

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
 Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Кафедра геоінженерії

«На правах рукопису»
 УДК 622.235

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

С.М.

Стовпник

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” _____ 2018р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності **184 «Гірництво»**

спеціалізації **«Розробка родовищ та видобування корисних копалин»**

на тему: **Удосконалення вибухового руйнування природно порушених масивів гірських порід на кар'єрах**

Виконала: студентка VI курсу ІЕЕ, групи ОБ-61м

Моденко Вікторія Тарасівна

(підпис)

Науковий керівник **проф., д.т.н., доц. Фролов О. О.**

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент **зав. лаб., проф., д.т.н. Бойко В.В.**

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ – 2018

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація Моденко Вікторії Тарасівни зі спеціальності 184 «Гірництво» спеціалізації «Розробка родовищ та видобування корисних копалин» виконана на тему: «Удосконалення вибухового руйнування природно порушених масивів гірських порід на кар'єрах».

Робота складається з 106 сторінок тексту пояснювальної записки, в тому числі 11 таблиць, 19 рисунків.

Тенденції застосування вибухових робіт на відкритих гірничих роботах, що спостерігаються в останні роки, обумовлюють необхідність постійного вдосконалення техніки і технології відбивання і дроблення гірських порід вибухом. Підвищення ефективності використання енергії вибуху в тріщинуватих і порушених гірських породах має особливе значення. Якщо для монолітних гірських порід розроблено механізм їх руйнування вибухом і методи управління енергією вибуху, то для порушених гірських порід такий механізм руйнування практично відсутній. Правильний вибір параметрів буропідричних робіт (БПР) і витрати вибухових речовин (ВВ) при дробленні порушених гірських порід дозволяє покращити техніко-економічні показники технологічних процесів видобутку корисних копалин. Тому необхідна розробка принципово нових технологічних методів ведення вибухових робіт, особливо в природно порушених гірських породах, використання в яких загальновідомих методів управління енергією вибуху не дає надійних результатів. У зв'язку з цим обрана тема магістерської дисертації є актуальною.

Метою роботи є удосконалення процесу руйнування природно порушених скельних гірських масивів вибухом свердловинних зарядів на кар'єрах.

Основними задачами досліджень є:

1) визначити головні особливості руйнування природно порушених скельних масивів гірських порід на кар'єрах;

2) встановити вплив швидкості поширення поздовжніх хвиль напружень в масиві, як основної характеристики фізичних властивостей порід, на об'єм руйнування гірських масивів порушеної структури вибухом;

3) рекомендувати технічні і технологічні рішення для підвищення техніко-економічної ефективності подрібнення природно порушених гірських масивів вибухом свердловинних зарядів на кар'єрах.

Об'єктом дослідження є процес вибухового руйнування природно порушених скельних гірських масивів на кар'єрах.

Предметом дослідження є природно порушений скельний гірський масив на кар'єрах.

Ключові слова: природно порушений гірський масив, тріщини, вибух, гірські породи, свердловинний заряд, кар'єр.

ABSTRACT

Master's thesis of Modenko Viktoria Tarasovna, specialty 184 Mining, specialization "Development of deposits and mining" was made on the topic: "Improving the explosive destruction of naturally disturbed rock massifs in quarries."

The work consists of 106 pages of explanatory memorandum text, including 11 tables, 19 drawings.

Trends in the use of blasting operations in open mining, observed in recent years, necessitate the continuous improvement of the technology and technology of separation and crushing of rocks by explosion. Increasing the efficiency of using explosion energy in fractured and disturbed rocks is of particular importance. If for monolithic rocks a mechanism for their destruction by explosion and methods for controlling the energy of the explosion is developed, then for fractured rocks such a mechanism of destruction is practically absent. The correct choice of drilling and blasting parameters (BVR) and explosives (explosives) expenses for crushing damaged rock allows improving technical and economic indicators of technological processes of mining. Therefore, it is necessary to develop fundamentally new technological methods for blasting operations, especially in naturally disturbed rocks, the use of well-known methods for controlling the energy of the explosion does not provide reliable results. In this regard, the selected theme of the master's thesis is relevant.

The aim of the work is to improve the process of destruction of naturally disturbed rocky mountain massifs by explosion of borehole charges in quarries.

The main research tasks are:

1) to determine the main features of the destruction of naturally disturbed rock massifs of rocks in quarries;

2) determine the influence of the propagation velocity of longitudinal stress waves in the array, as the main characteristic of the physical properties of rocks, on the volume of destruction of mountain massifs of the damaged structure by explosion;

3) recommend technical and technological solutions for increasing the technical and economic efficiency of crushing naturally disturbed mountain ranges by exploding well boreholes in quarries.

The object of the study is the process of explosive destruction of naturally disturbed rock massifs in quarries.

The subject of the study is a naturally disturbed rock massif in quarries. Key words: the mountain massif, cracks, explosion, rocks, borehole charge, quarry are naturally broken.

Зміст

Вступ	10
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ДОСЛІДЖЕНЬ ВИБУХОВОГО РУЙНУВАННЯ ПРИРОДНО ПОРУШЕНИХ СКЕЛЬНИХ МАСИВІВ ГІРСЬКИХ ПОРІД НА КАР'ЄРАХ	15
1.1. Формування фізичних властивостей порушених гірських порід	15
1.2. Механізм формування фізичних властивостей порушених гірських порід	18
1.3. Аналіз стану досліджень механізму руйнування природно порушених та тріщинуватих скельних гірських масивів вибухом	24
Висновки по розділу 1	31
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ РУЙНУВАННЯ ПРИРОДНО ПОРУШЕНИХ МАСИВІВ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ СВЕРДЛОВИННИХ ЗАРЯДІВ НА КАР'ЄРАХ	33
2.1. Встановлення закономірностей поширення хвиль напружень в природно порушених скельних масивах гірських порід	33
2.2. Механізм руйнування неоднорідних порушених гірських порід	38
2.3. Особливості руйнування природно порушених скельних масивів гірських порід	44
2.4. Дослідження впливу зміни швидкостей поширення хвиль напружень в природно порушеному гірському масиві на ефективність руйнування скельних порід вибухом свердловинного заряду	50
Висновки по розділу 2	58
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ І ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ ЩОДО ВИБУХОВОГО РУЙНУВАННЯ ПРИРОДНО ПОРУШЕНИХ ГІРСЬКИХ МАСИВІВ НА КАР'ЄРАХ	60
3.1. Експериментальні дослідження особливостей руйнування блокових моделей природно порушених скельних гірських масивів	60
3.2. Експериментальні дослідження дії хвиль напружень в порушених та тріщинуватих середовищах	64
3.3. Енергетичні особливості вибухового дроблення природно порушених гірських масивів	68
3.4. Технологічні рішення при дробленні природно порушених гірських порід на кар'єрах	71
Висновки по розділу 3	80

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	83
4.1. Аналіз існуючих небезпечних і шкідливих факторів при проведенні гірничих робіт	83
4.2. Вимоги щодо поводження з вибуховими матеріалами при руйнуванні природо порушених гірських масивів вибухом	83
4.3. Поводження із засобами ініціювання під час підричних робіт	84
4.4. Заходи боротьби з вібрацією, шумом та пилом	84
4.5. Безпека в надзвичайних ситуаціях та ліквідація аварій	87
4.6. Висновки по розділу 4	90
РОЗДІЛ 5. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	91
5.1. Загальні положення щодо розробки стартап-проекту	91
5.2. Опис ідеї проекту технології руйнування природно порушених гірських масивів	92
5.3. Технологічний аудит ідеї проекту технології руйнування природно порушених гірських масивів	95
5.4. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	96
5.5. Розроблення ринкової стратегії проекту	97
Висновки до розділу 5	98
Загальні висновки	99
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	102

ВСТУП

Актуальність роботи. Тенденції застосування вибухових робіт на відкритих гірничих роботах, що спостерігаються в останні роки, обумовлюють необхідність постійного вдосконалення техніки і технології відбивання і дроблення гірських порід вибухом. Підвищення ефективності використання енергії вибуху в тріщинуватих і порушених гірських породах має особливе значення. Якщо для монолітних гірських порід розроблено механізм їх руйнування вибухом і методи управління енергією вибуху, то для порушених гірських порід такий механізм руйнування практично відсутній. Правильний

вибір параметрів буропідливних робіт (БПР) і витрати вибухових речовин (ВВ) при дробленні порушених гірських порід дозволяє покращити техніко-економічні показники технологічних процесів видобутку корисних копалин. Крім того при розробці корисних копалин відкритим способом на великих глибинах спостерігається постійне ускладнення гірничо-геологічних умов і підвищується міцність гірських порід. Тому необхідна розробка принципово нових технологічних методів ведення вибухових робіт, особливо в природно порушених гірських породах, використання в яких загальновідомих методів управління енергією вибуху не дає надійних результатів. У зв'язку з цим обрана тема магістерської дисертації є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Магістерську дисертацію виконано на кафедрі геоінженерії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» відповідно до плану наукових досліджень кафедри геоінженерії і є складовою частиною НІР «Наукові основи ресурсозберігаючих технологій гірництва та геотехнічного будівництва» (№ДР 0115U005398), в якій автор брала участь.

Метою роботи є удосконалення процесу руйнування природно порушених скельних гірських масивів вибухом свердловинних зарядів на кар'єрах.

Основними задачами досліджень є:

- 1) визначити головні особливості руйнування природно порушених скельних масивів гірських порід на кар'єрах;
- 2) встановити вплив швидкості поширення поздовжніх хвиль напружень в масиві, як основної характеристики фізичних властивостей порід, на об'єм руйнування гірських масивів порушеної структури вибухом;
- 3) рекомендувати технічні і технологічні рішення для підвищення техніко-економічної ефективності подрібнення природно порушених гірських масивів вибухом свердловинних зарядів на кар'єрах.

Об'єкт дослідження – процес вибухового руйнування природно порушених скельних гірських масивів на кар'єрах.

Предмет дослідження – природно порушений скельний гірський масив на кар'єрах.

Методи дослідження: комплексний аналіз – для узагальнення та аналізу досягнень теорії і практики з вибухового руйнування природно порушених скельних масивів гірських порід свердловинними зарядами ВР; теоретичних досліджень – для дослідження дії ударних хвиль при переході межі контакту порушених середовищ; експериментальний – для оцінки факторів, що впливають на процес руйнування природно порушених скельних масивів свердловинними зарядами ВР.

Наукова новизна одержаних результатів:

– встановлено, що різке згасання параметрів хвиль напружень в порушених середовищах зі збільшенням кількості неоднорідностей і їх ширини виключає можливість обґрунтованого розрахунку процесу руйнування таких середовищ, виходячи з пружних хвильових процесів, та розробки інженерних методів управління енергією вибуху з урахуванням хвиль напружень;

– визначено головні особливості руйнування природно порушених скельних масивів гірських порід, які визначають ефективність їхнього вибухового дроблення;

– встановлено, що для оцінки об'єму і ступеня руйнування гірських масивів порушеної структури вибухом дуже важливе значення має швидкість поширення хвиль напружень в реальному масиві, як складової в акустичному імпедансі.

Практичне значення одержаних результатів:

– рекомендовано при дробленні природно порушених гірських масивів застосовувати свердловинних зарядів ВР зменшеного діаметру до 150-160 мм, що дозволяє при масі заряду 150-200 кг зберегти масштабність багаторядного короткосповільненого підривання;

– рекомендовано для більш якісного дроблення природно порушених гірських масивів здійснювати їх руйнування вибухом під шаром попередньо підірваної гірничої маси потужністю 5-6 м;

– запропоновано для підвищення якості подрібнення природно порушених гірських порід застосувати П-подібні схеми короткосповільненого підривання з попереднім миттєвим підриванням по контуру блоку та подальшим через 50-60 мс короткосповільненим підриванням зарядів всередині контуру з інтервалами в 10-25 мс.

Апробація результатів магістерської дисертації.

Основні положення та окремі результати роботи доповідалися та обговорювалися на 1-й та 2-й Міжнародних науково-технічної конференціях «Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі» (м. Кривий Ріг, грудень 2016 р., грудень 2017 р.); 11-ї міжнародної науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Перспективи розвитку будівельних технологій». (м. Дніпро, квітень 2017 р.); V Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів» (м. Житомир, квітень 2018 року).

Публікації.

1. Моденко В.Т. Удосконалення вибухового руйнування природно порушених масивів гірських порід на кар'єрах / О. О. Фролов, В.Т. Моденко / Міжнародна науково-технічна інтернет-конференція «Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі», грудень 2016 р./ Державний вищий національний заклад «Криворізький національний університет.– м. Кривий Ріг: ДВНЗ «КНУ», 2016. – С. 14-15.

2. Моденко В.Т. Влияние границы раздела разнопрочностного горного массива на взаимодействие энергетических потоков при взрыве смежных скважинных зарядов /В.Т. Моденко, Л.В. Медяник, А.А. Фролов // Проблемы недропользования: сб. науч. трудов. – Санкт-Петербург: Изд-во Санкт-Петербургского горного университета, – 2017. – Ч. 1. – С. 103-106.

3. Фролов О.О. Встановлення закономірностей руйнування гірських порід вибухом свердловинних зарядів зі сповільненням / О. О. Фролов, В.З. Ващук, В.Т. Моденко, А.В. Куляпіна // Вісник НТУУ "КПІ". Серія "Гірництво": Зб. наук. праць. –2017. – Вип. 32. – С. 44-51.

4. Моденко В.Т. Результати промислових досліджень зі встановлення оптимальних інтервалів сповільнення при підіривання зарядів вибухових речовин / В. Т. Моденко, О.О. Фролов // Перспективи розвитку будівельних технологій [Текст]: матеріали 11-ї міжнародної науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 26–27 квітня 2017 р. – Д.: Національний гірничий університет, 2017. – С. 53-56.

5. Моденко В.Т. Встановлення раціональних інтервалів сповільнення при підіриванні свердловинних зарядів за результатами промислових досліджень / В.В. Долошицький, В.Т. Моденко, О.О. Фролов // Енергетика. Екологія. Людина. Наукові праці НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», ІЕЕ. – Київ: НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», ІЕЕ, 2017. – С. 398-401.

6. Моденко В.Т. Сучасний стан досліджень механізму руйнування тріщинуватих скельних гірських масивів вибухом / О. О. Фролов, В.Т. Моденко / II міжнародна науково-технічна інтернет-конференція «Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі», грудень 2017 р./ Державний вищий національний заклад «Криворізький національний університет.– м. Кривий Ріг: ДВНЗ «КНУ», 2017. – С. 17-18.

7. Моденко В.Т. Особливості руйнування природно порушених гірських порід / О.В. Довганюк, В.Т. Моденко, О. О. Фролов // Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів [Текст]: матеріали V-ї всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, 18–19 квітня 2018 р. – Ж.: Житомирський державний технологічний університет, 2018. – С.

Ключові слова: природно порушений гірський масив, тріщини, вибух, гірські породи, свердловинний заряд, кар'єр.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, 5 розділів, висновків і списку використаних джерел. Загальний обсяг дисертації становить 106 сторінок з 19 рисунками, 11 таблицями, списком літературних джерел з 43 найменувань.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ ДОСЛІДЖЕНЬ ВИБУХОВОГО РУЙНУВАННЯ ПРИРОДНО ПОРУШЕНИХ СКЕЛЬНИХ МАСИВІВ ГІРСЬКИХ ПОРІД НА КАР'ЄРАХ

1.1. Формування фізичних властивостей порушених гірських порід

Як відомо, гірські породи сформувалися в результаті геологічних процесів і залягають в земній корі у вигляді самостійних геологічних тіл. Тому, незважаючи на більш-менш постійний мінералогічний склад, формування порід в результаті тривалих геологічних процесів обумовлює істотну відмінність в структурі, пористості, міцності та інших інженерно-фізичних властивостях навіть однойменних порід.

Крім тривалих геологічних процесів масив гірських порід підпадає під вплив напружень і деформацій, які можуть виникати в навколишньому масиві в результаті процесів руйнування і взаємодії. Масив гірських порід, що залягає в природному або порушеному стані в межах самостійних геологічних тіл, може підлягати впливу навколишнього середовища, результатом якого є утворення тріщин і подальше руйнування.

За своїм генезисом зазвичай виділяють тріщини:

- первинні (ендогенні), що утворилися в момент формування породи, наприклад, як наслідок її охолодження;
- тектонічні, що формуються впродовж всього часу існування гірської породи;
- тріщини екзогенні, що формуються на останньому етапі розвитку гірської породи як наслідок процесів денудації і вивітрювання.

З урахуванням вищезазначеного загальна характеристика скельних масивів гірських порід за тріщинуватістю може бути представлена даними табл. 1.1[1].

Таблиця 1.1 Характеристика гірських порід по тріщинуватості

Характеристика масивів гірських порід	клас тріщин	Характеристика тріщин, їх генезис	Параметри тріщин, м			Характеристика мережі тріщин
			протяжність	розкриття	Відстань між тріщинами	
монолітні	1	дефекти кристалічної решітки	$1 \cdot 10^{-9}$ - $1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-9}$ - $1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$ - $1 \cdot 10^{-9}$	системна

	2	Дефекти міжкристалічного цементу	$1 \cdot 10^{-5}$ - $1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-5}$ - $1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-3}$ - $1 \cdot 10^{-2}$	системна
Тріщинуваті	3	В результаті метаморфізму, тектонічних процесів, вивітрювання, порушення гірських порід при веденні гірських робіт.	$1 \cdot 10^{-2}$ - $1 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^{-2}$ - $1 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-5}$ - $1 \cdot 10^3$	Системна та хаотична
Порушені	4	глибинні тектонічні подвижники земної кори	$1 \cdot 10^2$ - $1 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^{-3}$ - $1 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-1}$ - $1 \cdot 10^{-1}$	полігональна і хаотична
	5	регіональні та тектонічні процеси в земній корі	$1 \cdot 10^3$ - $1 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^3$ - $1 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^{-1}$ - $1 \cdot 10^3$	полігональна

Більшість гірських порід розрізняються лише ступенем тріщинуватості, яка суттєво впливає на технологію ведення гірничих робіт. Масиви гірських порід класифікуються за ступенем тріщинуватості та складом в них окремоостей різних розмірів. Основна класифікаційна ознака ступеня тріщинуватості порід – середня відстань між тріщинами. Ступінь і категорія тріщинуватості порід може бути визначена різними методами: за керном гірських порід, планіметричними і фотопланіметричними вимірами по поверхні масивів, вивченням розмірів окремоостей після вибуху та ін.

На відкритих гірничих роботах отримала найбільше поширення «Тимчасова класифікація гірських порід за ступенем тріщинуватості в масиві» (табл. 1.2), ухвалена Міжвідомчою комісією з вибухової справи [2]. Вона стала основою оцінки вибуховості порід і знайшла самостійне застосування на даному етапі розвитку техніки і технології буропідричних робіт у вирішенні багатьох практичних задач інтенсифікації дроблення порід енергією вибуху.

Таблиця 1.2 Класифікація масивів скельних порід за ступенем тріщинуватості та складом крупних кусків

Категорія тріщинуватості порід	Ступінь тріщинуватості (блочності) масиву	Середня відстань між природними тріщинами всіх систем, м	Питома тріщинуватість, м	Склад (%) в масиві окремостей розміром, мм		
				0-300	300-700	700-1000
I	Надзвичайно тріщинуваті (мілкоблочні)	До 0,1	Більше 10	До 15	Близько до нуля	Немає
II	Сильнотріщинуваті (середньоблочні)	0,1-0,5	2-10	10-70	До 30	До 5
III	Середньотріщинуваті (крупноблочні)	0,5-1,0	1-2	70-100	30-80	5-40
IV	Малотріщинуваті (вельми крупноблочні)	1,0-1,5	1,0-0,65	100	80-100	40-100
V	Практично монолітні (виключно крупноблочні)	Понад 1,5	Менше 0,65	100	100	100

Для порушених гірських порід є характерним прояв нових складових, а саме формування нового порового або міжтріщинуватого простору, заповненого водою, повітрям або твердими включеннями. Залежно від характеру формування нового простору, а також у зв'язку з відсутністю сил зчеплення між частками, фізичні властивості порушених порід відрізняються від монолітних гірських порід.

1.2. Механізм формування фізичних властивостей порушених гірських порід

Основним параметром, що характеризує фізичні властивості гірських порід, є швидкість поширення поздовжніх хвиль напружень в масиві C_p . У зв'язку з цим можна припустити, що свою інформативність ця характеристика середовища зберігає і в порушених гірських породах.

Виходячи з даного припущення, виконано експериментальні дослідження по вивченню характеру зміни швидкості поширення поздовжньої хвиль напружень у непорушених і порушених гірських масивах, для подальшого

визначення акустичної жорсткості гірських порід, їх модуля пружності та щільності [1].

Для дослідження пружних характеристик природних і порушених гірських порід в кар'єрі було пробурено по п'ять свердловин в зруйнованому вибухом масиву глибиною 24 м для кожного типу гірських порід (рис.1.1). Швидкість поздовжніх хвиль заміряли за відомими методиками.

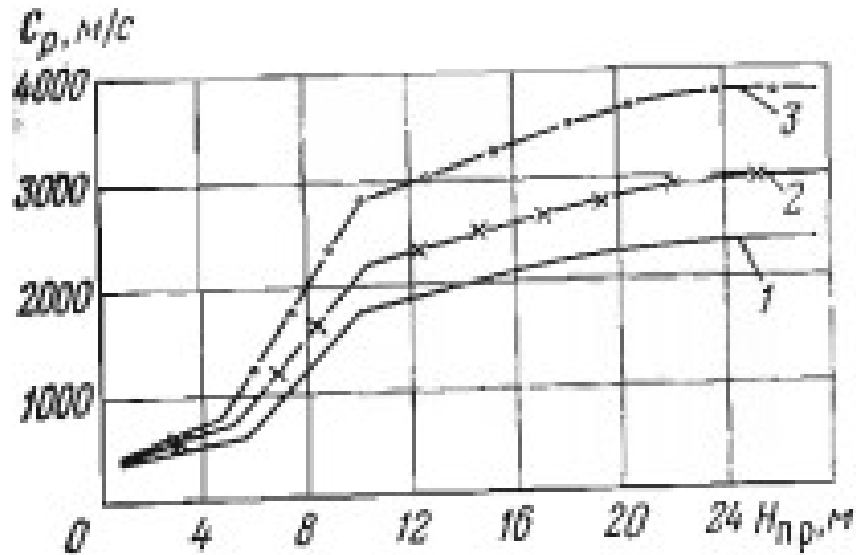


Рис. 1.1. Зміна швидкості поширення поздовжніх хвиль напружень в залежності від глибини свердловини: 1 – діорити; 2 – гранодіорит-порфіри; 3 – вапняки

За результатами досліджень встановлено загальні закономірності зміни фізичних властивостей порушених гірських порід по зруйнованим вибухом рудним і породним блоками. Зокрема, отримана зміна швидкості поздовжніх хвиль в гірському масиві з підвищенням глибини зондування відображає ступінь і характер зміни порушеності масиву по глибині (рис. 1.1).

