядів в нижній частині на 10%;

- підвищення працездатності свердловинного заряду вибухової речовини в нижній частині свердловини на 10% дозволяє знизити величину перебуру від 0,5 до 1 м в залежності від гірничо-геологічних характеристик підриваються порід;

- дублюючий ПД підвищує надійність висадження, але не впливає на управління швидкістю детонації верхній частині свердловинного заряду, при цьому слід врахувати що в нижній частині заряду розташовується 3-и ПД ЗТП - 800 два з яких виконують роль дублюючих, це означає що верхній дублюючий ПД може бути виключений.

3. Встановлено що швидкість детонації свердловинного заряду залежить від часу його формування в процесі підготовки МВ в межах, при зарядці свердловин з різницею в часі в 3-5 діб швидкість детонації змінюється в бік зниження в межах 10-25%, в середньому на 2-5% на добу.

4. Відповідно до отриманих результатів, вважати за доцільне застосування випробуваних конструкцій свердловинних зарядів з ПД з 3-х ЗТП - 800 розташованих в нижній частині свердловини при розробці паспортів на буріння і виробництво вибухових робіт.

5. При підриванні гірських масивів зі складними гірничо-геологічними умовами, з метою досягнення оптимальної якості вибухового дроблення гірської маси, зарядку свердловин необхідно проводити в період максимально наближений до дати проведення МВ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Спосіб формування свердловинного заряду: пат. 00629 Україна: МПК F42D 1/08 E21C 41/26, №52290; заявл. 22.01.2010; опубл. 25.08.2010. Бюл. №16.
2. Купрін В.П., Коваленко І.Л. Розробка і впровадження емульсійних вибухових речовин на кар'єрах України: Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2012. 243 с.
3. Пристрій для розосередження заряду вибухової речовини в обводненій свердловині: пат. 31419 Україна: МПК7F42D1/02. опубл.10.04.2008, Бюл №7.
4. Купрін В.П. Оцінка детонаційних характеристик емульсійних вибухових речовин марки Україніт та Емоніт. Інформац. Бюл., УСПВ, 2012. №1. С. 6–12.
5. Ефремов Э.И., Ищенко Н.И., Пономарев А.В. Выбор метода размещения и параметров промежуточных детонаторов при использовании скважинных зарядов. Информационный бюллетень УСПВ, №1, 2011. С. 2–6.
6. Жукова Н.І. Обґрунтування сейсмобезпечних параметрів буропідричних робіт на кар'єрах в умовах закарстових породних масивів: автореф. дис. ... канд. техн. наук: Київ, 2017. 27 с.
7. Vorobyov, V.V., Doludarev, V.N., Pejev, A.M. (1998), "On the influence of the parameters of the mix charge on the efficiency of the explosion in soils", Problemy sozdaniya novykh mashyn i tehnologij, vol. 2, pp. 239–240.
8. Efremov, E. (1999), «Evaluation of the effectiveness of the mixed explosive charges with the energy of the active additives», The high-energy materials processing, no. 8, pp. 77–80.
9. Doludarev, V.N. (2000), "Study of the mode of action of the mix charge in granular medium", Problemy sozdaniya novykh mashyn i

tehnologij.Nauchnie trudy Kremenchugskogo gosudarstvennogo politehnicheskogo instituta ,vol. 1, no8, pp. 514.

10. Vorobyov, V.V., Doludarev, V.N. (2009), "The theoretical analysis of the change in pressure of the detonation products of the mix charge", Visnyk Kremenchutskogo dergavnogo politehnichnogo universytetu imeni Mykhaila Ostrohradskogo. Naukovi pratsi KDPU, vol. 4, part 2, no. 57, pp. 106-110.

11. Каталенец А.І., Черновский М.І., Дмитрієв Е.В. Звіт про науково-дослідну роботу «Геолого-структурний і геолого-технологічне картування залізистих кварцитів скелюватської-Магнетитового родовища (№ 16-304-90)». КГРИ, 1992.

12. Домарев Д.С. «Дослідження впливу речового складу і структурно-текстурних особливостей магнетитових роговиків скелюватської родовища на їх фізико-механічні властивості», Дисертація, Кривий Ріг, КГРИ, 1969 р

13. Задорожний А.Г. Пояснювальна записка до підрахунку запасів роговиків ІV залізистого горизонту скелюватської Магнетитового родовища за 1974 рік. Центральна геологорозвідувальна партія. Кривий Ріг, 1974.

14. Мельников Н.В., Марченко Л.М. Енергія вибуху і конструкція заряду. - М .: Недра, 1964. - 138 с.

15. Кошляков Н.С. Основні диференціальні рівняння математичної фізики. - М .: Фіз-мат-лит, 1962. - 767 с.

16. Протодьяконов М.М., Тедер Р.І., Ільїніц Є.І. і ін. Розподіл показників фізичних властивостей гірських порід. - М .: Недра, 1981. - 188 с.