У верхній частині масиву швидкість поздовжніх хвиль напружень, незалежно від мінералогічного складу і структури гірських порід, має приблизно однакове значення і в межах глибини 0-5 м коливається від 500 до 700 м/с. Це пов'язано з досить інтенсивним дробленням верхньої частини уступів в результаті їх руйнування попередніми вибухами. При збільшенні

глибини вимірювання до 9-12 м швидкість поширення поздовжніх хвиль різко зростає завдяки тому, що в цій середній частині уступу, яка характеризується найбільш інтенсивним дробленням, зростає щільність зруйнованого матеріалу. При глибинах більше 12-14 м швидкість поздовжніх хвиль змінюється значно повільніше, а в нижній частині уступу швидкість поширення поздовжніх хвиль швидко збільшується до значень, близьких до швидкості в незруйнованому масиві.

Таким чином, в зонах активного руйнування ступінь порушеності гірських порід настільки велика, що їхній мінералогічний склад, щільність, пористість та інші фізичні властивості істотно не впливають на швидкість поширення поздовжніх хвиль. Вона майже залишається постійною для усіх розглянутих гірських порід. У цих зонах швидкість поздовжньої хвилі в зруйнованому вибухом середовищі не залежить від швидкості поздовжніх хвиль в непорушеній породі, а є наслідком ущільненості зруйнованої гірничої маси після вибуху. Ущільненість залежить в свою чергу від середнього лінійного розміру шматка підірваної гірничої маси d_e . Зміну швидкості поширення поздовжньої хвилі напружень в цій зоні рекомендовано визначати за формулою

$$C_p = 500(1 - 3d_e), \quad (1.1)$$

Однак зі збільшенням глибини і проявленням природної мережі тріщин вплив попередніх вибухів на структурні, а отже, і пружні властивості гірського масиву різко знижується. Зокрема, тріщини, які частково розкрилися у верхній частині уступу під дією вибуху і тим самим зумовили формування тут порушеного масиву, з глибиною знову зникаються. Завдяки цьому масив знову набуває свою природну структуру, характерну саме для даних гірських порід, а отже, і початкові пружнопластичні і міцнісні властивості. Характер відновлення цих первинних властивостей гірського масиву є наслідком того збурення, яке викликало порушення середовища під час вибуху.

В якості критерія оцінки такого збурення найдоцільніше прийняти приведену величину заряду вибухової речовини Q/R або приведений радіус дії заряду R/Q , які в такому вигляді досить точно відображають загальний характер подібності явищ вибуху в середовищі. У цьому випадку R – радіус дії вибуху, м, а Q – маса заряду, кг. Результати досліджень швидкості звуку при формуванні порушених масивів гірських порід на відкритих гірничих роботах дозволили встановити, що за характером порушеності первинних властивостей гірських порід під впливом попередніх вибухів може бути виділено принаймні чотири зони (рис. 1.2) [1]:

I – зона дроблення, що характеризується повним порушенням первинних властивостей масиву, відсутністю зв'язку між роздробленими шматками порід і незалежністю швидкості звуку від швидкості звуку у вихідній середовищі; швидкість звуку в цій зоні становить 500-700 м/с;

II – зона порушення, що характеризується лише частковим руйнуванням порід і залежним від первинних властивостей масиву зміною фізичних властивостей порушеного масиву. У цій зоні величина зчеплення між природними окремостями ослаблена внаслідок розкриття мікро- і макротріщин, але первинні властивості масиву вже частково відновлено, верхня межа швидкості звуку в цьому середовищі наближається до нижньої межі в непорушеному середовищі;

III – зона струсів, що характеризується тільки незначним розкриттям природних тріщин, а внаслідок цього – таким же незначним порушенням первинних властивостей середовища. Верхня межа швидкості звуку в цій зоні дорівнює швидкості звуку в непорушеному масиві, що володіє первинними властивостями в їх природному стані;

IV – зона природного стану масиву із збереженням за всіма показниками його первинних властивостей.

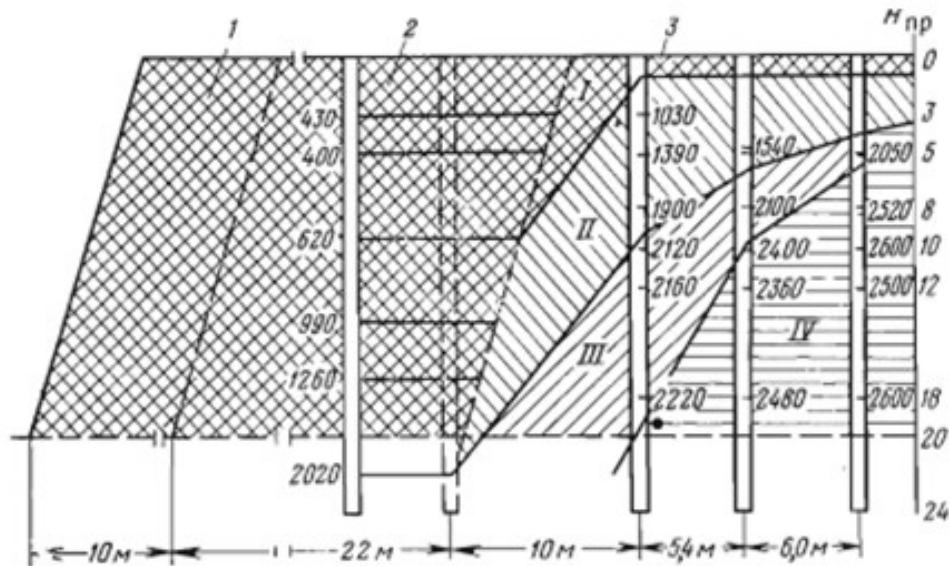


Рис. 1.2. Характерні зони порушення гірських порід при проведенні вибуху на відкритих гірничих роботах: 1 – буфер; 2 – зруйнована гірнична маса; 3 – цілик гірського масиву

Прояв трьох перших зазначених зон є функцією первинних властивостей гірських порід і приведеної відстані, на якій розглядається їхнє формування.

Аналогічні результати досліджень отримані при вивченні характеру формування фізичних властивостей порушених масивів гірських порід на підземних гірничих роботах. Для цього експериментальні дослідження проведені за наступною методикою. В бортах гірничопідготовчих і гірничокапітальних виробок, в породах очисних камер і бортах гідротехнічних тунелів бурили паралельні шпури на глибину 8-10 м на відстані 1,0-1,2 м один від іншого. В одному із шпурів підривали невеликий заряд ВР (50-100 г), а в інших на різних глибинах і різних відстанях від місця вибуху закладали сейсмодатчики для фіксації коливань на осциллографі. Такі дослідження проведені в широкому діапазоні змін гірських порід і гірничотехнічних умов.

В результаті встановлено, що формування фізичних властивостей порушених гірських порід характеризується наступними зонами (рис.1.3):

I – зона дроблення, що характеризується повним порушенням первинних властивостей гірських порід і незалежністю швидкості звуку від швидкості

звуку у вихідній середовищі, оскільки швидкість звуку в цій зоні становила 500-700 м/с. Однак на відміну від відкритих гірничих робіт, де радіус цієї зони становить 5-6 м, на підземних роботах зона позаконтурного дроблення становить близько 0,5-0,6 м, рідко досягаючи 1,2 м залежно від величини заряду;

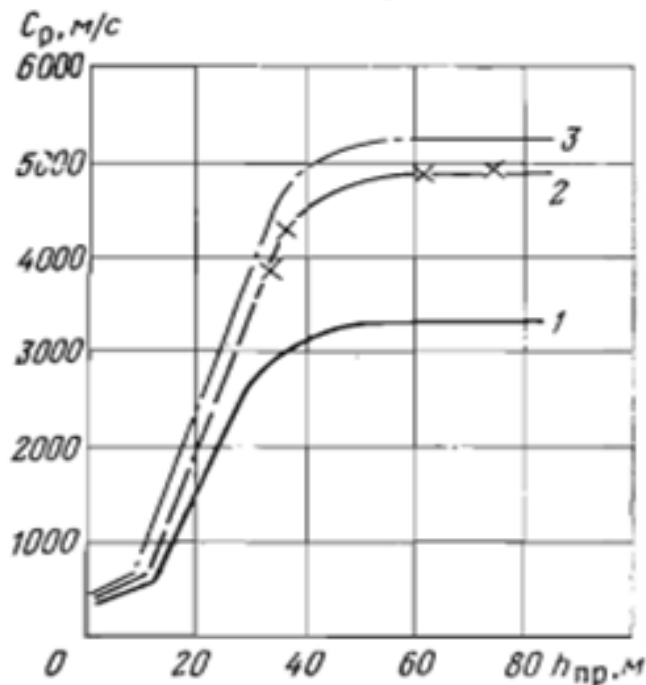


Рис. 1.3. Зміна швидкості поздовжньої хвилі в залежності від глибини проникання а поземних гірничих роботах: 1 – вапняки; 2 – глинисті сланці; 3 – пісковики

II – зона порушень, в якій фізичні властивості порушених порід залежать від первинних властивостей, часткове розкриття мікро-, макротріщин в цій зоні зумовило зміну первинних властивостей гірських порід, але вони швидко відновлюються в міру збільшення глибини зондування;

III – зона струсів, де частково порушені первинні властивості гірських порід і де верхня межа зміни швидкості звуку досягає швидкості звуку в непорушеному масиві;

IV – зона природного стану масиву.

Аналіз параметрів зазначених зон показує, що в залежності від початкового стану масиву, що характеризується в його природному порушеному стані швидкістю звуку, прояв даних зон може коливатися від 7-8 до 0,5-1 м (рис. 1.4).

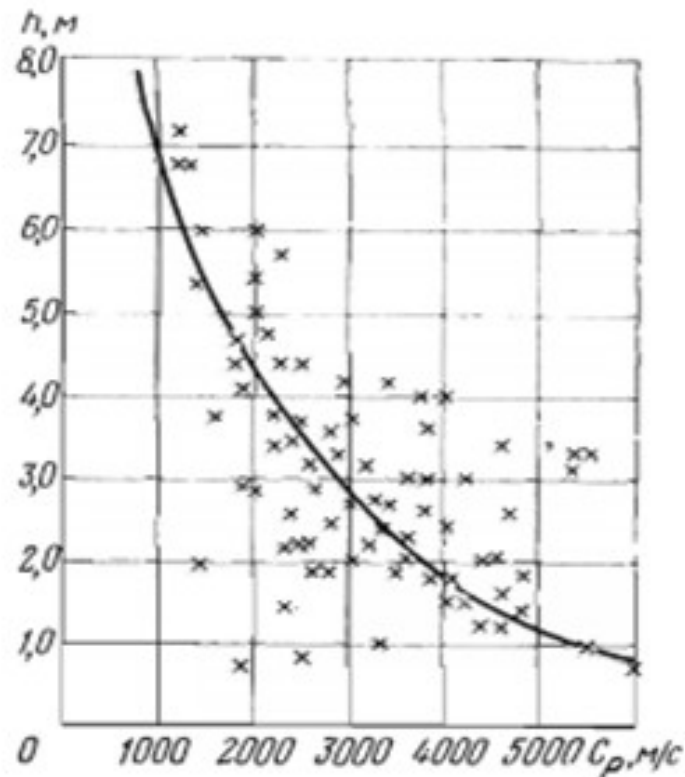


Рис. 1.4. Зміна глибини порушення первинних властивостей гірських порід в залежності від вихідної величини швидкості поздовжньої хвилі в масиві

Мінімальний обсяг або радіус таких зон (0,5-1,2 м) спостерігається в міцних гірських породах, швидкість звуку в яких становить 5000-7000 м/с, в породах середньої міцності радіус таких зон підвищується до 4-4,5 м і в слабких породах радіус зон може досягати 8 м [1]. У цьому явищі відображується сутність механізму формування фізичних властивостей порушених масивів гірських порід: залежність від первинних властивостей гірських порід, більш інтенсивний прояв у відносно слабких породах, більш інтенсивне розкриття природних мікро- і макротріщин в слабших породах.

Загальний аналіз результатів досліджень на підземних і відкритих гірничих роботах дозволив виявити загальний для них механізм формування фізичних властивостей природно порушених гірських порід. При цьому на відміну від відкритих гірничих робіт, де в певному об'ємі спостерігається формування зони знижених властивостей внаслідок підвищеного розвантаження середовища в зоні відколу, такої зони розвантаження на підземних гірничих роботах не відзначається, де вибух протікає в умовах практично безмежного масиву і виключаються умови взаємодії хвиль стиснення і розтягування. Тому при вивченні загального механізму формування фізичних властивостей порушених гірських порід прийнято монотонний характер їх зміни залежно від приведеної відстані.

1.3. Аналіз стану досліджень механізму руйнування природно порушених та тріщинуватих скельних гірських масивів вибухом

Вивченню механізму руйнування природно порушених та тріщинуватих порід присвячена значна кількість досліджень, в яких зазначається, що тріщинуватість гірських порід суттєво впливає на процес і результати їх вибухового дроблення. При цьому руйнування таких середовищ обумовлено дією хвиль напружень, що розповсюджуються в середовищі, і поршневою дією продуктів детонації.

Особливості дії вибуху в природно порушених та тріщинуватих гірських породах полягають у тому, що енергія хвилі напруження, що проходить по масиву з тріщинами, зменшується за рахунок відбиття від їх поверхонь. Разом з тим тиск продуктів детонації, що проникають в існуючі тріщини, швидко падає, що скорочує тривалість їх активної взаємодії на породу і, отже, погіршує її дроблення [3]. Таким чином, наявність тріщин в гірському масиві суттєво послаблює вплив вибуху на скельну породу.

Зокрема, в роботі [4] В.М. Мосинець теоретичним шляхом встановив, що якщо ширина тріщини дорівнює 1 мм, то на відстані 100 радіусів заряду напруження в масиві майже в тисячу разів менше порівняно з напруженням на кордоні заряд – середовище.

О.М. Ханукаєв [5] довів, що тріщина шириною 2 мм, яка заповнена повітрям, знижує інтенсивність хвиль напружень в 25 разів порівняно з монолітним середовищем. При заповненні тріщини водою напруження складають 0,85-0,9 величини напружень в монолітному середовищі і 0,7-0,75 – при ширині тріщини порядку 20 мкм. Даними дослідженнями доведено, що за наявності в тріщинах води хвиля поширюється без істотних втрат енергії. При цьому вказується, що мікротріщини і площини спайності легко долаються хвилями напружень при підриванні зарядів великої маси і важче – малою. Зі збільшенням радіусу заряду і зменшенням відстані від місця вибуху до тріщини інтенсивність і тривалість взаємодії хвилі на тріщину збільшується, в результаті чого величина зміщень зростає. У цьому випадку хвиля поширюється по масиву без великих втрат.

Експериментальні дослідження на тріщинуватих моделях, що проведені Л.І. Бароном [6], а пізніше Д.Р. Каплуновим [7], підтверджують результати теоретичних досліджень. Моделі були виготовлені з цементно-піщаної суміші, мали різну частоту і напрям тріщин, які розташовувалися строго паралельно й на однаковій відстані одна від одної, що майже не зустрічається в природі. Розмір кондиційного шматка у всіх випадках перевищував відстань між тріщинами. За результатами проведених досліджень встановлено, що в залежності від розміру кондиційного шматка оцінка впливу ступеня тріщинуватості порід на результат дроблення під час вибуху може бути як позитивною, так і негативною.

Дослідженнями на тріщинуватих моделях правильної форми [8] встановлено, що найбільша зона інтенсивних руйнувань розташована за напрямками, нормальними до площини контакту з окремістю, в якій розміщений заряд ВР.

У роботі [9] відзначається, що в масиві, розділеному тріщинами на окремість, дія вибуху локалізується тією окремістю, через яку проходить заряд ВР. Отже, при руйнуванні вибухом масиву тріщинуватих гірських порід дробленню піддаються тільки ті його окремісті, розміри яких дорівнюють або перевищують половину відстані між зарядами.

Значну роль у руйнуванні природно порушених і тріщинуватих порід також відводиться зіткненню окремістей в масиві [10-13]. При цьому ефект удару залежить від маси окремістей, інтенсивності впливу, зумовленого масою заряду, його діаметром і типом ВР, а також від властивостей матеріалу, заповнюючого тріщини [14].

Автор роботи [13] вважає, що енергія вибуху в тріщинуватій породі передається послідовним зіткнення окремістей. При цьому енергія пружних деформацій, накопичена окремістю в результаті проходження хвилі напруження і тиску продуктів детонації, перетворюється в кінетичну енергію руху, яка носить характер удару. При зіткненні тріщинуватий масив додатково руйнується.

А.А. Чернігівський [15] доводить, що в тріщинуватій породі хвиля стиснення швидко згасає і механізм руйнування породи, основним чинником якого є ударний зсув, перестає діяти, що підтверджують також результати, наведені в роботі [16]. Відзначено, що в цьому випадку по тріщинуватій породі поширюється хвиля ущільнення, за якою всі тріщини замикаються. При зіткненні цієї рухомої маси породи з окремими шматками, розташованими попереду фронту хвилі, відбувається непружний удар і їх руйнування.

Дослідники в роботі [17] зазначають, що в гірській породі з розвиненою системою тріщин замість хвилі стиснення виникає хвиля ущільнення, при проходженні якої розкриті тріщини замикаються, а пухка маса в тріщинах ущільнюється. При зіткненні цієї ущільненої маси з окремими шматками, розташованими попереду фронту ущільнення, відбувається непружний удар, який і руйнує шматок. На основі балансу енергії (робота, що витрачається на створення нових вільних поверхонь у шматку, дорівнює енергії, втраченої при

непружньому ударі) отримані рівняння, що дозволяють визначити розміри максимального шматка при дробленні окремої для циліндричного (свердловинного) і сферичного (зосередженого) зарядів.

При дослідженні дроблення тріщинуватого масиву встановлено, що через 10-12 мс після вибуху відбувається прорив газів по природних тріщинах, внаслідок чого знижується тиск продуктів детонації [18]. Підкреслюється, що при оцінці якості дроблення тріщинуватих порід необхідно враховувати не тільки величину вибухового імпульсу, але й фізико-механічні властивості гірських порід.

Деякі вчені вважають, що найважливішим питанням при вивченні механізму руйнування тріщинуватих середовищ є дослідження особливостей формування та розповсюдження поля напружень, а також розрахунок величини критичної ширини тріщин між блоками, при якій передається енергія хвиль напружень [19]. Авторами прийнята реальна оцінка можливих випадків передачі енергії між блоками: ширина тріщин між суміжними блоками Δ дорівнює, менше або більше критичної ширини $\Delta_{кр}$. У перших двох випадках ($\Delta < \Delta_{кр}$, $\Delta = \Delta_{кр}$) енергія хвиль напружень може передаватися за рахунок деформації блоків і змикання тріщин. При цьому має місце хвильовий механізм передачі енергії напружень, яка залежно від величини може бути достатньою для руйнування суміжного блоку або передаватися, не руйнуючи його. У третьому випадку ($\Delta > \Delta_{кр}$) передача енергії хвилі напруження може бути здійснена за рахунок проходження її через матеріал заповнювача тріщин, а також відколу і зіткнення шматків. При цьому може мати місце хвильовий механізм передачі енергії за рахунок її генерування в шматку, що відколовся.

Авторами отримано формули для визначення критичної ширини тріщин між суміжними блоками:

при $\Delta \leq \Delta_{кр}$, коли не відбувається відриву (однорідний напружений стан):

$$\Delta_{кр} = \frac{\sigma_0 r_0 \left[1 - \left(\frac{r_0}{l} \right)^{m-1} \right]}{E(m-1)}; \quad (1.1)$$

при $\Delta > \Delta_{кр}$ і руйнуванні шматків шляхом відриву:

$$\Delta_{кр} = \left[\frac{\sigma_0}{\sigma_{кр}} \left(\frac{r_0}{l} \right)^{m_1} \frac{4\rho_2 c_2 \rho_1 c_1}{\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2} \right]^{m_2}; \quad (1.2)$$

при $\Delta > \Delta_{кр}$ та утворенні відколу:

$$\Delta_{кр} = \frac{\sigma_{кр}^2 c [a + b(r - l)]}{2ER_0} \left(\frac{r + l}{r_0} \right)^m, \quad (1.3)$$

де σ_0 – початкове напруження, яке залежить від властивостей ВР і середовища; r_0 – початковий радіус зарядної порожнини; l – відстань від заряду до кінця блоку; m , m_1 і m_2 – коефіцієнти загасання хвилі в середовищах (породний блок і заповнювач); ρ_1 і ρ_2 , c_1 і c_2 – відповідно щільності середовища і швидкості поздовжньої хвилі в блоці і заповнювачі; a – коефіцієнт, що залежить від властивостей ВР, умов підривання і властивостей гірських порід (акустичної жорсткості), $a=50$ в породах при $\rho c=10^7$ (кг/м³) м/с і більше; $a=75$ при $\rho c=1,5 \cdot 10^6$ до $\rho c=10^7$ (кг/м³) м/с; b – поправочний коефіцієнт, який враховує збільшення тривалості допоміжної фази в міру віддалення хвилі від центру вибуху (для монолітних порід з великою акустичною жорсткістю $b=0,5$; для тріщинуватих $b=0,6$).

Аналіз отриманих формул показав, що $\Delta_{кр}$ залежить головним чином від початкового напруження, створюваного тиском у зарядній камері, і акустичних властивостей породи і заповнювача тріщин.

На підставі вищенаведених співвідношень встановлено, що, визначивши критичну ширину тріщин за умовою передачі енергії хвилі напружень, в конкретних умовах можна вибрати раціональний метод управління енергією вибуху з метою підвищення інтенсивності дроблення порід блочної будови. Як такі рекомендовані наступні: вибір параметрів сітки з урахуванням розмірів і геометрії блоків у плані і розосередження зарядів по висоті уступу, зміна

коефіцієнта зближення зарядів і питомої концентрації енергії в одиниці об'єму, застосування хвильових схем черговості підривання свердловинних зарядів, здійснення підривання на неприбрану гірничу масу та ін.

Водночас, автори робіт відзначають [20, 21], що важливого значення набувають дослідження з визначення розмірів зони регульованого дроблення під час вибуху заряду в тріщинуватому масиві з використанням статистичних моделей середовища. Величина розкриття тріщин в породах, що розробляються на кар'єрах, досягає 5-20 мм [22], а їх число між зарядами діаметром 200-320 мм зазвичай більше двох. Таке розкриття забезпечує екранування руйнуючих хвиль напружень поблизу заряду [31]. У цьому зв'язку дроблення найбільш віддалених окремоостей відбувається за рахунок зіткнення, яке забезпечується квазістатичним тиском продуктів детонації [10, 22, 23].

Відстань між свердловинами при виконанні буропідривних робіт на кар'єрах повинна вибратися відповідно до величини радіуса зони регульованого дроблення, в межах якої розмір шматка не перевищує кондиційного розміру, визначеного за формулою [20]:

$$R_P = 0,2D\rho_B c_P \frac{d_z}{\sigma_P(1-\nu)} \sqrt{\frac{d_K \xi}{\delta} + \frac{d_e}{2}}, \quad (1.4)$$

де D – швидкість детонації; ρ_B і d_z – щільність і діаметр заряду ВР; ν – коефіцієнт Пуассона; c_P – швидкість поздовжньої хвилі; σ_P – розтягуючі напруження, що виникають в окремостях; d_K – діаметр шматків, на які дробиться окремість; ξ – безрозмірна площа контактів між окремостями; δ – максимальне розкриття тріщин; d_e – діаметр природної окремості.

Відстань між свердловинами і зарядами, яка забезпечує в конкретних умовах мінімальний вихід негабариту, дорівнює $10 d_z$. На підставі аналізу залежності (1.4) сформульовані наступні напрямки збільшення зони регульованого дроблення при підриванні масивів з розміром окремоостей до 2 м зарядами ВР діаметром більше 200 мм: підвищення концентрації енергії і

збільшення швидкості детонації до певної межі; збільшення діаметра свердловини і кондиційного розміру шматків; зменшення величини розкриття тріщин у масиві.

Із закордонних дослідників слід відзначити М.А. Кука, який стверджує, що характер руйнування та переміщення природно порушених гірських порід суттєво залежить від параметрів природної тріщинуватості масиву, особливо від ступеня їх розкриття і орієнтування щодо вибухових свердловин.

Таким чином, виконані останнім часом аналітичні та експериментальні дослідження процесу вибухового руйнування природно порушених і тріщинуватих масивів скельних гірських порід показали, що управління дією вибуху з метою досягнення заданого ступеня дроблення при мінімальних витратах енергії можливе лише на основі детального вивчення механізму руйнування. Реальний скельний гірський масив в області дії вибуху свердловинних зарядів промислових ВР має властивості, які притаманні усім можливим моделям суцільного середовища, – від ідеальної рідини до пружного тіла, в залежності від відстані до місця вибуху. Задача ускладнюється наявністю неоднорідностей в масиві, а також розвитком безлічі розривів, зсувів, тріщин в зоні вибуху, умовами взаємодії груп зарядів, що зумовлює ступінь прояву того або іншого чинника силової дії. У цьому випадку найскладніша модель середовища може розраховувати на досить наближений опис усієї сукупності явищ руйнування.

Проблема оптимізації процесів дроблення або отримання необхідного ступеня кусковатості гірських порід при заданих параметрах впливу представляє собою, по суті, складну задачу. Тому на сучасному етапі досліджень рішення таких задач, іноді тільки якісного характеру, має важливе наукове і практичне значення.

Вищенаведений аналіз літературних джерел свідчить про те, що ефективність вибухового руйнування природно порушених і тріщинуватих скельних масивів залежить насамперед від міцнісних і структурних характеристик гірських порід (параметрів тріщинуватості, просторового

розміщення межі поділу порід різної міцності) та особливостей формування, взаємодії та поширення хвиль напружень в скельному середовищі. Тому подальші дослідження повинні бути спрямовані на встановлення закономірностей впливу вибухів свердловинних зарядів ВР на процеси руйнування тріщинуватих гірських масивів.

Висновки до розділу 1

1. Для природно порушених скельних масивів гірських порід є характерним формування нового порового або міжтріщинуватого простору, заповненого водою, повітрям або твердими включеннями. Залежно від характеру формування нового простору, а також у зв'язку з відсутністю сил зчеплення між частками, фізичні властивості порушених порід суттєво відрізняються від монолітних гірських порід.

2. Встановлено, що основним параметром, який характеризує фізичні властивості гірських порід, є швидкість поширення поздовжніх хвиль напружень в масиві. У зв'язку з цим можна припустити, що свою інформативність ця характеристика середовища зберігає і в порушених гірських породах.

3. Узагальнений аналіз результатів досліджень на гірничих роботах дозволив виявити загальний для них механізм формування фізичних властивостей природно порушених гірських порід. При цьому на відміну від відкритих гірничих робіт, де в певному об'ємі спостерігається формування зони знижених властивостей внаслідок підвищеного розвантаження середовища в зоні відколу, такої зони розвантаження на підземних гірничих роботах не відзначається, де вибух протікає в умовах практично безмежного масиву і виключаються умови взаємодії хвиль стиснення і розтягування.

4. Аналіз літературних джерел показав, що руйнування природно порушених і тріщинуватих середовищ обумовлено сумісною дією хвиль

напружень, що розповсюджуються в середовищі, і поршневою дією продуктів детонації. Встановлено, що ефективність вибухового руйнування природно порушених і тріщинуватих скельних масивів залежить насамперед від міцнісних і структурних характеристик гірських порід (параметрів тріщинуватості, просторового розміщення межі поділу порід різної міцності) та особливостей формування, взаємодії та поширення хвиль напружень в скельному середовищі.

5. Отримані результати дозволяють здійснити більш обґрунтований підхід до прийняття технологічних рішень при вибуховому дробленні природно порушених скельних гірських масивів.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ РУЙНУВАННЯ ПРИРОДНО ПОРУШЕНИХ МАСИВІВ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ СВЕРДЛОВИННИХ ЗАРЯДІВ НА КАР'ЄРАХ

2.1. Встановлення закономірностей поширення хвиль напружень в природно порушених скельних масивах гірських порід

Аналіз результатів вибухових робіт показує, що при руйнуванні порід, розсічених густою мережею великих тріщин, основна частина масиву, за винятком тієї його частини, яка примикає до заряду і розташована до першої від заряду тріщини, розпадається на природні окремоті. Ступінь корисного

використання енергії хвиль напружень при цьому залежить від ширини тріщини, а також характеристики її наповнювача.

Як вже зазначалось, що при ширині тріщини 2 мм і її повітряному наповнювачі напруження на фронті хвилі знижуються по відношенню до монолітного середовища у 25 разів [24]. При заповненні ж такої тріщини водою напруження складають 0,85-0,9 від напружень, одержуваних на даній відстані в монолітних середовищах, і 0,7-0,75 при ширині тріщин близько 20 мм. При наявності в тріщинах води, дослідженнями доведено, що хвиля поширюється без істотних втрат, особливо при наявності тріщин невеликої ширини. При цьому зазначається, що мікротріщини і площини спайності легко долаються хвилями при підриванні великих зарядів і важче – при підриванні малих зарядів. Зі збільшенням радіуса заряду і зменшенням відстані від місця вибуху до тріщини інтенсивність і тривалість впливу хвилі на щілину збільшуються, в результаті чого величина зсувів зростає. В цьому випадку хвиля поширюється по масиву без великих втрат. Незважаючи на це, дроблення порушеного масиву відрізняється від руйнування монолітного масиву.

Таким чином, найбільш істотний вплив на руйнування природно порушених гірських порід надає напрямок тріщин та інших неоднорідностей, їх ширина і довжина, характер заповнювача, довжина хвилі, що збуджується в середовищі при вибуху заряду вибухової речовини (ВР), і тривалість її впливу на порушені гірські породи, а також початкове напруження, створюване в середовищі під час вибуху [25, 26]. Вивчення цих факторів зумовлює отримання закономірностей руйнування природно порушених гірських порід.

Середнє початкове напруження в середовищі залежить від співвідношення акустичних імпедансів середовища і застосовуваного ВР та визначається [1]

$$\rho_c = \frac{\rho_{\text{ВР}} C_{\text{ВР}}^2 \rho_c C_p}{4 \cdot 10^5 g \rho_{\text{ВР}} C_{\text{ВР}} \rho_c C_p}, \text{ МПа}, \quad (2.1)$$

де $\rho_{\text{ВР}}$ – щільність свердловинного заряду ВР, кг/м³; $C_{\text{ВР}}$ – швидкість детонації ВР, м/с; $\rho_{\text{с}}$ – щільність гірського масиву, кг/м³; $C_{\text{р}}$ – швидкість поширення повздовжньої хвилі напружень в монолітному гірському масиві, м/с; g – прискорення вільного падіння, м/с².

Виникаюче на контакті заряд-середовище напруження поширюється в різні точки середовища відповідно до загальних законів загасання хвиль до появи на шляху його руху тріщини або іншої межі розділу середовищ.

На межі розділу середовищ напруження, відповідно до загальних законів відображення і заломлення хвиль [27], може бути визначено за формулою

$$\sigma_0 = \frac{\rho_{\text{ВР}} C_{\text{ВР}}^2 \rho_{\text{с}} C_{\text{р}}}{4 \cdot 10^5 g \rho_{\text{ВР}} C_{\text{ВР}} \rho_{\text{с}} C_{\text{р}}} \frac{l_1}{r_0} \mu_{\text{с}}, \text{ МПа}, \quad (2.2)$$

де l_1 – відстань від осі заряду ВР до першої тріщини, м; r_0 – радіус заряду, м; $\mu_{\text{с}}$ – коефіцієнт Пуассона монолітного середовища.

Напруження в наповнювачі тріщини на контакті з монолітною частиною середовища з урахуванням умов відображення і заломлення хвиль буде становити

$$\sigma_{\text{сн}} = \frac{\rho_{\text{ВР}} C_{\text{ВР}}^2 \rho_{\text{с}} C_{\text{р}}}{4 \cdot 10^5 g \rho_{\text{ВР}} C_{\text{ВР}} \rho_{\text{с}} C_{\text{р}}} \frac{l_1}{r_0} \mu_{\text{с}} \frac{2\rho_{\text{н}} C_{\text{н}}}{\rho_{\text{н}} C_{\text{н}} \rho_{\text{с}} C_{\text{р}}}, \quad (2.3)$$

де $\rho_{\text{н}}$ – щільність наповнювача тріщини, кг/м³; $C_{\text{р}}$ – швидкість поширення повздовжньої хвилі напружень в наповнювачі, м/с.

При подальшому поширенні хвилі в наповнювачі тріщини, пружні властивості якого відомі, відбувається звичайне загасання напружень до моменту підходу хвиль до протилежної поверхні тріщини:

$$\sigma_{1н} = \frac{\rho_{BP} C_{BP}^2 \rho_c C_p \rho_n C_n}{2 \cdot 10^5 g \rho_{BP} C_{BP} \rho_c C_p \rho_n C_n} \frac{l_1}{r_o}^{2 \frac{\mu_c}{1 \mu_c}} \cdot 1 \frac{h_1}{r_o}^{2 \frac{\mu_n}{1 \mu_n}}, \quad (2.4)$$

де h_1 – ширина тріщини, м; μ_n – коефіцієнт Пуассона матеріалу, що заповнює тріщину.

На межі контакту наповнювач тріщини-монолітне середовище відбувається нове перетворення хвилі напружень, завдяки якому напруження в монолітній породі при вході в нього хвилі може бути становити

$$\sigma_{1c} = \frac{2 \rho_c C_p \sigma_{1н}}{\rho_n C_n \rho_c C_p}, \text{ МПа}, \quad (2.5)$$

Далі напруження поширюються по звичайному закону загасання

$$\sigma_{2c} = \frac{\sigma_{1c}}{\frac{l_2}{r_o}^{2 \frac{\mu_c}{1 \mu_c}}}, \text{ МПа}. \quad (2.6)$$

Після нового перетворення хвилі на контакт з тріщиною або інший неоднорідністю напруження визначається як

$$\sigma_{2н} = \frac{\sigma_{2c} 2 \rho_n C_n}{\rho_n C_n \rho_c C_p}, \text{ МПа}. \quad (2.7)$$

Після поширення хвилі по тріщині напруження буде становити

$$(2.8)$$

$$\sigma_{3н} = \frac{\sigma_{2н}}{1 - \frac{h_2}{r_o} \frac{2 \mu_n}{1 + \mu_n}}, \text{ МПа.}$$

Після повторного перетворення на контакті з монолітним середовищем напруження визначиться за формулою

$$\sigma_{3с} = \frac{\sigma_{2н} 2\rho_c C_c}{\rho_n C_n + \rho_c C_p}, \text{ МПа.} \quad (2.9)$$

При подальшому поширенні хвилі по монолітному гірському масиву напруження

$$\sigma_{4с} = \frac{\sigma_{3с}}{1 - \frac{l_3}{r_o} \frac{2 \mu_c}{1 + \mu_c}}, \text{ МПа.} \quad (2.10)$$

Далі процес перетворення хвилі напружень продовжується аналогічно попередній послідовності.

Аналіз залежностей показує, що в звичайних умовах поширення хвиль напруження на межі розділу середовища (коефіцієнт Пуассона 0,33), обмеженого $100r_o$, розсіченого мікротріщинами шириною близько 1 мм, знижується по відношенню до початкового напруження, що діє на межі розділу заряд-середовище приблизно в 100 разів (рис. 2.1).

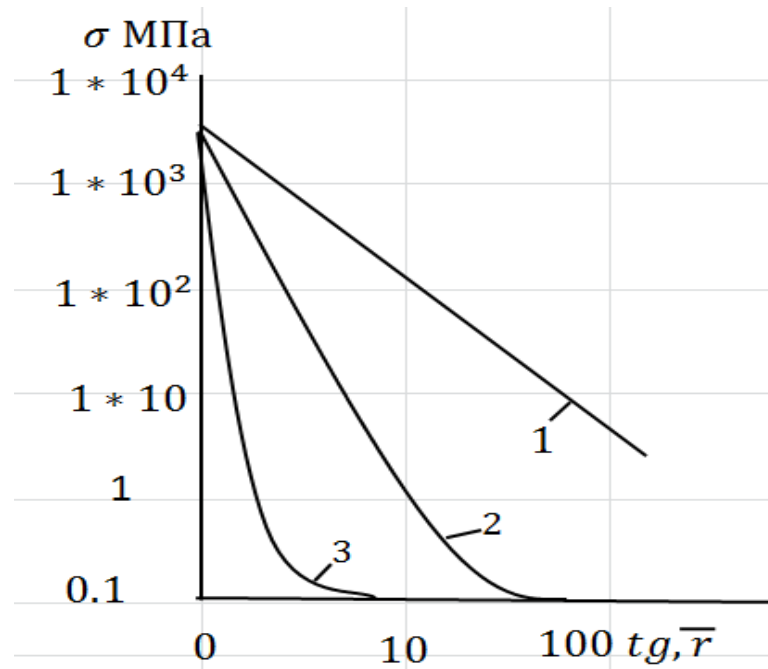


Рис. 2.1. Зміна напружень на фронті хвиль в залежності від відносного радіусу дії вибуху: 1 – в монолітному середовищі; 2 – в середньо тріщинуватих гірських масивах; 3 – в сильно тріщинуватих порушених гірських масивах

При розгляді ж середовищ з різко порушеною структурою тріщинами шириною більше 2 мм напруження на цій ж відстані різко знижується. В залежності від динамічної стисливості матеріалу, що заповнює проміжки між монолітними окремостями, і динамічної стисливості самих монолітів зниження досягає величини, в 1000 разів меншою, ніж напруження, що діють в монолітній середовищі. Зі збільшенням кількості тріщин напруження знижується в 10^7 - 10^{13} разів, що виключає будь-яку можливість руйнування при повторному подрібненні гірських порід за рахунок дії хвиль напружень. При цьому ширина тріщин або інших неоднорідностей, як і їхня кількість, знижують параметри хвиль напружень непропорційно: при збільшенні ширини тріщини в 10 разів напруження знижується в сотні разів.

Таким чином, різке згасання параметрів хвиль напружень в сильнотріщинуватих неоднорідних порушених середовищах зі збільшенням кількості таких неоднорідностей і їх ширини виключає можливість

обґрунтованого розрахунку процесу руйнування таких середовищ, виходячи з пружних хвильових процесів, так само як і розробку інженерних методів управління енергією вибуху з урахуванням параметрів хвиль. Однак це не виключає необхідності врахування хвиль напружень взагалі [28].

2.2. Механізм руйнування неоднорідних порушених гірських порід

Загальновідомо, що під час вибуху заряду ВР навколо зарядної камери починає поширюватися потужна хвиля стиснення, яка обумовлює виникнення в гірському масиві енергії інших деформацій. При появі на шляху поширення цієї хвилі тріщин або інших акустичних неоднорідностей енергія пружних деформацій переходить в більшості в кінетичну енергію руху. Такий рух викликає зіткнення окремоостей, в результаті якого кінетична енергія руху знову перетворюється в енергію пружних деформацій, що має вести до руйнування середовища не тільки по її природним окремостям, але і за новими тріщинами, завдяки подальшому переходу енергії пружних деформацій в поверхневу енергію тріщини. Таким чином, при поширенні в порушених скельних гірських породах хвиль стиснення напруження на контакті з першою тріщиною, яка зустрілася на її шляху або неоднорідністю, може бути визначено за наступною формулою [1]

$$\sigma_1 = \frac{\rho_{\text{ВР}} C_{\text{ВР}}^2 \rho_c C_p}{4 \cdot 10^5 g \rho_{\text{ВР}} C_{\text{ВР}} \rho_c C_p} \frac{l_{\text{ср}}}{r_o} \sqrt{\frac{\mu_c}{1 - \mu_c}}, \quad (2.11)$$

де $l_{\text{ср}}$ – середній лінійний розмір окремості породи в порушеному скельному гірському масиві, м.

Відповідно до положень теорії пружності швидкість зсуву поверхні, що контактує з тріщиною або іншою неоднорідністю, буде визначатися за формулою

$$u_{3M1} = \frac{\sigma_{3M} g}{\rho_c C_p} \frac{\rho_{BP} C_{BP}^2}{4 \cdot 10^2 \rho_{BP} C_{BP} \rho_c C_p} \frac{l_{o1}}{r_o} \sqrt[2]{\frac{\mu_c}{1 \mu_c}}, \quad (2.12)$$

а кінетична енергія руху першої монолітної окремоті

$$E_{3M1} = \frac{\rho_c l_{o1}^3 \rho_{BP} C_{BP}^4}{32 \cdot 10^3 \rho_{BP} C_{BP} \rho_c C_p} \frac{l_{o1}}{r_o} \sqrt[2]{\frac{\mu_c}{1 \mu_c}}, \quad (2.13)$$

де l_{o1} – середній лінійний розмір першої окремоті в порушеному скельному гірському масиві, м.

Швидкість зміщення другої монолітної окремоті становить

$$u_{3M2} = \frac{\rho_{BP} C_{BP}^2 \rho_c C_p \rho_H C_H}{\rho_{BP} C_{BP} \rho_c C_p \rho_H C_H} \frac{l_{cp1} l_{cp2}}{r_o^2} \sqrt[2]{\frac{\mu_c}{1 \mu_c}} \cdot 1 \frac{h_1}{r_o} \sqrt[2]{\frac{\mu_H}{1 \mu_H}}, \quad (2.14)$$

а кінетична енергія визначиться

$$E_{3M2} = \frac{\rho_c l_{o2}^3 \rho_{BP} C_{BP}^4 \rho_c^2 C_p^2 \rho_H^2 C_H^2}{2 \rho_{BP} C_{BP} \rho_c C_p^2 \rho_H C_H \rho_c C_p^4} \frac{l_{cp1} l_{cp2}}{r_o^2} \sqrt[2]{\frac{\mu_c}{1 \mu_c}} \cdot 1 \frac{h_1}{r_o} \sqrt[2]{\frac{\mu_H}{1 \mu_H}}. \quad (2.15)$$

В такому ж порядку процес зіткнення окремотей породи продовжиться і надалі.

Правильне рішення задачі про зіткнення двох тіл, в даному випадку окремоостей породи, можливо лише в ідеальному випадку абсолютно непружного удару.

Удар, після якого швидкості обох тіл виявляються однаковими, можливий, якщо при деформації тіл виникають сили, які залежать не тільки від величини деформації, але і від швидкості зміни деформацій. У природі часто зустрічаються тіла, в яких значні сили виникають тільки при швидких змінах деформацій, повільне ж деформування не пов'язане з їх виникненням. Тіла, що володіють такими властивостями, при зникненні напружень не відновлюють свою форму. При зіткненні таких тіл відбувається наступне: в момент зіткнення в них виникають швидкі деформації – тіла стискаються, виникають значні сили, які надають їм прискорення, спрямовані в протилежні сторони, до тих пір, поки швидкості тіл зрівнюються. В цей момент зникає і сила.

Реальні тіла, зокрема гірські породи, не мають таких ідеально непружних властивостей. Однак, якщо швидкості пружнопластичних тіл, що підлягають співударенню, не дуже великі, то удар практично можна вважати абсолютно непружним. Тоді, якщо маса першого тіла m_1 , а другого – m_2 , їх швидкості до удару V_1 і V_2 , а їх загальна швидкість після удару u_1 , то за законом збереження імпульсу

$$m_1 V_1 + m_2 V_2 = (m_1 + m_2) u_1. \quad (2.16)$$

Тоді

$$u_1 = \frac{m_1 V_1 + m_2 V_2}{m_1 + m_2}. \quad (2.17)$$

З урахуванням вищезазначених формул загальна середня швидкість шматків породи після удару становить

$$u_{\text{зм1}} = \frac{\rho_{\text{BP}} C_{\text{BP}}^2}{4 \rho_{\text{BP}} C_{\text{BP}} \rho_{\text{c}} C_{\text{p}} m_1 m_2} \cdot \frac{m_1}{\frac{l_{\text{cp1}}}{r_0} \sqrt{\frac{\mu_{\text{c}}}{\mu_{\text{c}}}}} \cdot \frac{2m_2 \rho_{\text{BP}} C_{\text{BP}} \rho_{\text{H}} C_{\text{H}}}{\rho_{\text{H}} C_{\text{H}} \rho_{\text{c}} C_{\text{p}} \sqrt{\frac{l_{\text{cp1}} l_{\text{cp2}}}{r_0^2} \sqrt{\frac{\mu_{\text{c}}}{\mu_{\text{c}}}}} \cdot 1 \cdot \frac{h_1}{r_0} \sqrt{\frac{\mu_{\text{H}}}{\mu_{\text{H}}}} \quad (2.18)$$

Оскільки в процесі зіткнення шматків гірської породи між ними діють сили, які залежать не тільки від величини деформацій, але і від їх швидкості, то закон збереження в його механічному сенсі не дотримується. Дійсно, до удару кінетична енергія перших двох окремоностей, отримана в результаті проходження пружних коливань, становить

$$E_{\text{зм1}} = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} \quad (2.19)$$

Після співударення шматків гірської породи кінетична енергія буде вже дорівнювати

$$E_{\text{н1}} = m_1 m_2 \frac{u_1^2}{2} \quad (2.20)$$

Якщо визначити чисельні значення кінетичних енергій до співударення і після нього, то однозначно буде дотримуватися співвідношення

$$E_{\text{н1}} = E_{\text{зм1}} \quad (2.21)$$

На підставі загальнофізичного сенсу закону збереження енергії можна вважати, що частина кінетичної енергії, яка не бере участі в русі переходить здебільшого в енергію зміни форми або енергію деформації (через пружну деформацію)

$$E_{\text{зм1}} \quad E_{\text{н1}} \quad E_{\text{д1}} . \quad (2.22)$$

При цьому для середовищ, аналогічних гірським породам, дуже важливою обставиною є умови їхнього навантаження, тобто умови зіткнення шматків породи.