17. Покровський Г.І. Теоретичні передумови уповільненого відривання. - М .: Углетехіздат, 1958. - 360 с.

18. Кузнєцов В.М. Про плоскій хвилі руйнування. - ФГВ, 1974.- № 1. - С.124-127.

19. Комір В.М. Обережок О.Н., Тутов Н.Г. Дослідження ефективності водонаповнених гранульованих ВВ // Відмови детонації ВВ на відкритих розробках. Київ: Наукова думка, 1972. - С.109-120.
20. Дремін А.Н., Савро С.Д., Трофимов В.С., Шведов К.К. Детонаційні хвилі в конденсованих середовищах. - М.: Наука, 1971. - 162 с.
21. Азаркович А.Е., Тихомиров А.П. Сучасні промислові ВР, їх оцінка та умови раціонального застосування на кар'єрах. - М.: ЦНІІцветінформація, 1969. - 97 с.
22. Демидюк Г.П. Напрямок розвитку гранульованих і водомістких вибухових речовин // Вибухова справа. - М.: Недра, 1974. - Вип.74 / 913. - С.5-136
23. Барон В.Л., Кантор В.Х. Техніка і технологія вибухових робіт в США. - М.: Недра, 1989. - 375 с.
24. Разрушение горных пород энергией взрыва. \Ефремов Э.И. Наукова думка. 1987-264с.
25. Курінний. Фізичні аспекти руйнування гірських порід вибухом. Монографія. Дніпропетровськ НГУ. 2009-158с.
26. Симанович Г.А., Хоменко О.Є., Кононенко М.М. Руйнування гірських порід вибухом: навч. посіб. Національний гірничий університет. Д.: НГУ, 2014. 207 с.
27. Коробійчук В.В., Соколовський В.О., Іськов С.С. Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт: підручник. Житомир: ЖДТУ, 2019. 332 с.
28. Буллер М.Ф. Промислові вибухові речовини. Суми: Вид-во СумДУ, 2009. 226 с.
29. Симанович Г.А., Меліхов В.П. Руйнування гірських порід вибухом: навч. посібник. Дніпропетровськ: НГУ, 2003. 116 с.
30. Бизов В.Ф., Федоренко П.Й. Вибухові роботи. Бібліотека гірничого інженера: підручник. Кривий Ріг: Мінерал, 2001. Т.10. 230 с.

31. Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення. – Затв. Наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України 12.06.2013. – К.: Норматив, 2013. 127 с.

32. Шевцов М.Р., Таранов П.Я., Левіт В.В., Гудзь О.Г. Руйнування гірських порід вибухом: підручник для вузів, 4-е видання перероб. і доп. Донецьк, 2003. 248 с.

33. Кравець В.Г., Коробійчук В.В., Зубченко О.А. Руйнування гірських порід вибухом: навч. посіб. Житомир:ЖДТУ, 2012. 328 с.

34. Коробійчук В.В., Соболевський Р.В., Зубченко О.А. Дослідження шляхів мінімізації витрат при буро-вибуховому способі видобування блоків декоративного каменя. Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. Житомир, 2006. № 4 (39). С. 301–308.

35. Коробійчук В.В., Подчашинський О.Ю., Ремезова О.О., Соболевський Р.В., Зубченко О.А. Дослідження впливу буро-вибухових робіт на якість блочної продукції кар'єру на основі визначення геометричних характеристик її тріщинуватості. Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. Житомир. 2007. № 3 (42). С. 143–150.

36. Sobolevskyi R., Korobiichuk V., Iskov S., Pavliuk I., Kryvoruchko A. Exploring the efficiency of applying fractal analysis for the process of decorative stone quality control. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. Vol. 6/3 (84). P. 32–40.

37. Закусило Р.В., Кравець В.Г., Коробійчук В.В. Засоби ініціювання промислових зарядів вибухових речовин: монографія. Житомир: ЖДТУ, 2011. 212 с.

39. Кравець В.Г., Коробійчук В.В., Бойко В.В. Фізичні процеси прикладної геодинаміки вибуху: монографія. Житомир: ЖДТУ, 2015. 408 с.

40. Sobolevskiy R., Zuiavska N., Korobiichuk V., Tolkach O., Kotenko V. Cluster analysis of fracturing in the deposits of decorative stone for the optimization of the process of quality control of block raw material. *EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 5 / 3 (83). P. 21–29.

41. Korobiichuk I., Juś A., Szewczyk R. Investigation of leznikovskiy granite by ultrasonic methods. *Archives of Mining Sciences*. 2018. T. 63. № 1. P. 75–82.

42. Korobiichuk V., Kravets V., Sobolevskiy R., Han A., Vapnichna V. Weakening of rock strength under the action of cyclic dynamic loads. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. № 2/5 (92). P. 20–25.

43. Кравець В.Г., Гонтарь П.А., Ган А.Л., Коробійчук В.В. Крайові ефекти вибуху зарядів складної форми. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2018. № 2 (82). С. 241–246.