Відомо, що для цілком пружних і навіть в'язкопластичних тіл, до яких можуть бути віднесені тріщинуваті гірські породи, в початковій стадії навантаження, поки напруження не досягає деякого характерного для даного матеріалу значення (пластична складова), характерна тільки пружна деформація. Потім деформація стає пластичною і змінюється за лінійним законом

$$\varepsilon = \frac{\sigma_s}{E} + \frac{1}{K} (\sigma - \sigma_s) , \quad (2.23)$$

де σ_s – пластична постійна, МПа; E – модуль Юнга, МПа; K – коефіцієнт ущільнення, МПа; σ – напруження, яке діє на даний момент часу в середовищі, МПа.

При великих швидкостях деформування або великих, раптово прикладених навантаженнях в не цілком пружних або в'язкопластичних тілах має місце крихке руйнування, що характеризується малою деформацією. При остаточно великому, але не розриваючому навантаженні має місце в'язке руйнування, що характеризується значною попередньої пластичної деформацією породи і деяким інтервалом часу між моментами прикладення навантаження і розриву.

Отже, підвищення динаміки зіткнення шматків породи має сприяти більш повному їхньому руйнуванню, завдяки участі крихкого руйнування замість пластичного.

При цьому з рівнянь (2.19)-(2.23) випливає, що

$$E_{д1} = \frac{m_1 m_2 v_1 v_2^2}{2 m_1 m_2}. \quad (2.24)$$

Таким чином, підвищення динаміки процесу повинно мати відношення лише до першої окреомості, оскільки якщо $v_1 = v_{\max}$, $v_2 = 0$, то $E_{д}$ буде більшим, ніж у тому випадку, коли $v_1 > v_2$, але $v_2 > 0$. Отже, якщо при русі гірничої маси зіткнення рухомих тіл відбувається в умовах затиснутого середовища, коли $v_2 = 0$, то $E_{д}$ буде значно більшим, ніж в тому випадку, коли руйнування відбувається на вільну поверхню.

Проведені дослідження показують, що механізми руйнування неоднорідних порушених гірських порід і монолітних порід принципово відрізняються. Перш за все – це зміна в динаміці руйнування властивостей середовища і факторів, які викликають його руйнування. Якщо руйнування монолітних порід є головним чином наслідком дії пружних хвиль напружень, то дроблення порушених порід в зв'язку з надзвичайно інтенсивним загасанням хвиль напружень є більшою мірою наслідком зіткнення монолітних окреомостей в процесі динамічного зсуву частинок.

2.3. Особливості руйнування природно порушених скельних масивів гірських порід

На підставі аналізу вищенаведених наукових досліджень встановлено наступні головні особливості руйнування природно порушених скельних масивів гірських порід.

Першою особливістю дроблення порушених гірських порід є різке згасання хвиль напружень і формування в зв'язку з цим лише первинного поля напружень при повній відсутності вторинного поля напружень. Ця обставина різко скорочує можливі методів управління енергією вибуху в природно порушених породах.

Для вивчення умов найбільш оптимального формування первинного поля напружень і розміщення зарядів ВР при дробленні таких неоднорідних середовищ в попередніх параграфах виконані дослідження по вивченню характеру загасання напружень на фронті хвиль в залежності від акустичної жорсткості і динамічної стисливості гірських порід, в яких розміщується заряд.

Для цього розглянуто поєднання трьох типів гірських порід, що відрізняються динамічною стисливістю і акустичною жорсткістю (рис.2.2.-2.3). За результатами досліджень встановлено, що найбільш тривале збереження параметрів хвиль напружень по всьому масиву неоднорідних порушених гірських порід і можливість досягнення на цій основі більш високого дроблення спостерігаються при розміщенні свердловинних або шпурових зарядів ВР в породах або їх ділянках з найбільш високими акустичними параметрами. У цьому випадку, незважаючи на багаторазове відображення і переломлення хвиль на межах розділення неоднорідних середовищ, загальне напруження на фронті хвилі в межах радіусу руйнування зберігається по всьому масиві гірських порід більш високим, ніж у випадку, коли заряди розташовуються в породах з більш низькою або навіть проміжною акустичною жорсткістю. Це різко знижує енергію вибуху навіть на межі поділу заряд-середовище.

Такий фактор впливу акустичної жорсткості вимагає, як необхідний елемент дроблення порушених гірських порід, розміщення зарядів не в розпушеній вибухом гірничій масі, а по вміщуючим породам, де можливо максимальне збереження первинних властивостей середовища. Звідки випливає можливість підвищення енергії на фронті хвилі при формуванні первинного поля напружень.

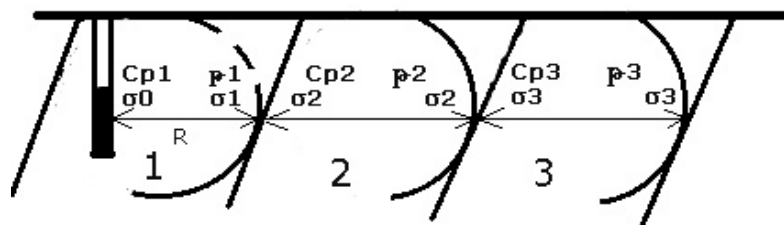


Рис. 2.2. Загальна схема поширення хвиль напружень в шаруватому скельному гірському масиві

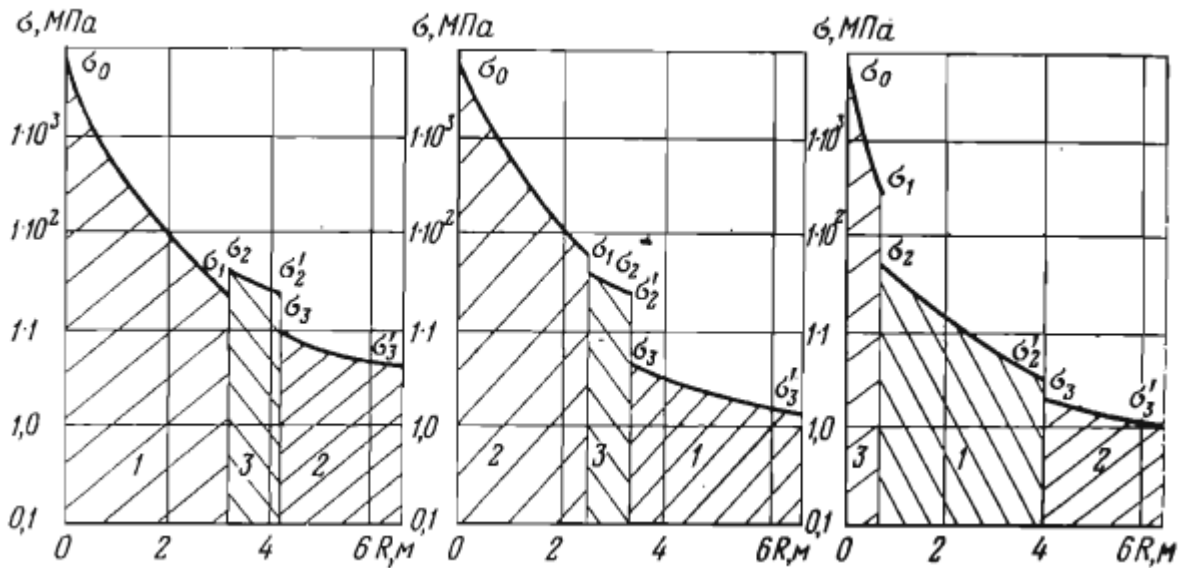


Рис. 2.3. Характер зміни напружень на фронті хвиль в залежності від акустичної жорсткості середовища, яке підлягає руйнуванню вибухом, в різноманітному поєднанні

Таким чином, при дробленні порушених гірських порід заряди ВР слід розміщувати у вміщуючих масивах, під породами, такими, що підлягають повторному руйнуванню, і лише в особливих випадках – в самому масиві порід, що підлягає повторному руйнуванню (з енергетичної точки зору це найменш ефективно).

Другою важливою особливістю дроблення порушених скельних гірських масивів є те, що це руйнування досягається лише в результаті зіткнення шматків гірської породи. Ця обставина при повторному руйнуванні гірських порід вимагає їх затискання, що призводить до зниження швидкості зсуву наступних окремоостей, і в зв'язку з цим до величини енергії зіткнення. Для

підвищення власне енергії зіткнення як першої, так і наступних окремостей доцільно на межі розділу середовищ отримання найбільш однорідного первинного поля напружень при максимально можливої з умов безпечної кінетичної енергії розльоту енергії хвиль. Такий стан може бути досягнуто шляхом формування однорідного первинного поля напружень при зменшенні лінії найменшого опору зарядів, розміщених у вміщуючих породах, і одночасному збільшенні відстані між ними, тобто при збільшенні коефіцієнта зближення зарядів.

Не менш важливим засобом, що впливає розглянутих положень при дробленні порушених гірських порід є застосування зарядів підвищеної маси, що розміщуються під вміщуючими породами. Крім того, що при цьому підвищується загальна напруженість первинного поля напружень, довжина хвилі, яка формується при цьому, значно вище, ніж при використанні зарядів малої маси, що зумовлює її менш різке згасання на різного рода неоднорідностях при проходженні по зруйованій гірничій масі. Ефективним прийомом підвищення тривалості формування первинного поля напружень і загальної довжини хвилі є замикання продуктів детонації зарядів, що розташовуються у вміщуючих породах шляхом підривання невеликого додаткового заряду, розташованого на відстані п'яти-шести діаметрів від основного заряду при глибині додаткових свердловин, що дорівнює $1/3$ глибини основної свердловини, і розміщення в ній 15-20% основного заряду. Підривання з замикаючим зарядом дозволить набагато збільшити довжину хвилі, а отже з меншими втратами здійснювати її проходження по порушеній гірничій масі.

Досить ефективним засобом підвищення якості дроблення інтенсивно порушених гірських порід є метод сповільненого підривання із застосуванням П-подібних схем. Попереднє миттєве підривання по П-подібному контуру серії посиленних зарядів ВР веде до закриття практично будь-якої наявної в масиві порід мережі тріщин, а подальше через 50-60 мс короткосповільнене підривання всередині П-подібного контуру звичайної серії зарядів з

інтервалами в 10 мс веде до значного поліпшення якості дроблення інтенсивно порушених тріщинами порід, завдяки поширенню хвиль напружень в масиві зі зімкнутими тріщинами. Як свідчить досвід [29], застосування П-подібних схем підривання дозволяє знижувати середній лінійний розмір шматка при руйнуванні інтенсивно порушених гірських порід на 30-45% при одночасному зниженні параметрів розвалу підірваної маси.

Однак ефективність такого підривання, залишаючись досить значною, дещо знижується в гірських породах, розсічених макротріщинами і пустотами без заповнювача. Застосування схем сповільненого і короткосповільненого підривання природно порушених гірських порід і оптимальних параметрів сповільнень відкриває більш ширші можливості управління енергією вибуху в таких умовах.

Третьою особливістю дроблення порушених гірських порід і виходячи з неї технології підривання є те, що основним чинником, що обумовлює різке зниження параметрів хвиль напружень (їх згасання), вважається відмінність в акустичних жорсткостях монолітних окремоостей і різного роду тріщин і неоднорідностей, які їх розділяють. Така відмінність в цілому по відношенню до вміщуючих порід може досягати 8-10 разів в зв'язку зі зниженням швидкості проходження хвиль по порушеним гірським породам (до 500 м/с) і щільності порід до 1800 кг/м³. Спрямована зміна фізичного стану гірських порід, що підлягають руйнуванню, з наданням їм певних, наперед заданих властивостей, наприклад шляхом попереднього гідростатичного замочування, дозволяє в десятки разів підвищити ефективність використання енергії вибуху в таких умовах. Як показують експерименти, проведені в [24], надмірне зволоження попередньо порушених гірських порід дозволяє підвищити швидкість поздовжніх хвиль по ним до 1800 м/с і щільність до 2100 кг/м³, знижуючи акустичну відмінність від вміщуючих порід лише до 2 разів. Це дозволяє різко підвищити якість дроблення таких порід при збільшенні коефіцієнту корисної дії вибуху і знизити питомі витрати ВР. Якщо при заповненні тріщин, пустот та інших акустичних неоднорідностей повітрям напруження на фронті хвилі

знижуються по відношенню до монолітних середовищ в 25-100 разів, в залежності від ширини цих неоднорідностей, то при заповненні їх водою напруження на фронті хвилі знижуються по відношенню до монолітних середовищ лише на 25-30%. Застосування попереднього гідростатичного замочування особливо ефективно при використанні зарядів великої маси, коли при значній довжині хвилі втрати енергії є незначними. Технологічно таке замочування можливо і достатньо ефективно при підриванні блоків руди, підготовлених до підземного вибуговування, змерзлих ґрунтів і гірських порід, а також порід, попередньо зруйнованих і підготовлених для укладання в накидні греблі.

Розглянуті вище закономірності справедливі для масивів, складених приблизно рівними за величиною окремостями. Дроблення в цих випадках знижується відносно рівномірно з віддаленням від заряду (рис. 2.4). У породах, що відрізняються різною величиною окремостей, процес дроблення має ще більш складний характер.

При нерівності мас їх зіткнення відбувається з різною швидкістю. Згідно закону збереження енергії, окремі масиви, які мають малу масу, отримують енергію (пропорційну квадрату швидкості), більшу ніж достатню для дроблення, що викликає їх переподрібнення. У той же час дроблення великих шматків відбувається при енергії, що є не достатньою для досягнення необхідного руйнування. Цей фактор підтверджує необхідність розміщення зарядів вибухових речовин при руйнуванні порушених порід в монолітних окремостях.

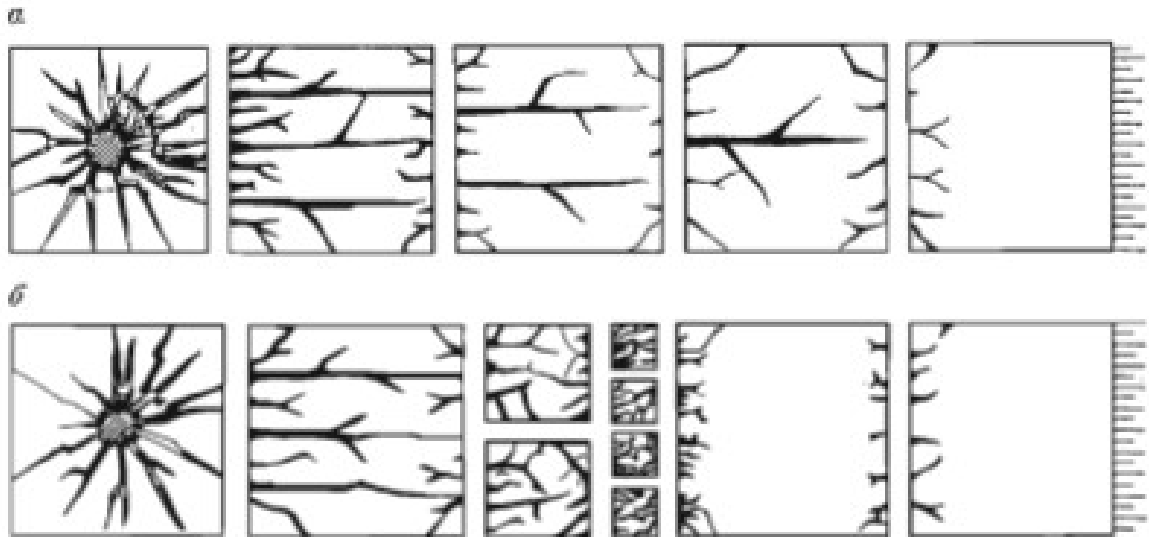


Рис. 2.4. Схема руйнування масиву гірських порід: а) складеного рівновеликими отдельностями; б) складеного отдельностями різної величини

Таким чином, при руйнуванні неоднорідних за величиною окремостей природно порушених гірських порід без дотримання перерахованих вище технологічних прийомів вибухове дроблення є надзвичайно нерівномірним, а процес їхнього руйнування практично некерованим. Ймовірність виходу нероздроблених великих фракцій для таких середовищ приблизно така ж, як ймовірність їх знаходження в природному масиві. Цей висновок підтверджується багаточисельними спостереженнями за внутрішньою будовою розвалів при багаторядному підриванні.

Аналіз фізичних особливостей руйнування однорідних, тріщинуватих і порушених гірських порід в поєднанні з раніше розглянутими критеріями їх оцінки показує, що поряд з категорією тріщиноватості, протяжністю тріщин і їхньою кількістю, важливе значення мають ще і такі параметри, як співвідношення середнього розміру блочности до характерного розміру руйнування, характер заповнення тріщин, в залежності від яких визначаються і умови управління енергією вибуху.

Правильне віднесення порід до тієї чи іншої категорії по тріщинуватості визначає можливість забезпечення рівномірного і якісного їх дроблення на

основі застосування інженерних методів управління енергією вибуху, що впливають з енергетичних основ руйнування таких гірських порід.

2.4. Дослідження впливу зміни швидкостей поширення хвиль напружень в природно порушеному гірському масиві на ефективність руйнування скельних порід вибухом свердловинного заряду

Як було зазначено вище на ефективність подрібнення природно порушених гірських порід вибухом істотно впливають фізико-механічні властивості та структурні характеристики гірського масиву [30]. Для оцінки об'єму і ступеня руйнування гірських масивів складної структури вибухом дуже важливе значення має швидкість поширення хвиль напружень в реальному масиві, як складової в акустичному імпедансі [31]. Оскільки швидкості поширення повздовжніх і поперечних хвиль напружень пов'язані між собою тільки коефіцієнтом поперечної деформації гірських порід, то для подальших досліджень достатньо розглянути вплив лише повздовжніх хвиль.

Проведені в [32] експериментальні і теоретичні дослідження впливу гірських порід порушеної структури на параметри хвилі напружень дозволили встановити, що середня швидкість поширення поздовжніх хвиль у різноміцнісному масиві залежить, насамперед, від кількості контактів порід за міцністю, розмірів окремоностей у напрямку руху хвилі напруження, часу проходження повздовжньої хвилі по суцільному і складно структурованому гірському масиві. Однак, аналітична залежність між швидкістю поширення повздовжніх хвиль напружень і параметрами руйнування різноміцнісного масиву гірських порід не була встановлена.

Для встановлення об'єму зони руйнування скельних порід вибухом для різних значень швидкостей поширення хвиль напружень в гірському масиві використовуємо рішення просторової задачі про поширення хвиль напружень, утворених при вибуху подовжених зарядів ВР [33, 34]. При проведенні

досліджень використовувався масив гірських порід, складений з кварцу магнетитового.

Масив гірських порід підривається свердловинним зарядом грамоніту 79/21, щільність якого при заряджанні становить 900 кг/м^3 , а швидкість детонації – 3600 м/с . Діаметр свердловинного заряду ВР – 200 мм , довжина свердловини – 14 м .

Для дослідження впливу швидкості поширення повздовжніх хвиль напружень в порушеному масиві на об'єм руйнування гірських порід вибухом, швидкість хвилі змінювалась в діапазоні від 6000 м/с до 1000 м/с з інтервалом 1000 м/с . Результати розрахунку об'єму руйнування природно порушеному масиву гірських порід різними типами ВР наведено в табл. 2.1 [35].

Таблиця 2.1 Значення об'єму руйнування кварцу магнетитового, м^3 , в залежності від швидкості поширення повздовжніх хвиль в порушеному гірському масиві для різних типів вибухових речовин

Тип ВР	Швидкість поширення повздовжніх хвиль (c_l), м/с					
	6000	5000	4000	3000	2000	1000
Грамоніт 79/21	817,4	749,0	679,2	599,6	503,0	369,2
Анемікс 70	1255,4	1144,8	1033,8	910,0	765,4	570,4
Полімікс ГР4-Т10	777,4	715,4	648,0	571,0	478,4	351,8
Полімікс ГР5-Т18	880,2	807,4	730,4	645,2	540,6	398,8
Полімікс ГР-1/8	756,6	696,4	630,8	555,6	464,4	344,0
Комполайт ГС-6	631,6	584,0	529,6	468,0	392,2	286,6

Згідно з отриманими розрахунковими значеннями побудовані залежності між об'ємом руйнування магнетитового кварциту V та середнім значенням швидкості поширення повздовжньої хвилі напружень c_l для різних типів ВР, що використовуються на кар'єрі ПрАТ «Полтавський ГЗК» для підривання гірських порід (рис. 2.5).

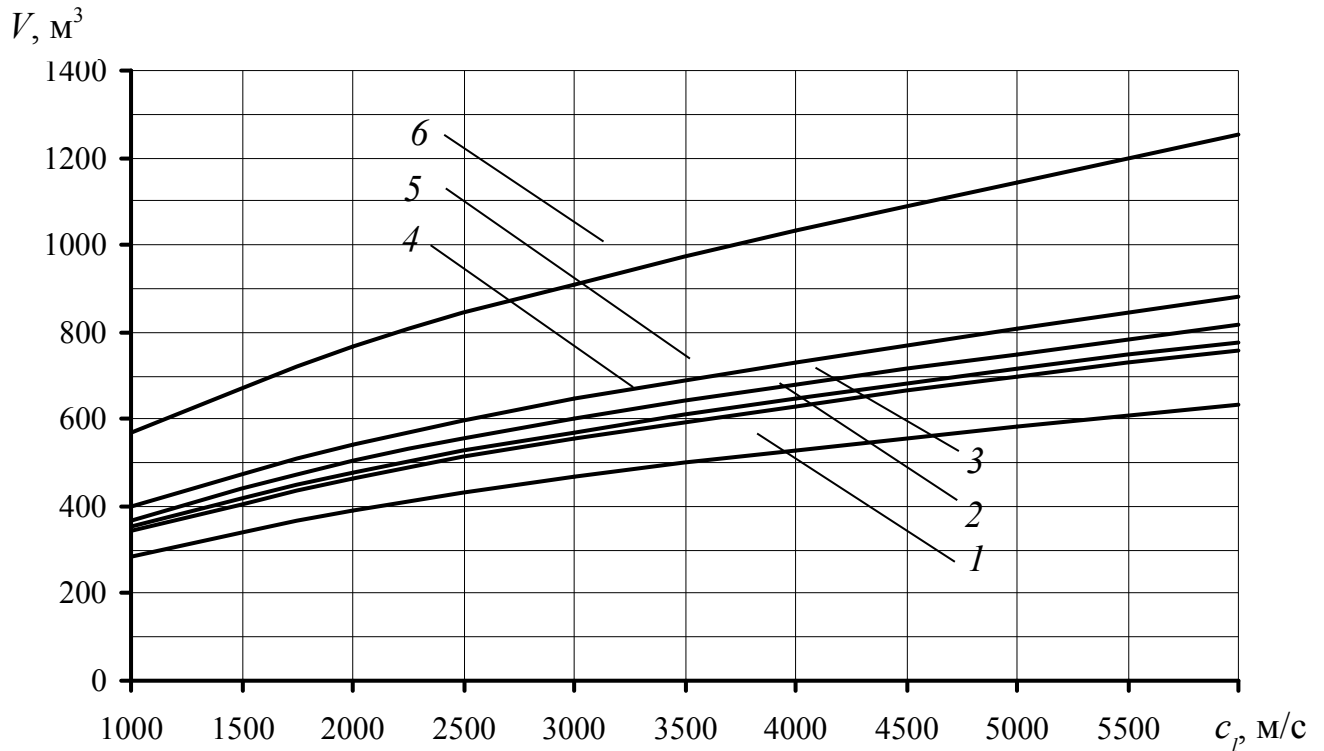


Рис. 2.5. Залежність між об'ємом руйнування порушених магнетитових кварцитів V і середнім значенням швидкості повздовжніх хвиль c_l для різних типів вибухових речовин: 1 – комполайт ГС-6; 2 – полімікс ГР-1/8; 3 – полімікс ГР4-Т10; 4 – грамоніт 79/21; 5 – полімікс ГР5-Т18; 6 – анемікс 70

Аналіз графічних залежностей, представлених на рис. 2.5, свідчить про те, що зміна швидкості поширення повздовжніх хвиль напружень з 6000 м/с до 1000 м/с призводить до зменшення об'єму руйнування магнетитового кварциту в 2,2 рази незалежно від типу ВР. Змінюються лише чисельні значення об'ємів руйнувань, які вочевидь залежать від потужності ВР. Однак, слід зазначити, що при швидкості хвилі напружень 1000 м/с інтервал зміни об'єму руйнувань кварцитів становить $283,8 \text{ м}^3$ (для комполайту ГС-6 – $286,6 \text{ м}^3$; для анеміксу 70 – $570,4 \text{ м}^3$), а для швидкості 6000 м/с цей інтервал дорівнює $623,8 \text{ м}^3$ (для комполайту ГС-6 – $631,6 \text{ м}^3$; для анеміксу 70 – $1255,4 \text{ м}^3$), тобто зростання об'єму зруйнованої породи відбувається майже в 2,2 рази.

З рис. 2.5 видно, що залежність $V = f(c_l)$ можна описати поліноміальною функцією n -го порядку. В цьому разі поліном 2-го порядку буде мати вигляд:

$$V = a + b \cdot c_l - d \cdot c_l^2, \quad (2.25)$$

де a , b , d – емпіричні коефіцієнти поліноміальної залежності (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 Значення емпіричних коефіцієнтів для визначення об'єму руйнувань кварцу магнетитового

№ п/п	Тип ВР	Емпіричні коефіцієнти		
		a	b	d
1	Комполайт ГС-6	183,20	0,1144	$0,7 \cdot 10^{-5}$
2	Полімікс ГР-1/8	223,98	0,1314	$0,7 \cdot 10^{-5}$
3	Полімікс ГР4-Т10	228,10	0,1363	$0,8 \cdot 10^{-5}$
4	Грамоніт 79/21	241,34	0,1417	$0,8 \cdot 10^{-5}$
5	Полімікс ГР5-Т18	261,94	0,1510	$0,8 \cdot 10^{-5}$
6	Анемікс 70	385,20	0,2035	$1,0 \cdot 10^{-5}$

Формула (2.25) характеризує залежність між об'ємом руйнування природно порушеного масиву гірських порід і швидкістю поширення повздовжніх хвиль напружень тільки для магнетитового кварциту при застосуванні різних типів ВР, які використовуються в межах кар'єру. Вочевидь, що для різних гірських порід отримані залежності будуть мати інший характер.

Для встановлення закономірностей між зміною швидкості поширення повздовжніх хвиль напружень в гірському масиві та об'ємом руйнування цих масивів проведені розрахунки для порід кар'єру ВАТ «Полтавський ГЗК». Необхідні для розрахунку фізико-механічні властивості порід взято з [36]. Руйнування гірських порід здійснюється грамонітом 79/21. Розрахункові значення об'ємів руйнування масиву гірських порід наведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 Значення об'єму руйнування порушеного масиву гірських порід в залежності від швидкості поширення повздовжніх хвиль

Гірська порода	Об'єм руйнування масиву гірських порід (m^3) при швидкості поширення повздовжньої хвилі (c_l), м/с					
	6000	5000	4000	3000	2000	1000
Сланець кварц-слюдистий	1087,2	1000,9	908,0	796,8	656,3	476,1
Кварц магнетитовий	817,4	749,0	679,2	599,6	503,0	369,2
Кварц кумінгтоніто-магнетитовий	864,6	787,9	712,6	626,3	523,9	385,7
Сланець кварц-біотитовий	999,2	909,7	822,2	718,2	590,0	421,7
Кварцит безрудний	983,3	898,0	805,2	707,7	590,6	436,4
Плагіограніт, мігматит	929,5	849,1	762,3	667,3	559,1	411,7
Амфіболіти	899,0	821,8	741,5	650,4	544,1	399,5
Сланець вивітрилий	1089,4	1004,3	910,6	798,2	657,5	471,5
Кварцит залістий вивітрилий	1172,8	1083,1	981,8	860,4	710,0	508,9
Гранітоїди	1425,2	1311,2	1182,8	1032,2	849,0	602,4

Аналіз даних табл. 2.3, показує, що існує певна закономірність між швидкістю поширення повздовжніх хвиль напружень в гірському масиві і об'ємом руйнування гірських порід. Незважаючи на те, що досліджувані гірські породи характеризуються різноманітними фізико-механічними властивостями, можна стверджувати, що при збільшенні швидкості поширення хвиль напружень в гірському масиві об'єм руйнування однозначно збільшується.

За результатами розрахунків побудовані графічні залежності об'єму руйнування гірських порід від середньої швидкості поширення хвиль напружень (рис. 2.6, 2.7). У відповідності до цього встановлено, що зі збільшенням швидкості поширення повздовжніх хвиль напружень в скельному гірському масиві з 1000 м/с до 6000 м/с об'єм руйнувань збільшується в 2,2...2,4 рази залежно від типу гірської породи. Зокрема, для магнетитового кварциту збільшення об'єму руйнування найменші, а для гранітоїдів – найбільші.

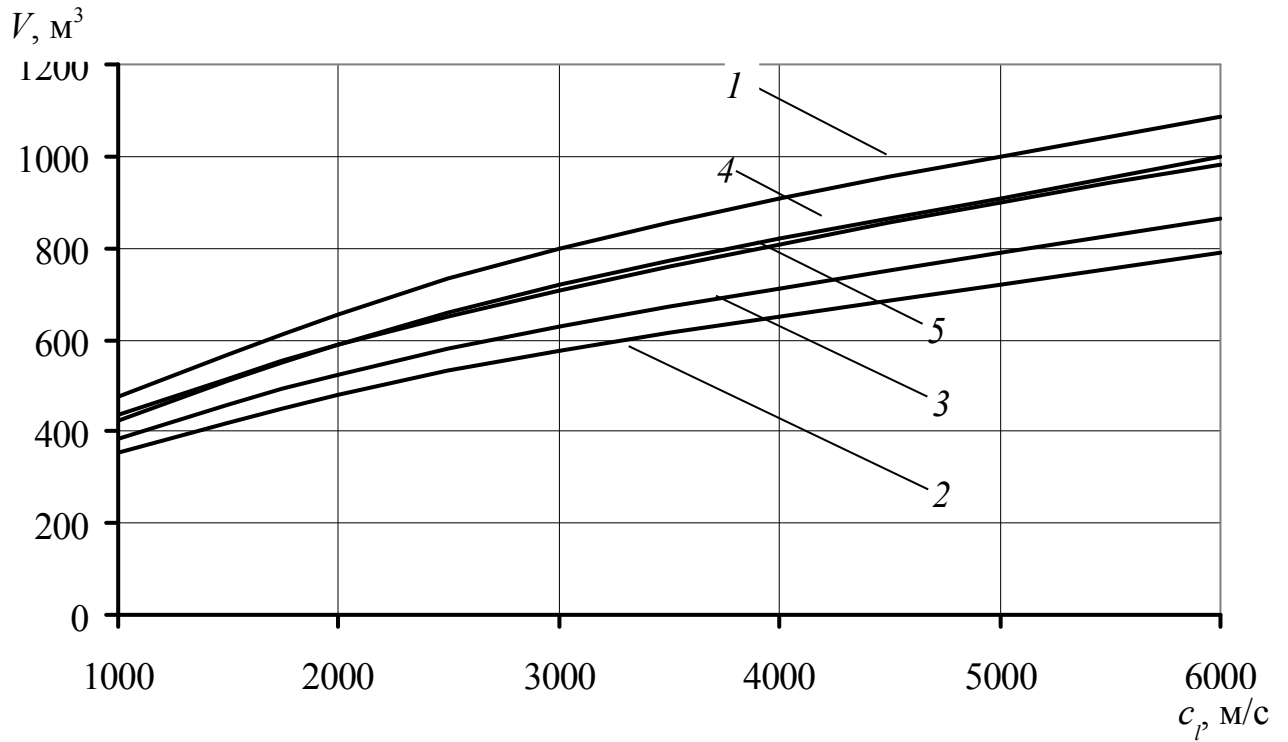


Рис. 2.6. Залежність об'єму руйнування масиву гірських порід V від середньої швидкості поширення повздовжніх хвиль напружень c_p : 1 – сланець кварц-слюдистий; 2 – кварц магнетитовий; 3 – кварц кумінгтоніто-магнетитовий; 4 – сланець кварц-біотитовий; 5 – кварцит безрудний

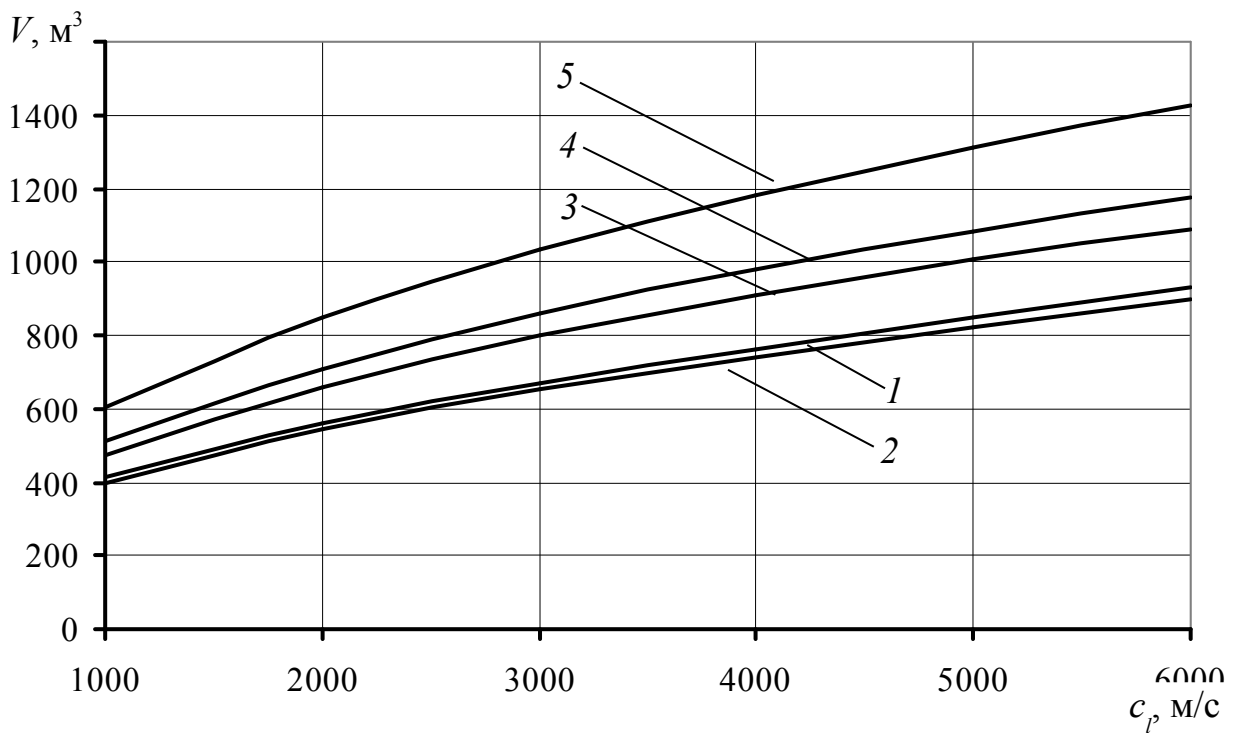


Рис. 2.7. Залежність об'єму руйнування масиву гірських порід V від середньої швидкості поширення повздовжніх хвиль напружень c : 1 – плагіограніт, мігматит; 2 – амфіболіти; 3 – сланець вивітрилий; 4 – кварцит залізистий вивітрилий; 5 – гранітоїди

Також слід відзначити, що при швидкості поширення повздовжніх хвиль напружень 1000 м/с діапазон зміни об'єму руйнування для представлених гірських порід становить 233,2 м³ (від 369,2 м³ для кварцу магнетитового до 602,4 м³ для гранітоїдів), а при швидкості поширення хвиль напружень 6000 м/с цей діапазон становить 607,8 м³ (від 817,4 м³ для кварцу магнетитового до 1425,2 м³ для гранітоїдів), тобто збільшується в 2,6 рази.

Графічні залежності між швидкістю поширення повздовжніх хвиль напружень та об'ємом руйнування для всіх типів гірських порід, що представлені на рис. 2.6 і 2.7, з достатньою точністю описуються поліноміальною функцією 2-го порядку згідно (2.25). Емпіричні коефіцієнти поліноміальної залежності a , b , d наведені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 Значення емпіричних коефіцієнтів поліноміальної залежності між швидкістю поширення хвиль і об'ємом руйнування гірських порід

Гірська порода	Емпіричні коефіцієнти		
	a	b	d
Сланець кварц-слюдистий	290,81	0,2025	$1,0 \cdot 10^{-5}$
Кварц магнетитовий	241,34	0,1417	$0,8 \cdot 10^{-5}$
Кварц кумінгтоніто-магнетитовий	253,46	0,1456	$0,7 \cdot 10^{-5}$
Сланець кварц-біотитовий	255,66	0,1825	$1,0 \cdot 10^{-5}$
Кварцит безрудний	287,84	0,1625	$0,8 \cdot 10^{-5}$
Плагіограніт, мігматит	251,0	0,1541	$0,8 \cdot 10^{-5}$
Амфіболіти	260,32	0,1529	$0,8 \cdot 10^{-5}$
Сланець вивітрилий	282,28	0,2078	$1,0 \cdot 10^{-5}$
Кварцит залізистий вивітрилий	304,64	0,2244	$1,0 \cdot 10^{-5}$
Гранітоїди	355,02	0,2717	$1,0 \cdot 10^{-5}$

Таким чином, вищенаведені дослідження свідчать про те, що зі збільшенням швидкості поширення повздовжніх хвиль в природно порушеному масиві гірських порід збільшується об'єм їхнього руйнування.

Графічні та аналітичні залежності зміни об'єму руйнування від швидкостей поширення хвиль напружень для гірських порід різної міцності мають однаковий характер незалежно від типу застосовуваних ВР, змінюються лише чисельні значення об'ємів руйнування.

Доведено, що зі збільшенням швидкості поширення хвиль напружень з 1000 м/с до 6000 м/с об'єм руйнувань природно порушеного масиву збільшується в 2,2...2,4 рази залежно від типу гірської породи.

Висновки до розділу 2

1. Встановлено, що різке згасання параметрів хвиль напружень в сильнотріщинуватих неоднорідних порушених середовищах зі збільшенням кількості таких неоднорідностей і їх ширини виключає можливість обґрунтованого розрахунку процесу руйнування таких середовищ, виходячи з пружних хвильових процесів, так само як і розробку інженерних методів управління енергією вибуху з урахуванням параметрів хвиль. Однак це не виключає необхідності врахування хвиль напружень взагалі.

2. Проведені дослідження показують, що механізми руйнування неоднорідних порушених гірських порід і монолітних порід принципово відрізняються. Якщо руйнування монолітних порід є головним чином наслідком дії пружних хвиль напружень, то дроблення порушених порід в зв'язку з надзвичайно інтенсивним загасанням хвиль напружень є більшою мірою наслідком зіткнення монолітних окремоностей в процесі динамічного зсуву породи.

3. Виділено головні особливості руйнування природно порушених скельних масивів гірських порід:

1) різке згасання хвиль напружень і формування в зв'язку з цим лише первинного поля напружень при повній відсутності вторинного поля напружень (різко скорочує можливі методів управління енергією вибуху в природно порушених породах);

2) руйнування порушених скельних гірських масивів досягається лише в результаті зіткнення шматків гірської породи (вимагає їх затискання при руйнуванні, що призводить до зниження швидкості зсуву наступних окремоостей, і в зв'язку з цим до величини енергії зіткнення);

3) основним чинником, що обумовлює різке зниження параметрів хвиль напружень (їх згасання), є відмінність (до 8-10 разів) в акустичних жорсткостях монолітних окремоостей і різних тріщин і неоднорідностей, які їх розділяють (зміна стану гірських порід (гідростатичне замочування), що підлягають руйнуванню, з наданням їм певних заданих властивостей дозволяє в декілька разів підвищити ефективність використання енергії вибуху).

4. Встановлено, що для оцінки об'єму і ступеня руйнування гірських масивів порушеної структури вибухом дуже важливе значення має швидкість поширення хвиль напружень в реальному масиві, як складової в акустичному імпедансі. Зі збільшенням швидкості поширення повздовжніх хвиль в природно порушеному масиві гірських порід збільшується об'єм їхнього руйнування. Доведено, що зі збільшенням швидкості поширення хвиль напружень з 1000 м/с до 6000 м/с об'єм руйнувань природно порушеного масиву збільшується в 2,2...2,4 рази залежно від типу гірської породи.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ І ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ ЩОДО ВИБУХОВОГО РУЙНУВАННЯ ПРИРОДНО ПОРУШЕНИХ ГІРСЬКИХ МАСИВІВ НА КАР'ЄРАХ

3.1. Експериментальні дослідження особливостей руйнування блокових моделей природно порушених скельних гірських масивів

Реальні гірські масиви в більшості випадків складені з блоків, розміри і характер розподілу яких залежать від особливостей конкретного родовища. Природна порушеність масиву має суттєвий вплив на кінцеві результати вибуху. Великий об'єм експериментальних досліджень по виявленню закономірностей дроблення природних тріщинуватих масивів виконаний в [37].

Моделі розмірами 30 30 30 см виготовляли як суцільними, так і такими, що складаються з блоків 10 10 10; 6 6 6; 3 3 3 см різним по масі (рис. 3.1).

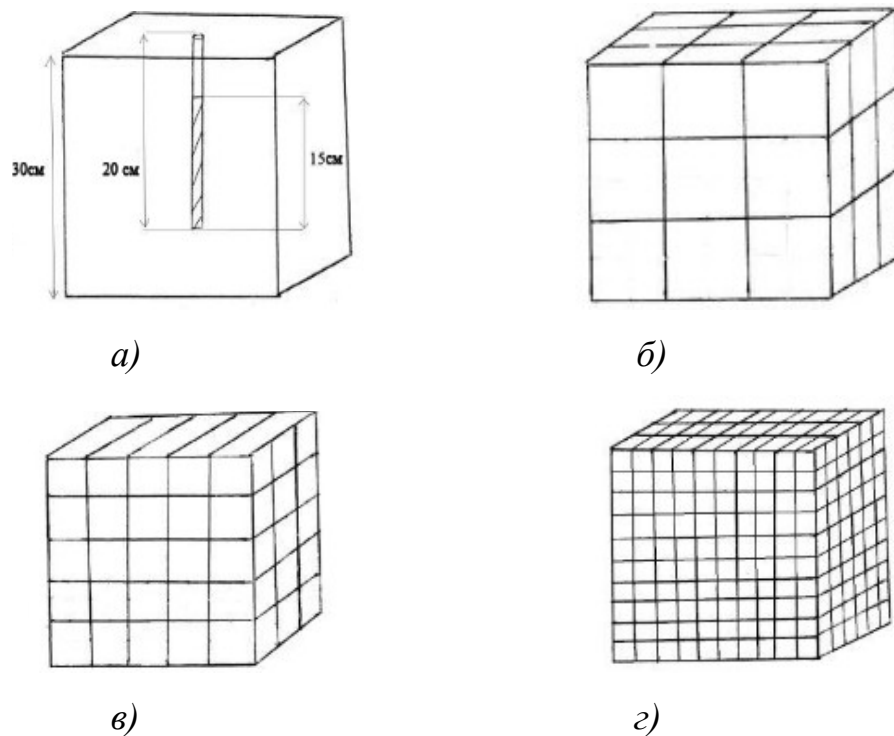


Рис. 3.1. Цементно-піщані моделі: *а)* монолітний блок розміром 30 30 30 см; *б)* тріщинуватий блок з розміром окремоностей 10 10 10 см; *в)* блок з розміром окремоностей 6 6 6 см; *г)* тріщинуватий блок з розміром окремоностей 3 3 3 см

Суцільні і блокові моделі дванадцяти типів руйнували зарядами тону масою 3 г. Між зарядом і стінками шпуру зазор був відсутній. Після вибуху заряду модель розбирали і вимірювали гранулометричний склад методом безпосереднього обміру великих шматків і ситового аналізу більш дрібних фракцій.

При дробленні суцільних піщано-цементних моделей функція розподілу шматків після вибуху має яскраво виражений максимум на великих фракціях, більших, ніж розміри складових блоків в тріщинуватих моделях (рис. 3.2).

Як показали результати експериментів, положення вихідних окремоностей відносно заряду істотно впливає на результуючий гранулометричний склад. Якщо вихідні окремоності розміщували поза зоною дрібного дроблення, то після вибуху відсоток вихідних фракцій зменшувався, але вони превалювали над знову утворюваними фракціями.

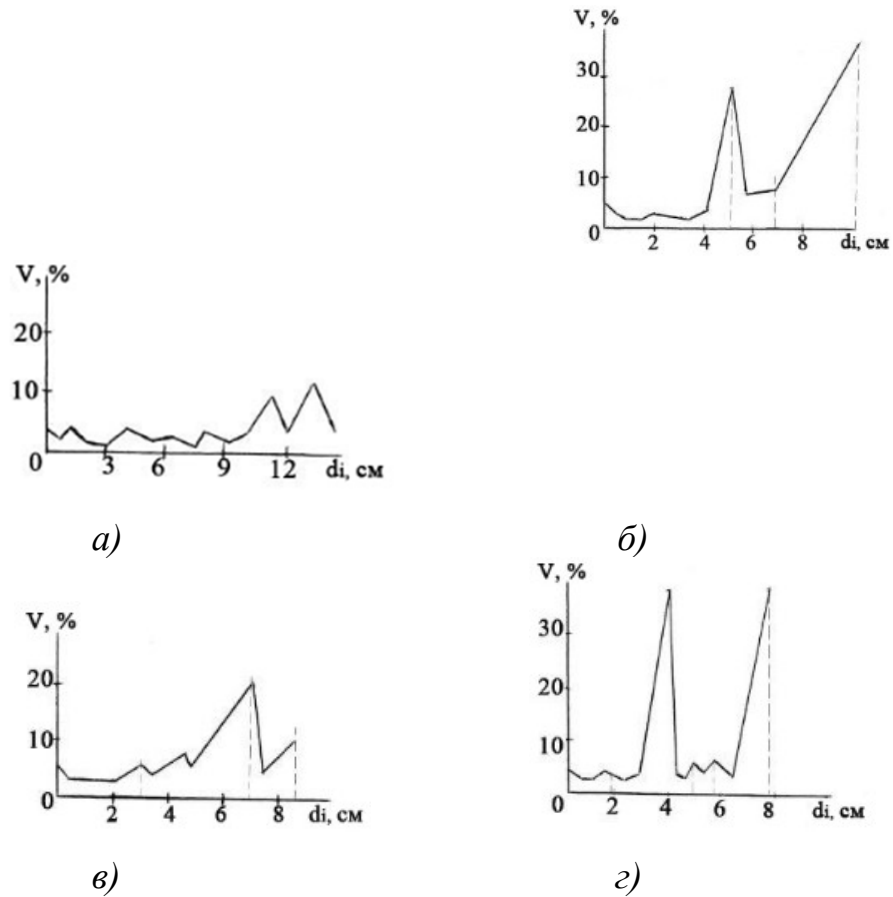


Рис.3.2. Залежність виходу фракцій V від розмірів середнього шматка d зруйнованих моделей : а) суцільний блок; б), в), г) – природно порушені блоки, складені відповідно до значень рис. 3.1

Гранулометричний склад, отриманий після руйнування цих моделей, наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.1 Гранулометричний склад після руйнування моделей

Тип моделі	Відсотковий вміст фракцій, мм							
	0,15	0,25	0,35	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3
II	1,2	0,4	0,6	1,0	0,9	0,9	0,7	0,7
III	1,6	0,3	0,5	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7
IV	0,9	0,5	0,7	1,2	1,2	1,2	1,0	0,7
X	0,7	0,4	0,5	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0
Тип моделі	Відсотковий вміст фракцій, мм							
	1,55	1,85	2,25	2,75	3,25	3,75	4,5	5,0
II	0,6	0,6	0,3	0,5	0,2	0,2	0,9	–
III	1,0	0,8	1,0	0,9	1,8	1,7	11,6	72
IV	1,5	1,4	1,9	2,2	1,9	2,0	5,1	18,9

X	1,4	1,1	2,2	3,0	1,7	1,0	3,6	–
Тип моделі	Відсотковий вміст фракцій, мм							
	5,5	6,7	7,3	7,5	7,7	8,0	8,5	10
II	2,1	–	–	6,0	3,5	7,2	8,6	56,9
III	–	–	–	–	–	–	–	–
IV	16,5	38,5	–	–	–	–	–	–
X	2,1	12,3	62,4	–	–	–	–	–

Якщо будь-яка вихідна фракція розташована в безпосередній близькості від заряду (моделі VIII і XII), то після вибуху вона зникає. Крім того, в моделі типу XI (до вибуху містить 5 5 5 - 17%, 5 5 10 - 73%, 3 3 10 - 4,5%, 3 3 5 см - 5,5% блоків) після вибуху зростає кількість шматків 5 5 5 см в порівнянні з початковим числом блоків такого розміру за рахунок руйнування фракції 5 5 10 см. Зміна питомої витрати ВР в експериментах не привело до яких-небудь нових висновків. Збереглася й сама тенденція впливу розмірів і змісту вихідних окремоностей на результати дроблення. Причому збільшення питомої витрати ВР в 2-4 рази майже не позначається на гранулометричному складі зруйнованих моделей, що доводить неефективність управління дробленням тріщинуватих середовищ лише шляхом збільшення питомої витрати ВР.

Крім того, з метою врахування взаємодії зарядів подібні експерименти були проведені під час вибуху двох свердловинних зарядів. Зона між зарядами була сформована з блоків іншого кольору, що дозволило оцінити вплив взаємодії зарядів на інтенсивність дроблення матеріалу. При руйнуванні моделі двома зарядами функція розподілу гранулометричного складу має максимуми, що відповідають розмірам вихідних окремоностей.

Дослідження особливостей руйнування блокових моделей показали, що інтенсивність дроблення істотно залежить від квазістатичної дії продуктів детонації. В серії експериментів на піщано-цементних і гіпсових моделях розмірами 150 150 150 мм, складених з блоків з ребром 30 мм, встановлена інтенсивність дроблення при спільній дії хвилі напружень і квазістатичного тиску продуктів детонації, а також при дії кожного фактора окремо.

Для зменшення квазістатичної дії продуктів детонації (ПД) створювалися умови, сприятливі для їх витікання, а заряд ВР містився в алюмінієву трубку з товщиною стінки 1 мм, встановлену в шпурі на цементному розчині. Зниження хвильової дії вибуху досягалося за рахунок створення кільцевого зазору навколо заряду. Зазор заповнювали пористим матеріалом (пінопластом), що поглинає значну частину енергії хвилі напружень.

Інтенсивність дроблення моделей характеризували величиною новоствореної поверхні. Якщо при спільній дії хвилі напружень і газоподібних продуктів детонації знову утворена поверхня при дробленні моделей з гіпсу склала 1024 см^2 , то при дії тільки хвилі напружень – всього 98 см^2 . Новостворена поверхня при впливі тільки газоподібних продуктів детонації склала 615 см^2 . Аналогічні результати отримані і при дробленні піщано-цементних моделей, а новоутворені поверхні склали 4652 см^2 при спільній дії хвилі напружень і газоподібних продуктів детонації, 230 см^2 при дії тільки хвилі напружень, 2940 см^2 при дії тільки газоподібних продуктів детонації.

Проведені експерименти показали, що при руйнуванні блокових середовищ газоподібні продукти детонації виконують до 80% загальної роботи з дроблення матеріалу.

3.2. Експериментальні дослідження дії хвиль напружень в порушених та тріщинуватих середовищах

Відомо, що в тріщинуватих гірських масивах, представлених природними окремостями різних розмірів, зменшується хвильова дія вибуху. У зв'язку з цим в процесі руйнування окремостей, що містять заряди ВР, під дією динамічних напружень можливе змикання тріщин, що створює передумови для часткової передачі енергії вибуху в такому середовищі [38].

При наявності зімкнутих тріщин з шириною, що не перевищує на два-три порядки міжатомні відстані, вказане явище має найбільш істотне значення при

передачі енергії вибуху заряду. Передача може відбуватися без зміщення окремостей за рахунок відкольних явищ при наявності високих механічних напружень, відсутності шорсткості меж розділу, що в реальних умовах зустрічається рідко.

Для того, щоб зруйнувати певний об'єм гірського масиву, необхідно привести його у відповідний напружений стан, кількісні характеристики якого будуть залежати від виду деформації (розтягування, стиснення, зрушення). Енергія напруженого стану, як правило, перевищує поверхневу енергію новостворених меж розділу частин породи. Частина її йде на розвиток мікродефектів (ефект зменшення міцності матеріалу при повторних навантаженнях), друга частина – на теплові втрати, пружні коливання середовища та ін. Таким чином, для руйнування тіла треба подолати певний енергетичний бар'єр.

Поряд з визначенням напружень в тріщинуватому середовищі, існують і інші роботи [30], в яких показано, що на руйнування тріщинуватих гірських порід впливають напрямок, розміри тріщин, властивості заповнювача і характер навантаження. Однак експериментальних даних по руйнуванню тріщинуватих середовищ при вибуховому навантаженні все ж недостатньо. Це пов'язано з труднощами виконання експериментів під час вибуху.

Розглянемо результати проведених експериментальних досліджень хвиль напружень, що виникають в тріщинуватому середовищі блочної будови. У методичному відношенні для експериментального визначення дії напружень, що виникають в середовищі під час вибуху, необхідно виміряти напруження в блоках перед тріщинами, в блоках, розташованих за тріщинами, напруження, викликані зіткненням окремостей, провести оцінку впливу зміни величини амплітуди і тривалості імпульсу напружень на дроблення середовища.

При проведенні експериментальних досліджень враховано, що величина напружень в хвилі стиснення, що поширюється від вибуху заряду ВР, залежить від маси заряду, міцнісних властивостей середовища, віддалення від заряду, ширини тріщини і властивостей матеріалу, який заповнює тріщину. У зв'язку з

цим при оцінці експериментальних значень напружень була застосована відносна величина r , що представляє собою відношення відстані від заряду до датчика до кореню кубічному з маси заряду.

На рис. 3.2 наведені графіки загасання максимальних напружень в прямій хвилі стиснення зі збільшенням r в гіпсових і піщано-цементних моделях. У проведених експериментах заповнювачем тріщин є повітря, тому для моделей з гіпсу коефіцієнт заломлення середовища становить $n=6,61$, а для піщано-цементної суміші $n = 6,93$. Маса заряду в гіпсових моделях змінювалася від 20 до 400 мг тена, в піщано-цементних – від 20 до 100 мг тена.

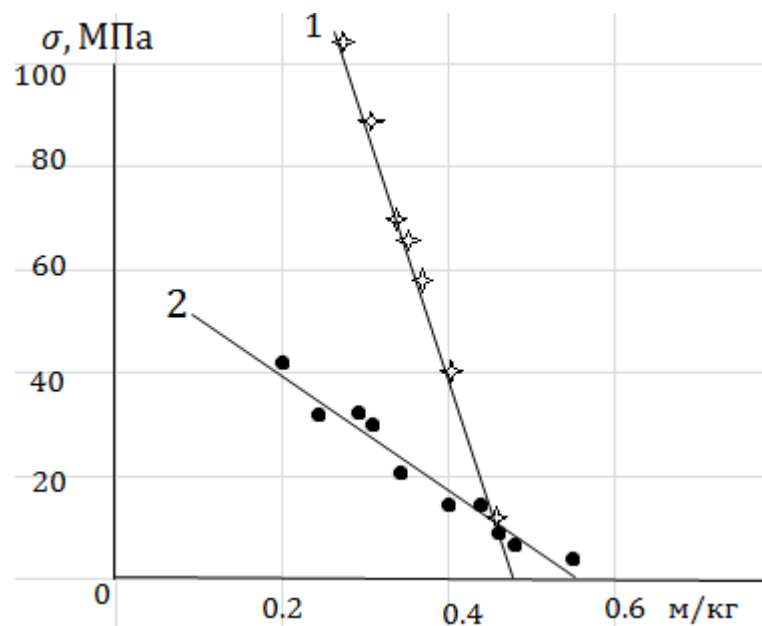


Рис. 3.2. Залежність амплітуди хвилі стиснення від вибуху зарядів ВР в блочних піщано-цементних (1) і гіпсових (2) моделях з тріщинами

Як впливає з рис. 3.2, при $r > 0,55$ максимальні значення напружень від прямої хвилі стиснення в піщано-цементних і гіпсових моделях практично дорівнюють нулю. У діапазоні зміни маси зарядів, розмірів тріщин і блоків для датчиків, розміщених за тріщиною – $r > 0,49$. Цим можна пояснити те, що на осцилограмах напружень, записаних датчиками, розташованими за тріщиною, імпульси починають наростати через 60-80 мкс, що за часом відповідає

зіткненню блоків. Напруження від прямої хвилі стиснення при цьому не спостерігаються. Незалежно від матеріалу середовища на осцилограмах напруження-час, отриманих за допомогою датчиків, розміщених перед тріщиною, спостерігається два максимуму (рис. 3.3). Перший (крива I) починає зростати через 5-10 мкс після вибуху, другий максимум через 60-80 мкс. Час його досягнення збігається з часом досягнення максимуму для імпульсу, що записується датчиком, розташованим за тріщиною (крива II). Таким чином, наявні в середовищі тріщини є екраном для хвиль напружень, що поширюються від вибуху заряду вибухової речовини. При переході через тріщину "амплітуда прямої хвилі стиснення значно зменшується і при певному співвідношенні між масою заряду, шириною тріщини і відстанню до кордону блоку ($r > 0,55$) практично дорівнює нулю.

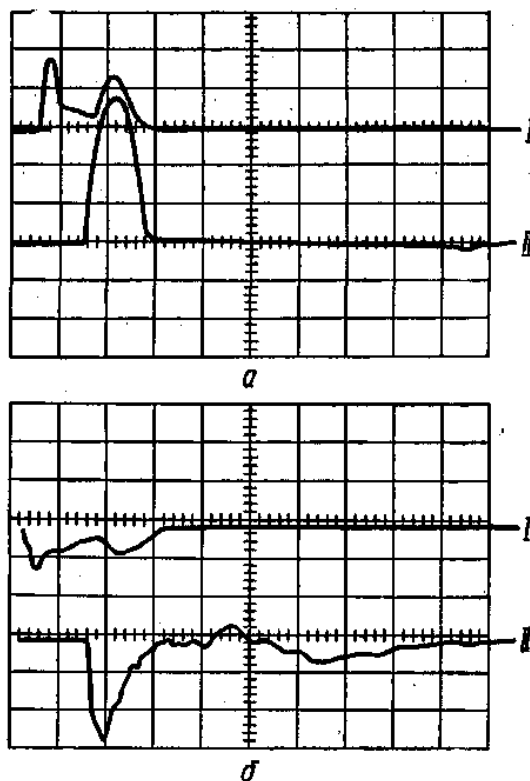


Рис. 3.3. Типові осцилограмми напружень в середовищах блочної будови до тріщини (I), за тріщиною (II), в піщано-цементно (а) і гіпсових (б) моделях

Передача енергії вибуху в середовище, що розбите тріщинами на окремі (блоки), здійснюється в результаті руйнування середовища при виході хвилі стиснення на вільну поверхню і подальшому ударі роздробленим матеріалом блоку, в якому знаходився заряд, по початково нерухомому сусідньому блоку. Газоподібні продукти вибуху, прориваючись, захоплюють за собою шматки, що утворюються, і надають їм додаткову швидкість, таким чином збільшують ефект співударення. Ударна взаємодія окремих викликає виникнення в середовищі хвилі напружень від зіткнення.

Максимальна амплітуда хвилі напружень, що викликана ударом частини зруйнованого блоку з зарядом в сусідній блок і що розповсюджується в блоці за тріщиною, залежить від сили удару. Сила удару визначається кінетичною енергією шматків, що зміщуються, яку вони отримують під час вибуху заряду ВР. Ця енергія переходить частково в кінетичну енергію зміщення сусіднього блоку, велика частина її витрачається на незворотні втрати і якась частина переходить в хвилю напружень. Чим більше кінетична енергія зруйнованого блоку, що містить заряд ВР, тим більше сила удару і тим більше максимальна амплітуда хвилі напружень від зіткнення. Кінетична енергія зруйнованого блоку, що містить заряд, залежить від маси заряду і відстані до межі блоку. При наявності між блоками матеріалу, що заповнює тріщини, відповідно до зміни зруйнованого блоку з зарядом відбувається ущільнення заповнювача до максимальної величини.

У проведених експериментах заповнювачем тріщин між блоками було повітря. Розмір модельних блоків складав 300 300 300 мм. У табл. 3.2 наведені величини напружень від зіткнення, зафіксовані в блоці за тріщиною при зміні ширини в діапазоні 0,5-2,0 мм.

Таким чином, отримано, що в середовищі блочної будови з тріщинами між блоками зафіксовані хвилі напружень від прямої хвилі стиснення і від зіткнення блоків. Пряма хвиля стиснення сильно послаблюється при переході через тріщину і в проведених експериментах за тріщинами практично не спостерігалася. За тріщинами фіксувалися хвилі напружень, які за часом

приходу відповідали хвилях напружень від зіткнення блоків. Ці висновки можна узагальнити і для промислових умов, особливо для дроблення порід крупноблочної будови.

3.3. Енергетичні особливості вибухового дроблення природно порушених гірських масивів

Як свідчать експериментальні дані, питомі енергоємності дроблення порушених і тріщинуватих гірських порід близькі, що відображає єдину фізичну природу руйнування таких середовищ. Однак загальна енергоємність дроблення порушених гірських порід може бути іншою, ніж для порід монолітних і навіть тріщинуватих.

Таблиця 3.2 Максимальна амплітуда напружень від співударення шматків при руйнуванні модельних блоків вибухом

Маса заряду тону, мг	Відстань до тріщини, мм	Ширина тріщини, мм	Амплітуда напружень при вибуху, МПа
400	30	0,1	19,2
400	30	0,5	21,7
200	30	0,5	11,6
200	30	1,0	12,8
200	30	2,0	9,3
200	15	1,0	34,4
100	15	1,0	12,9
60	15	1,0	2,3
50	15	1,0	5,6
40	15	1,0	10,1
30	15	1,0	17,7
20	15	1,0	19,4

У цьому випадку визначення витрат енергії і питомої витрати ВР є аналогічними. Однак з урахуванням відсутності в порушених гірських породах достатніх сил зчеплення при порушенні їх опору розтягуванню та зсуву досягнення критичної енергоємності руйнування може наступати раніше, ніж в породах монолітних або тріщинуватих, що може привести до передчасного підвищення кінетичної енергії викиду. Зростання кінетичної енергії викиду при дробленні природно порушених гірських порід обумовлюється ще й тим, що об'ємна щільність їх нижче щільності вихідних порід. Тому навіть при рівних витратах енергії на викид початкова швидкість розльоту зруйнованої маси може зрости, а отже, зросте і загальна кінетична енергія викиду. Аналіз отриманих залежностей показує, що в умовах навіть рівних енергетичних витрат початкова швидкість розльоту зруйнованої гірничої маси, а отже, і кінетична енергія викиду може бути збільшена в порівнянні з непошкодженими породами на 20-60% (рис. 3.4). Цей фактор визначає застосування технології дроблення порушених гірських порід.

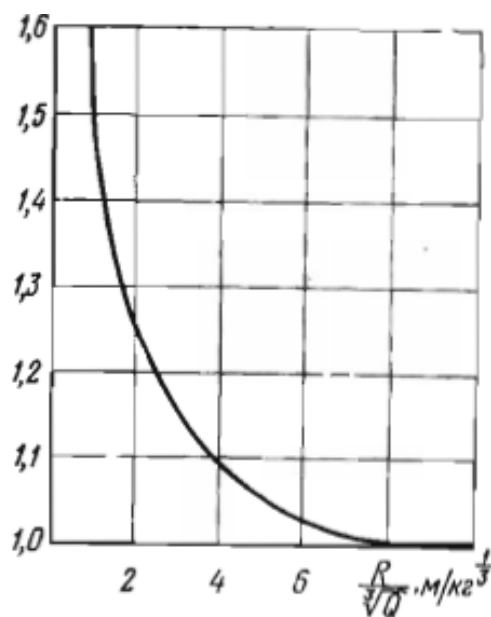


Рис. 3.4. Зміна відносних питомих витрат енергії вибуху на переміщення зруйнованої гірничої маси при дробленні порушених гірських масивів в різних зонах порушення

Особливості дроблення тріщинуватих і порушених гірських порід в порівнянні з породами відносно монолітними розглянуто головним чином з умов, що залежності між напруженнями і деформаціями в таких породах можуть бути представлені в якості неоднозначних безперервних функцій при деяких припущеннях. При наявності тріщинуватості або будь-яких інших порушень в масиві гірських порід розгляд його в якості суцільного середовища при безперервній функції зміні деформацій і напружень виключається. Єдиним засобом надійного дроблення таких порід може бути заміна тріщинуватого масиву еквівалентним йому за деформованістю суцільним, модулі деформації яких подібні масиву порушеному, а переміщення і деформації однакові для реального і еквівалентного масивів. При такому підході, виходячи з подібності деформацій і переміщень, можна встановити основні особливості дроблення масивів тріщинуватих і порушених в порівнянні з однорідним або іншим вихідним масивом.

Дослідженнями, проведеними в [1], доведено, що для дроблення порушених і тріщинуватих порід доцільно застосування свердловин зменшеного діаметра. Таким чином, виходячи з наведених досліджень, що характеризують енергетичні основи процесів руйнувань гірських порід, виходить, що при дробленні порід тріщинуватих і порушених очікуються зміни показників вибухових робіт.

3.4. Технологічні рішення при дробленні природно порушених гірських порід на кар'єрах

Дроблення гірських порід на кар'єрах здійснюється головним чином методом підривання свердловинних зарядів ВР. Свердловинні заряди підривають із застосуванням схем багаторядного сповільненого підривання. Це дозволяє готувати значні обсяги підірваної гірничої маси при незалежності в

просторі і часі буропідричних робіт від очисної виїмки, створюючи тим самим сприятливі умови для організації поточного та циклічно-потокового виробництва гірничих робіт при незалежному веденні буропідричних та вантажно-транспортних робіт.

Незважаючи на значні успіхи в області підготовки гірничої маси, основний показник ефективності вибухових робіт – питома витрата ВР, що характеризує коефіцієнт корисного використання енергії, за останні роки підвищився на кар'єрах на 45-50%. Аналіз практики роботи кар'єрів показав, що на залізородних кар'єрах Кривбасу питома витрата ВР значно збільшилася і становить 0,8-1,0 кг/м³, а іноді 1,2-1,5 кг/м³.

Крім досягнення більш ретельного дроблення гірничої маси з метою ефективного використання сучасної вантажно-доставочної техніки, підвищенню питомої витрати ВР сприяло також підвищення масовості вибухових робіт практично при повному збереженні технологічних схем і прийомів ведення вибухових робіт, що застосовувалися раніше. Аналіз практики вибухових робіт за останні роки показує, що в зв'язку з застосуванням свердловин збільшеного діаметру маса свердловинного заряду підвищилася з 200-250 кг до 500-600 кг. При підвищенні діаметра свердловинних зарядів і відповідної їм потужності вибухів характерне збереження відповідності висоти заряду шару висоті уступу, відповідного в свою чергу висоті черпання екскаватора. Тим часом результати теоретичних і експериментальних досліджень [39] свідчать про те, що на однакових наведених відстанях середній лінійний розмір шматка збільшується пропорційно масштабу вибуху. Ця обставина обумовлює необхідність розробки і впровадження нових методів управління енергією вибуху і істотної зміни параметрів буропідричних робіт при підриванні природно порушених гірських масивів [40, 41].

Зазвичай виробничники, застосовуючи свердловинні заряди збільшеного діаметру, спостерігають поліпшення якості дроблення порід на близьких наведених відстанях і на цій основі приймають рішення про подальше збільшення діаметра свердловин і маси зарядів ВР, що підриваються одночасно,

ігноруючи при цьому погіршення якості дроблення в цілому по блоку. Тим часом зі збільшенням масштабу вибуху, внаслідок підвищення при цьому довжини вибухової хвилі і зниження швидкості навантаження, середній розмір шматка на фронті дроблення на однакових наведених відстанях збільшується. У зв'язку з цим для досягнення більш якісного дроблення з підвищенням масштабів вибухів необхідно не збільшення, а зниження діаметра свердловинних зарядів, недотримання якого і обумовлює безперервне підвищення питомої витрати ВР.

Таким чином, прагнення до більш дрібного дроблення при підвищенні і потужності вибухів може бути задоволено лише за умови зниження діаметра свердловинних зарядів і навантаження на заряд при більш раціональному їх розміщенні в масиві [27]. Це підтверджується досвідом вітчизняних і зарубіжних підприємств, де застосовуються свердловинні заряди зменшеного діаметра. При підриванні свердловинних зарядів малого діаметра в масиві реалізується висока швидкість навантаження гірських порід при зменшеній довжині вибухової хвилі, що забезпечує досягнення тріщинами, що розвиваються, швидкості хвиль Релея і на цій основі – покращення якості дроблення [1].

Зниження діаметру свердловинних зарядів ВР є необхідною умовою успішного ведення вибухових робіт на кар'єрах при дробленні природно порушених гірських масивів. Ця умова диктується зниженням на кар'єрах ширини робочих площадок і необхідністю збереження при цьому технології багаторядного сповільненого підривання. Реалізація цієї умови можливе лише при застосуванні свердловин невеликого до 150-160 мм діаметра, що дозволяє при зниженні навантаження на свердловину до 150-200 кг зберегти масштабність багаторядного сповільненого підривання. При цьому знижується середній розмір шматка на фронті дроблення на однакових наведених відстанях по відношенню до свердловинних зарядів великого діаметра.

Також умовою успішного застосування на кар'єрах циклічно-поточної технології є зміна параметрів системи розробки з урахуванням підвищення

висоти уступу, що підлягає підриванню; забезпечення кратності висоти уступу висоті уступу, що підривається, при установці устаткування на зруйнованій гірничій масі; незалежного ведення бурових і вантажно-транспортних робіт при дробленні масиву під попередньо підірваним шаром.

Характерною особливістю сучасного стану відкритих гірничих робіт є невідповідність порівняно низької продуктивності забійних комплексів вантажно-транспортного обладнання високої виробничої потужності підприємства в цілому. Наслідком цього розриву є неминучість багатозабійної, а отже, і багатоуступної організації робіт, що, в свою чергу, веде до зменшення ширини робочих площадок. Ліквідація такого розриву можлива лише на основі застосування високопродуктивного вантажно-транспортного обладнання, що скорочує число вибоїв на кар'єрі. При цьому забезпечується скорочення числа одночасно розроблюваних горизонтів, підвищення на цих горизонтах ширини робочих площадок, збереження багаторядного сповільненого підривання.

При підготовці гірничої маси для високопродуктивного обладнання буропідривні роботи повинні відповідати таким вимогам:

1. Відокремлення процесів підготовки гірничої маси в просторі і часі від процесу навантаження і транспортування.
2. Рівномірний розподіл гірничої маси до певного гранулометричного складу для досягнення достатньої сипучості.
3. Створення необхідних умов для роздільного виймання порід по сортам при мінімальних втратах.

Як свідчить досвід роботи багатьох кар'єрів, цим вимогам найбільше відповідає технологія підривання тріщинуватих і порушених гірських порід в затиску. При цьому досягається покращення дроблення завдяки більш рівномірному розміщенню зарядів ВР по масиву, застосуванню додаткових свердловин малого діаметра для дроблення верхньої частини блоку, застосуванню спарених уступів. В результаті чого знижується незаряджений об'єм свердловин і скорочується вихід неподрібненої гірничої маси (рис. 3.5). При послідовному збільшенні висоти свердловинного заряду і рівномірному

розміщенні вибухової речовини в масиві поліпшується якість дроблення порід при скороченні зони практично нерегульованого дроблення. Слід зазначити, що межа можливої глибини закладення зарядів для важкоподріблюваних порід становить 20-25 м, для середньоподріблюваних порід 30-35 і для легкоподріблюваних порід 40-50 м.

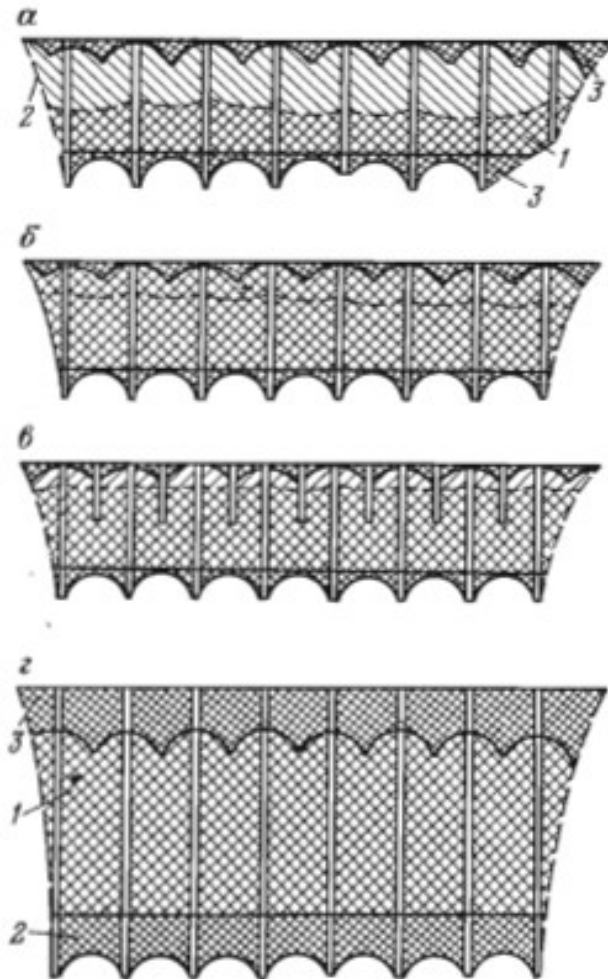


Рис. 3.5. Зміна якості дроблення в залежності від висоти уступу і конструкції свердловинного заряду: *a* – при звичайній технології підривання; *б* – при розосереджених зарядах; *в* – при застосуванні додаткових свердловин; *г* – при глибоких свердловинах, пробурених через раніше зруйновану гірничу масу; 1 – основний об'єм дроблення; 2 – об'єм рихлення; 3 – об'єм повторного дроблення

Також рішення задачі більш якісного дроблення природно порушених гірських порід до заданої кусковатості може бути досягнуто скороченням зони утворення негабариту шляхом дроблення масиву вибухом під шаром попередньо підірваної гірничої маси (рис. 3.6). При цьому необхідно бурити свердловини через порушену породу, що, як показав досвід, не представляє складності, а підривати заряди слід під запобіжним шаром при якісному дробленні порушеного приповерхневого шару.

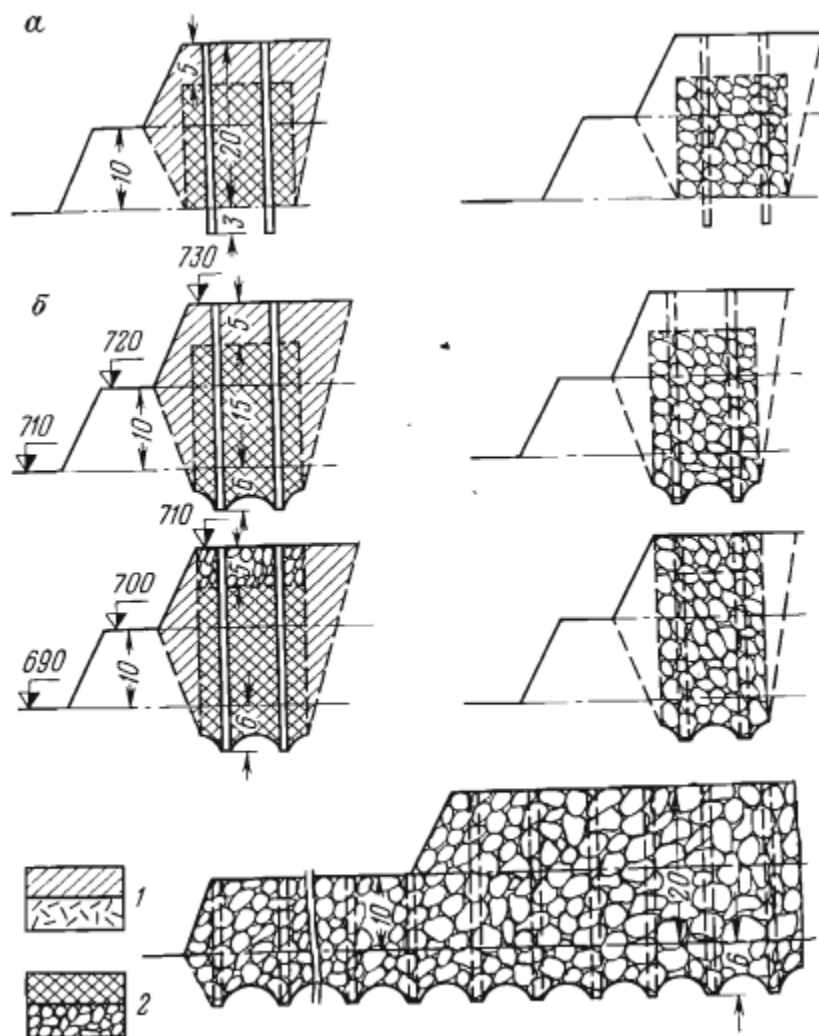


Рис. 3.6. Схема дроблення масиву під шаром попередньо зруйнованої породи:

a – при звичайній технології підривання; b – підривання під попередньо зруйнованим шаром; 1 – зона виходу негабариту; 2 – зона інтенсивного дроблення

Для підривання під попередньо зруйнованим шаром в процесі екскавації вище розташованого уступу на ньому залишають 5-6 м порушеної гірничої маси, що є статичною пригрузкою верхньої частини уступу. Якісне дроблення в цьому випадку забезпечується рівномірним розподілом шматків по масиву і обмеженням розльоту шматків породи. При цьому необхідно повністю виключити розміщення зарядів ВР в порушеній частини масиву, щоб уникнути формування зарядів викиду.

Маса зарядів ВР розраховується за звичайним об'ємному принципом. Однак питома витрата ВР приймається окремо для первинного об'єму, що руйнується, відповідно за традиційними методиками розрахунку і для порушених порід відповідно до даних [1, табл. IV.4]. Тоді сумарна маса заряду вибухової речовини буде становити

$$Q = Q_1 + Q_2 + Wa + q_1H + q_2h_p, \text{ кг}, \quad (3.1)$$

де Q_1 – маса заряду ВР, яка необхідна для первинного руйнування масиву, кг; Q_2 – маса заряду ВР, яка необхідна для руйнування порушеного шару, кг; W – лінія найменшого опору, м; a – відстань між свердловинними зарядами, м; q_1 та q_2 – питомі витрати ВР при дробленні відповідно монолітних і порушених порід, кг/м³; H – висота уступу, м; h_p – висота при вантаженого шару, м.

Особливістю многорядного сповільненого підривання високих уступів є зниження коефіцієнту розпушення підірваної гірничої маси до мінімуму. Аналіз результатів експериментальних досліджень і досвід ведення вибухових робіт на кар'єрах показали, що при багаторядному сповільненому підриванні коефіцієнт розпушення в цілому по вибухах становить 1,04-1,08 [27]. При цьому спостереженнями встановлено, що на глибині 10-12 м від поверхні

розвалу і більш коефіцієнт розпушення практично дорівнює 1, тобто масив фактично руйнується без зміни об'єму, зберігаючи первинну геологічну структуру і високу ступінь стійкості порід при хорошій їх сипучості з точки зору взаємодії з ковшами навантажувальних машин. Для складних родовищ це означає можливість усунення впливу буровибухових робіт на втрати і разубожування руд. Крім того, завдяки високій стійкості зруйнованих порід представляється можливим організувати селективну виїмку руд по сортам при незалежній від технології вибухових робіт висоті шару. При цьому можна виконувати селективну виїмку як горизонтальну по простяганню гірничих робіт, так і вертикальну з розбивкою підірваного уступу висотою 20-25 м на підступи висотою 5-7,5 м. Виїмково-навантажувальне устаткування при цьому розміщується на підірваній гірничій масі (рис. 3.7). Технологія підривання високих уступів з подальшою розбивкою їх на підступи показує високу економічну ефективність і може бути основою принципово нової технології розробки кар'єрів.

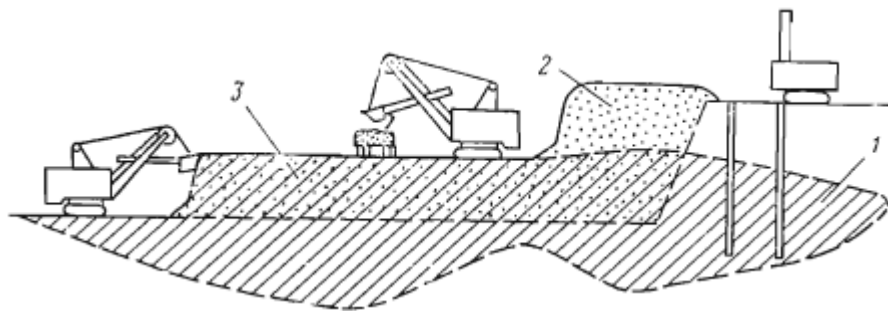


Рис. 3.7. Схема розміщення навантажувально-транспортного обладнання на підірваній гірничій масі з розділенням її на підступи: 1 – тіло корисної копалини; 2 – верхній підступ по пустій породі; 3 – нижній підступ по корисній копалині

Якість корисних копалин, що добуваються за такою технологією, значно вище, а втрати і разубожування нижче, ніж при звичайних методах розробки

складних родовищ. Використання при такій технології гірничих робіт невеликої висоти привантаженого шару в поєднанні з автотранспортом не погіршує техніко-економічних показників роботи звичайного обладнання.

Таким чином, основні положення наведеного вище методу руйнування гірських порід вибухом повинні включати:

1. Гірниче обладнання і підривання масиву на максимально можливу глибину, виходячи з умов досягнення якісного дроблення, доробка підшви уступу і забезпечення задовільної екскавації підірваної гірничої маси; при необхідності для поліпшення якості дроблення може виконуватися повторне руйнування гірських порід під привантаженням раніше підіраного шару.

2. Розробка масиву повинна здійснюватися пошарово шляхом розміщення вантажно-транспортного обладнання на підірваній гірничій масі; при необхідності по сортам особливо міцних гірських порід або руд можливе повторне руйнування з бурінням свердловин через підірвану масу до підшви цього шару.

3. Висоту шару, що відпрацьовується, доцільно визначати на підставі техніко-економічного порівняння варіантів з урахуванням не тільки параметрів навантажувальних машин, але і їх впливу на показники селективності руд в залежності від кута падіння рудних тіл і їх потужності.

4. У процесі буріння свердловин доцільно ретельне геологічне вишукування порід і визначення їх міцнісних властивостей для оцінки ступеня їх порушеності.

5. На ділянках, що відрізняються за своїми гірничо-геологічними властивостями від середніх для даного родовища, необхідно бурити додаткові свердловини, застосовувати збільшені свердловинні заряди потужних ВР, або використовувати комбінацію цих варіантів в залежності від конкретних технологічних умов.

6. Природно порушений гірничий масив слід руйнувати за схемами короткосповільненого підривання [42], які забезпечують його мінімальну

деформацію, рівномірну поверхню розвалу і оптимальний коефіцієнт розпушення, зокрема за П-подібною схемою, показаною на рис. 3.8.

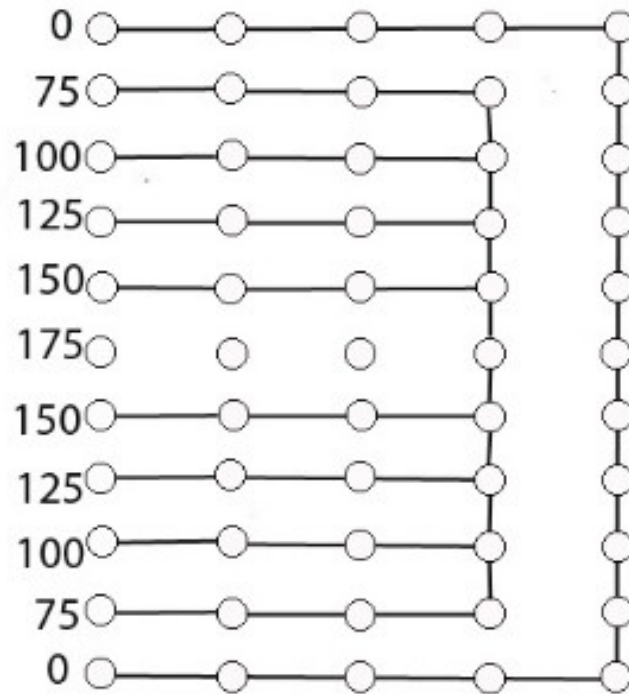


Рис. 3.8. П-подібна схема багаторядного короткосповільненого підривання з попереднім оконтурюванням блоку

Реалізація зазначених організаційно-технічних принципів де проводяться вибухові роботи передбачає застосування технології підривання порід в затиснутому середовищі, тобто в умовах обмеженого компенсаційного простору. У зв'язку з цим потрібен більш уважний розгляд основних параметрів і технологічних показників підривання.

Висновки до розділу 3

1. Експериментальні дослідження руйнування блокових моделей порушених середовищ показали, що при їхньому руйнуванні газоподібні продукти детонації виконують до 80% загальної роботи з дроблення матеріалу моделі.

2. Доведено, що в тріщинуватих гірських масивах, представлених природними окремостями різних розмірів, зменшується хвильова дія вибуху. Аналіз результатів проведених експериментальних досліджень дії хвиль напружень, які виникають в тріщинуватому середовищі блочної будови, показав, що пряма хвиля сильно послаблюється при переході через тріщину і за тріщинами практично не спостерігалася. За тріщинами фіксувалися хвилі напружень, які за часом приходу відповідали хвилям напружень від зіткнення блоків.

3. Рекомендовано при дробленні природно порушених гірських масивів застосовувати свердловинних зарядів ВР зменшеного діаметру до 150-160 мм, що дозволяє при масі заряду 150-200 кг зберегти масштабність багаторядного сповільненого підривання. При цьому знижується середній розмір шматка на фронті дроблення на однакових наведених відстанях по відношенню до свердловинних зарядів великого діаметра.

4. Більш якісне дроблення природно порушених гірських масивів до заданої кусковатості може бути досягнуто скороченням зони утворення негабариту шляхом руйнування масиву вибухом під шаром попередньо підірваної гірничої маси. Для підривання під попередньо зруйнованим шаром породи вище розташованого уступу на ньому залишають 5-6 м порушеної гірничої маси, що є статичною пригрузкою верхньої частини уступу. Якісне дроблення в цьому випадку забезпечується рівномірним розподілом шматків по масиву і обмеженням розльоту шматків породи. При цьому необхідно повністю виключити розміщення зарядів ВР в порушеній частини масиву, щоб уникнути формування зарядів викиду.

5. Для дроблення природно порушених гірських масивів масу свердловинних зарядів вибухової речовини необхідно розраховувати за звичайним об'ємним принципом. Однак питома витрата ВР повинна прийматися окремо для первинного об'єму гірського масиву, що підлягає руйнуванню, та для попередньо порушених гірських порід вищерозташованого уступу.

6. Запропоновано для підвищення якості подрібнення природно порушених гірських порід застосувати П-подібні схеми короткосповільненого підривання. Попереднє миттєве підривання по П-подібному контуру серії посиленних зарядів ВР веде до закриття практично будь-якої наявної в масиві порід мережі тріщин, а подальше через 50-60 мс короткосповільнене підривання всередині П-подібного контуру звичайної серії зарядів з інтервалами в 10-25 мс веде до значного поліпшення якості дроблення інтенсивно порушених тріщинами порід, завдяки поширенню хвиль напружень в масиві зі зімкнутими тріщинами.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Аналіз існуючих небезпечних і шкідливих факторів при проведенні гірничих робіт

На відкритих гірничих роботах під час видобутку корисних копалин працівники потрапляють під вплив різних шкідливих та небезпечних факторів. До таких факторів відносяться: пил порід, вихлопні гази, небезпечні гази після вибуху, перепади температури, сейсмічна дія. Наслідком дії цих факторів можуть бути як високий травматизм, так і професійні захворювання працюючих. Показники в Україні травматизму та професійних захворювань в 5-8 разів більші ніж в інших країнах.

Гірничі роботи на кар'єрах проводяться у відповідності до «Єдиних правил безпеки при розробці родовищ корисних копалин відкритим способом», «Правил техніки безпеки при експлуатації установок, станцій та підстанцій», «Правил безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення» та «Єдиних правил охорони надр».

4.2 Вимоги щодо поводження з вибуховими матеріалами при руйнуванні природо порушених гірських масивів вибухом

Під час застосування на земній поверхні свердловинних зарядів з ВР групи D (крім димного пороху) та систем ініціювання з детонуючим шнуром (ДШ) і неелектричних систем ініціювання (НСІ) необхідно доставляти

забивний матеріал на зарядний блок транспортними засобами, які облаштовані вогнегасниками та іскрогасниками, та унеможливити наїзд на устя свердловин, ДШ і хвилеводи, що виходять із свердловин.

Масові вибухи на земній поверхні, що створюють загрозу безпеці повітряного руху, дозволяється здійснювати тільки після узгодження їх проведення з керівниками інших суб'єктів господарювання, об'єкти яких потрапляють до небезпечної зони.

У складних гірничо-геологічних умовах (породи з високим припливом ґрунтових вод, пливуні) під час ініціювання за допомогою ДШ або НСІ дозволяється заряджати свердловини безпосередньо за бурінням, що повинно бути відображено у типовому проекті (паспорті) ведення підричних робіт.

На час заряджання свердловини бурові станки, а також обладнання, що не застосовується для заряджання, необхідно віддаляти від свердловини за межі небезпечної зони, на відстань не менше ніж 20 м.

На відкритих гірничих роботах дозволяється розміщувати елементи НСІ чи ЕД у свердловини протягом усього процесу їх заряджання.

Способи і технологічні режими формування свердловинних зарядів повинні запобігати їх засміченню інертними матеріалами.

4.3. Поводження із засобами ініціювання під час підричних робіт

Електродетонатори (ЕД) та детонатори використовуються під час ведення підричних робіт за умови їх обов'язкового маркування спеціальними пристроями відповідно до [наказу Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 03 жовтня 2007 року № 238](#) «Про затвердження індексів для маркування електродетонаторів і капсулів-детонаторів у металевих гільзах», зареєстрованого у Міністерстві юстиції України 18 жовтня 2007 року за № 1193/14460 (далі - НПАОП 0.00-7.09-07). Маркування дозволяється наносити на ЕД хімічними фарбами.

Електропідридна мережа повинна бути двопровідною. Використання води, землі, труб, рейок, канатів тощо як провідників забороняється. До початку заряджання підричник (майстер-підричник) повинен оглянути підривну магістраль та переконатися в її справності.

Забороняється монтувати електропідривну мережу в напрямку від джерела струму або пристрою, що вмикає струм, до заряду.

Для конкретних умов порядок монтування електропідривної мережі визначається паспортом на ведення підривних робіт.

Підривання зарядів із застосуванням радіоімпульсу необхідно здійснювати відповідно до вимог типового проекту БПР, розробленого та затвердженого суб'єктом господарювання, що здійснює підривні роботи.

До підключення ЕД до затискачів виконавчого блока або введення в нього хвилеводів підричник повинен упевнитись, що виконавчий блок заблоковано. Після цього ЕД дозволяється приєднувати до підривної мережі.

Включення струму для підривання зарядів ВР повинно проводитися з безпечного місця. Підричний прилад повинен мати спеціальні клеми для приєднання магістральних проводів електропідривної мережі. Приєднання магістральних проводів до підривного приладу (машинки) необхідно проводити в місці укриття підричника. Під час проведення масового вибуху (МВ) вмикання струму потрібно здійснювати тільки за командою керівника підривних робіт з МВ.

Забороняється проводити електричне підривання безпосередньо від силової або освітлювальної мережі без призначених для цієї мети пристроїв.

Якщо під час включення струму вибух не відбувся, підричник (майстер-підричник) повинен від'єднати від приладу (джерела струму) електропідривну мережу, кінці її замкнути накоротко, взяти із собою ключ від приладу (ящика, в якому перебуває підричний пристрій) і тільки після цього з'ясувати причину відмови. Виходити з укриття в цьому випадку дозволяється не раніше ніж через 10 хвилин незалежно від типу застосовуваних ЕД.

У місцях зберігання під час перевезення та використання ЕД забороняється користуватися джерелами електромагнітного випромінювання (стільниковими телефонами, переносними радіостанціями тощо).

4.4. Заходи боротьби з вібрацією, шумом та пилом

Для боротьби з шумом та вібрацією на кар'єрі проводять наступні заходи:

зменшення шуму шляхом послаблення його в джерелі;

поглинання шуму;

своєчасне, повноцінне змащування обладнання;

використання глушителів та індивідуальних засобів захисту від шуму (проти шумні навушники, антифони).

Для боротьби з вібрацією використовують:

організаційні заходи (10–15-ти хвилинні перерви після кожної години праці, взаємозамінність в бригаді);

використання індивідуальних засобів захисту (віброзахисні рукавиці, взуття та ін.).

При виконанні гірничих робіт експлуатуються бурове, виймально-навантажувальне та транспортне обладнання.

Виділення пилу та газів при видобутку корисних копалин відкритим способом шкідливо діє на здоров'я гірників, приводить до передчасного зносу устаткування і апаратури, забруднює навколишнє середовище.

При виймально-навантажувальних роботах один екскаватор утворює 11 – 15 г пилу з 1 м³ породи. За мінімальними оцінками, в процесі видобутку та транспортування 1 м³ породи утворюється близько 1 кг пилу, який повітряними потоками розноситься в межах і поза межами кар'єру. Запиленість повітря в кабінах операторів гірничих та транспортних машин складає від 1 до 50 і більше мг/м³, що значно перевищує гранично допустимі концентрації.

На сьогодні у нас для зниження інтенсивності пилевиділення з відкритих поверхонь і для пилопригнічення застосовують в основному такі способи:

зрошення водою з добавками хімічно активних речовин, що забезпечують закріплення поверхні;
закріплення бітумною емульсією;
закріплення поверхонь, що пиляться, латексом;
озеленення неробочих площ;
гідропосів.

Одним із шляхів вирішення проблеми винесення пилу з поверхонь хвостосховищ і відвалів є створення штучного покриття на поверхні, що містить більше 50% часток розміром більше, ніж ерозійнонебезпечні. Цього можна досягти шляхом штучного комкування (грануляції) хвостових відкладень.

Аналіз відомих досліджень показує, що для тривалої локалізації пиловиділення з техногенних масивів найбільш перспективним є комплексне застосування фізико-хімічних методів закріплення поверхні з наступною біологічною рекультивацією.

4.5. Безпека в надзвичайних ситуаціях та ліквідація аварій

Згідно з діючими вимогами безпеки на всіх діючих кар'єрах технологічні процеси яких пов'язані з можливими вибухами, пожежами, іншими аварійними ситуаціями, небезпечними для життя і здоров'я працівників та довкілля, повинен бути складений, погоджений із Державною воєнізованою гірничорятувальною службою (ДВГРС) і затверджений керівником підприємства, план ліквідації аварій (ПЛА).

ПЛА складається з метою координації та узгодження дій працівників підприємства і підрозділів ДВГРС у початковий період розвитку аварії, коли можлива поява розгубленості й паніки, відсутності на місці його керівників.

Перші дії з ліквідації аварії та надання допомоги потерпілим виконуються негайно після виявлення її ознак людьми або засобами аварійної сигналізації. Головний інженер або гірничий диспетчер (начальник зміни) після одержання першого повідомлення про виникнення аварії негайно починає виконувати заходи, передбачені ПЛА, і контролює їх виконання. Не допускаються з будь-яких причин затримки виконання заходів ПЛА.

ПЛА щорічно складається або переглядається головним інженером кар'єру, технічним керівником драги або земснаряда, узгоджується з командиром місцевого підрозділу ДВГРС та начальником пожежної частини і затверджується технічним керівником підприємства за 15 днів до початку наступного року (сезону роботи).

До оперативної частини ПЛА, який складається на підприємствах з відкритої розробки корисних копалин і їх переробних комплексах додаються такі документи:

- плани і схеми гірничих робіт кар'єрів, розрізів, схеми допоміжних дренажних, транспортних та інших поверхневих і підземних виробок (за їх наявності);

- схеми транспортних та енергетичних комунікацій на відкритих гірничих роботах;

- схеми протипожежного трубопроводу, місця розташування інших засобів пожежогасіння;

- сумісні плани відкритих і підземних гірничих робіт при комбінованій розробці родовищ – відкритій і підземній;

- по етажні плани з розташуванням технологічного устаткування, схем енергопостачання, розташування засобів пожежогасіння, схем вентиляційних систем та евакуаційних виходів на гірничопереробних підприємствах та інших допоміжних об'єктах гірничодобувних підприємств – складах вибухових матеріалів, компресорних тощо;

- для драг і земснарядів: попалубна схема драги і земснаряда чи іншого об'єкта з нанесенням розташування основного устаткування і виходів;

схеми протипожежного водопроводу, електропостачання, аварійного освітлення, схеми розташування водонепроникних перебірок, монтажних прорізів.

Оперативною частиною ПЛА повинні бути охоплені всі гірничі роботи на кар'єрі та усі види можливих аварій на дразі або земснаряді, які можуть загрожувати безпеці людей. У ній повинні бути передбачені:

а) способи оповіщення про аварію працюючих на всіх виробничих дільницях; шляхи виходу людей з аварійних місць; дії інженерно-технічних працівників, що відповідають за виведення людей, виклик підрозділів ДВГРС і пожежної команди (ПК), шляхи проходження підрозділів ДВГРС і ПК для рятування;

б) використання транспорту для швидкого виведення людей з аварійної дільниці та пересування підрозділів ДВГРС і ПК до місць аварії;

в) призначення осіб, які відповідають за виконання окремих заходів і розстановка постів безпеки;

г) необхідність і послідовність припинення подачі електроенергії на аварійну дільницю;

д) вентиляційні режими кар'єрів, розрізів, при аваріях залежно від місць їх виникнення;

є) методи та засоби рятування людей при пожежах, загазуванні кар'єрів, зсувах, затопленні, прориву греблі, дамб.

Вивчення ПЛА інженерно-технічними працівниками об'єкта контролюється його керівником і здійснюється до початку року. Ознайомлення робітників з правилами особистої поведінки під час аварії відповідно до ПЛА повинно проводитись начальником дільниці під розпис у «Журналі реєстрації ознайомлення робітників із запасними виходами» до початку введення в дію ПЛА. Повторне ознайомлення їх з ПЛА проводиться перед початком кожного півріччя. Забороняється допускати до роботи осіб, не ознайомлених із ПЛА, та які не знають його в частині, що відноситься до місця їх роботи.

Розподіл обов'язків між окремими особами, які беруть участь у ліквідації аварій, і порядок їх дій є важливою складовою частиною ПЛА, що забезпечує координацію робіт з ліквідації аварії.

Відповідальний керівник робіт з ліквідації аварії (головний інженер) негайно приступає до виконання заходів, передбачених оперативною частиною ПЛА; перевіряє, чи викликані підрозділи ДВГРС і пожежна команда; виявляє кількість працюючих, яких захопила аварія; керує роботами згідно з ПЛА; заповнює оперативний журнал; приймає інформацію про хід рятувальних робіт.

Директор і технічний керівник підприємства надають допомогу в ліквідації аварії, не втручаючись в оперативну роботу, виконуючи оперативні завдання відповідального керівника з ліквідації аварії: вживають заходів щодо доставки в кар'єр, на драгу, земснаряд людей та устаткування, які необхідні для ліквідації аварії, організують медичну допомогу потерпілим.

Головний механік і енергетик підприємства забезпечують безперервну подачу електроенергії, необхідний, згідно з ПЛА, вентиляційний режим при пожежі, вживають заходи щодо забезпечення аварійних робіт додатковим устаткуванням. При веденні рятувальних робіт і ліквідації аварій обов'язковими для виконання є тільки розпорядження відповідального керівника робіт з ліквідації аварії.

Висновки до розділу 4

1. Проаналізовано існуючі небезпечні і шкідливі фактори при проведенні гірничих робіт в кар'єрах.

2. Розроблено заходи безпеки при виконанні вибухових робіт при дробленні природно порушених гірських масивів.

3. Наведено вимоги щодо поводження з вибуховими матеріалами під час підричних робіт в кар'єрах.

4. Для своєчасної ліквідації надзвичайних ситуацій по технологічним процесам розроблені плани ліквідації аварій.

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

5.1. Загальні положення щодо розробки стартап-проекту

Розділ магістерських робіт "Розроблення стартап- проекту" присвячений впровадженню першого етапу розробки початкового проекту, а саме маркетингу аспектів початку проекту: вибору ідей, створення концепції продукту , визначення перспектив ринкової реалізації проекту та розробка маркетингової стратегії. Цей розділ є заключною частиною магістерської роботи та здійснюється у формі оцінки можливостей та формування заходів для впровадження інноваційних пропозицій магістратури на ринок.

Метою розділу є створення інноваційного мислення, підприємницького духу та оцінювання спроможності ринкові перспективи та можливості комерціалізації основних науково-технічних розробок, сформованих у попередній частині магістерської роботи, у формі розробки концепції стартового процесу в умовах висококонкурентної ринкової економіки процесів глобалізації [43].

Завдання розділу - проаналізувати перспективи реалізації науково-технічних рішень та пропозицій, запропонованих магістрантом, а також оцінити можливості їх реалізації на ринку.

Під час виконання роботи студенти повинні продемонструвати знання:
сутність та особливості ринку інноваційних продуктів, її інституційні складові;

алгоритм комерціалізації науково-технічних рішень та розробок;

характеристики поведінки споживачів інноваційної продукції;

етапи та принципи аналізу ринкового ситуаційного ринку;
основні групи ринкових факторів, які формують можливості та загрози для реалізації проекту ;
основи пошуку інформації для аналізу ринку;
потенційні джерела фінансування проекту , їх сильні та слабкі сторони;
складові та алгоритм розробки ринкової стратегії для стартап-проекту.

Також під час виконання розділу необхідно продемонструвати вміння:

використовувати ринковий економічний підхід до вирішення наукових та технічних проблем;

аналіз ринкового середовища для стартап-проектів із зазначенням чинників впливу;

побудувати ієрархію чинників, що вказують на суттєві зв'язки між ними, ступінь та характер впливу на стан ринку науково-технічних інновацій;

розробляти заходи щодо комерціалізації стартап-проекту;

сформуванню систему компонентів маркетингової стратегії для стартап-проектів;

управління взаємодією учасників стартап-проекту.

визначити відповідні форми впливу стартап-компанії на ринок відповідно до аналізу ситуації на ринку з урахуванням особливостей його функціонування.
проводити порівняльний аналіз переваг та недоліків різних стартап-проектів.

5.2. Опис ідеї проекту технології руйнування природно порушених гірських масивів

В рамках підпункту аналізуються та подаються:

зміст ідеї (що пропонується);

можливі напрямки застосування;

основні переваги, які може отримати користувач технології (у кожному напрямку застосування);

що відрізняється від існуючих аналогів і замінників

Перші три пункти представлені у формі таблиці (табл. 5.1) та забезпечують узгоджене уявлення про зміст ідеї та можливі основні потенційні ринки, в рамках яких необхідно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 5.1 Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Нові технологічні рішення при вибуховому руйнуванні природно порушених скельних гірських масивів	1. Відкриті гірничі роботи	Підвищення якості подрібнення гірничої маси
	2. Підземні гірничі роботи	Підвищення якості подрібнення гірничої маси
	3. Будівництво об'єктів спеціального призначення	Підвищення якості подрібнення гірничої маси

Аналіз потенційних технічних та економічних переваг ідеї (що відрізняється від існуючих аналогів та замінників) у порівнянні з пропозиціями конкурентів забезпечує:

визначення переліку техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;

визначення попереднього кола конкурентів (конкурентні проекти) або аналогових технологій, вже існуючих на ринку, та збору інформації про значення техніко-економічних показників для ідеї власних проектів та конкурентів у відповідності до переліченого вище списку ;

проведення порівняльного аналізу показників: для власних ідей визначаються показники, що мають:

- а) гірші значення (W, слабкі);
- б) аналогічні (N, нейтральні) значення;
- в) кращі значення (S, сильні) (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

Техніко-економічні характеристики ідеї	Потенційні технології конкурентів		W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
	Мій проект	Конкурент			
1. Перехід на зменшений діаметр свердловинних зарядів	Збільшення питомої витрати ВР	Питома витрата ВР постійна	+	-	-
2. Підривання під шаром раніше зруйнованої породи	Зменшення витрат на екскавацію і навантаження гірничої маси	Ускладненість виймально-навантажувальних процесів	-	-	+
3. Застосування П-подібних схем короткосповільненого підривання	Зменшення витрат на переробку гірничої маси	Витрати на переробку гірничої маси не змінюються	-	-	+

Вказаний список слабких, сильних і нейтральних характеристик і властивостей ідеї потенційного продукту є основою для формування конкурентоспроможності.

5.3. Технологічний аудит ідеї проекту технології руйнування природно порушених гірських масивів

В рамках цього підрозділу необхідно провести аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту (технологію створення продукту). Визначення технологічної доцільності ідеї проекту передбачає аналіз наступних компонентів (табл. 5.3):

- якою технологією буде вироблений товар відповідно до ідеї проекту?
- чи існують такі технології, чи їх потрібно розробляти/вдосконалювати?
- чи доступні такі технології для авторів проекту?

Таблиця 5.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Нові технологічні рішення при вибуховому руйнуванні природно порушених скельних гірських масивів	1. Перехід на зменшений діаметр свердловинних зарядів	так	так
	2. Підривання під шаром раніше зруйнованої породи	так	потрібно доробити
	3. Застосування П-подібних схем короткосповільненого підривання	так	потрібно доробити
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Залежно від гірничо-геологічних і технологічних умов можуть бути використані усі технології			

5.4. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можуть бути використані під час впровадження ринкових проектів та загроз ринкових ризиків, які можуть перешкоджати впровадженню проекту, дозволяє планувати розвиток проекту з урахуванням стану ринкового середовища, потреби потенційних клієнтів та пропозиції проектів від конкурентів.

Спочатку проводиться аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку. Середній рівень рентабельності галузі (або ринку) порівнюється з банківською процентною ставкою по інвестиціях. За умови, що останнє вище, може мати сенс інвестувати в інший проект. Результати аналізу роблять висновок, чи є ринок привабливим для входження за попередньою оцінкою. У майбутньому визначаються потенційні споживачі, їхні характеристики та формується індикативний перелік вимог до товарів для кожної групи.

Визначивши потенційні клієнтські групи, проводиться аналіз ринкового середовища: складаються чинники, що сприяють реалізації проекту на ринку, та фактори, які перешкоджають йому.

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі. Згідно з результатами аналізу таблиці, робиться висновок, що існує принципова можливість працювати на ринку з урахуванням конкурентної ситуації. Він також робить висновок про характеристики (сильні сторони), які повинен мати проект, щоб бути конкурентоспроможним на ринку. Другий висновок враховується при формулюванні переліку чинників конкурентоспроможності. Виходячи з аналізу конкуренції, а також з урахуванням характеристик ідеї проекту, вимоги споживачів до продукту та фактори маркетингового середовища визначають та обґрунтовують перелік факторів конкурентоспроможності.

Останній етап аналізу ринку варіантів реалізації проекту - це компіляція SWOT-аналізу (сила та слабкі) матриць, проблем та можливостей на основі

виявлених ринкових загроз та можливостей, сильних та слабких сторін. Ринкові загрози та ринкові можливості базуються на аналізі факторів загроз та чинників маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, до цих пір немає реального зованих ринків і є шанс їх реалізації. Наприклад, зменшення доходу потенційних клієнтів - чинник загрози, з якого ви можете зробити прогноз для підвищення важливості цінового фактору при виборі товарів і відповідно - цінової конкуренції (а це - загроза для ринку).

5.5. Розроблення ринкової стратегії проекту

Розвиток ринкової стратегії на першому етапі передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

За результатами аналізу потенційних груп споживачів (сегменти) автори ідей вибирають цільові групи, для яких вони запропонують свої технології, та визначити стратегію охоплення ринку:

якщо компанія фокусується на одному сегменті - вона обирає цільову маркетингову стратегію;

якщо працювати з декількома сегментами, розробляти ринкову програму для них окремо - вона використовує стратегію диференційованого маркетингу;

якщо компанія працює з усім ринком, пропонуючи стандартизовану програму (включаючи характеристики продукту / послуги), вона використовує масовий маркетинг.

Споживачами технології руйнування природно порушених гір є гірничодобувні підприємства з видобутку та переробки скельних корисних копалин.

На основі маркетингових досліджень розроблена маркетингова програма, яка включає концепції технології, продаж, просування та попередній аналіз можливостей ціноутворення на основі цінностей та потреб потенційних

споживачів, конкурентних переваг ідеї, стан та динаміку ринкового середовища, в рамках якої буде реалізований проект, та обрана альтернатива ринкової поведінки.

Висновки до розділу 5

1. Технологія руйнування природно порушених гірських масивів має потребу в ринку гірничих технологій і існує можливість комерціалізації ринку цього проекту.

2. Перспективна реалізація технології визначається наявністю потенційних груп клієнтів, а саме гірничодобувних підприємств, які здійснюють буріння в складних гірничо-геологічних умовах, а конкурентоспроможність проекту, що збільшує витрати ВР, компенсує за якість підготовки гірничорудної маси перед його вийманням.

3. Залежно від гірничо-геологічних та технологічних умов, можуть бути використані певні або всі запропоновані технологічні рішення: перехід до зменшеного діаметра зарядів свердловини; підрив під шаром раніше зруйнованої породи; використання П-подібних схем короткосповільненого підривання.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Узагальнений аналіз результатів досліджень показав, що для природно порушених скельних масивів гірських порід є характерним формування нового міжтріщинуватого простору, заповненого водою, повітрям або твердими включеннями. Залежно від характеру формування нового простору, а також у зв'язку з відсутністю сил зчеплення між частками, фізичні властивості порушених порід суттєво відрізняються від монолітних гірських масивів.

2. Аналіз літературних джерел показав, що руйнування природно порушених і тріщинуватих середовищ обумовлено сумісною дією хвиль напружень, що розповсюджуються в середовищі, і поршневою дією продуктів детонації.

3. Встановлено, що різке згасання параметрів хвиль напружень в сильнотріщинуватих неоднорідних порушених середовищах зі збільшенням кількості таких неоднорідностей і їх ширини виключає можливість обґрунтованого розрахунку процесу руйнування таких середовищ, виходячи з пружних хвильових процесів, так само як і розробку інженерних методів управління енергією вибуху з урахуванням параметрів хвиль напружень.

4. Проведені дослідження показують, що механізми руйнування неоднорідних порушених гірських порід і монолітних порід принципово відрізняються. Якщо руйнування монолітних порід є головним чином наслідком дії пружних хвиль напружень, то дроблення порушених порід в зв'язку з надзвичайно інтенсивним загасанням хвиль напружень є наслідком зіткнення монолітних окремоностей в процесі динамічного зсуву породи.

5. Виділено головні особливості руйнування природно порушених скельних масивів гірських порід:

1) різке згасання хвиль напружень і формування в зв'язку з цим лише первинного поля напружень при повній відсутності вторинного поля напружень;

2) руйнування порушених скельних гірських масивів досягається лише в результаті зіткнення шматків гірської породи;

3) основним чинником, що обумовлює різке зниження параметрів хвиль напружень (їх згасання), є відмінність (до 8-10 разів) в акустичних жорсткостях монолітних окремоостей і різних тріщин і неоднорідностей, які їх розділяють.

6. Встановлено, що для оцінки об'єму і ступеня руйнування гірських масивів порушеної структури вибухом дуже важливе значення має швидкість поширення хвиль напружень в реальному масиві, як складової в акустичному імпедансі. Зі збільшенням швидкості поширення повздовжніх хвиль в природно порушеному масиві гірських порід збільшується об'єм їхнього руйнування. Доведено, що зі збільшенням швидкості поширення хвиль напружень з 1000 м/с до 6000 м/с об'єм руйнувань природно порушеного масиву збільшується в 2,2...2,4 рази залежно від типу гірської породи.

7. Експериментальні дослідження руйнування блокових моделей порушених середовищ показали, що при їхньому руйнуванні газоподібні продукти детонації виконують до 80% загальної роботи з дроблення матеріалу моделі. Доведено, що в тріщинуватих гірських масивах, представлених природними окремостями різних розмірів, зменшується хвильова дія вибуху. Аналіз результатів проведених експериментальних досліджень дії хвиль напружень, які виникають в тріщинуватому середовищі блочної будови, показав, що пряма хвиля сильно послаблюється при переході через тріщину і за тріщинами практично не спостерігалася.

8. Рекомендовано при дробленні природно порушених гірських масивів застосовувати свердловинних зарядів ВР зменшеного діаметру до 150-160 мм, що дозволяє при масі заряду 150-200 кг зберегти масштабність багаторядного сповільненого підривання. При цьому знижується середній розмір шматка на фронті дроблення на однакових наведених відстанях по відношенню до свердловинних зарядів великого діаметра.

9. Більш якісне дроблення природно порушених гірських масивів до заданої кусковатості може бути досягнуто скороченням зони утворення

негабариту шляхом руйнування масиву вибухом під шаром попередньо підірваної гірничої маси. Для підривання під попередньо зруйнованим шаром породи вище розташованого уступу на ньому залишають 5-6 м порушеної гірничої маси, що є статичною пригрузкою верхньої частини уступу.

10. Запропоновано для підвищення якості подрібнення природно порушених гірських порід застосувати П-подібні схеми короткосповільненого підривання. Попереднє миттєве підривання по П-подібному контуру серії посиленних зарядів ВР веде до закриття практично будь-якої наявної в масиві порід мережі тріщин, а подальше через 50-60 мс короткосповільнене підривання всередині П-подібного контуру звичайної серії зарядів з інтервалами в 10-25 мс веде до значного поліпшення якості дроблення інтенсивно порушених тріщинами порід, завдяки поширенню хвиль напружень в масиві зі зімкнутими тріщинами.

11. Технологія руйнування природно порушених гірських масивів має попит на ринку гірничих технологій та є можливість ринкової комерціалізації даного стартап-проекту. Перспективність впровадження технології визначається наявністю потенційних груп клієнтів, а саме гірничих підприємств, які проводять буро підривні роботи в складних гірничо-геологічних умовах, та конкурентоспроможністю проекту, який збільшені витрати на ВР компенсує якістю підготовки гірничої маси до виймання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мосинец В. Н. Разрушение трещиноватых и нарушенных горных пород / В. Н. Мосинец, А. В. Абрамов. – М.: Недра, 1982. – 248 с.
2. Временная классификация горных пород по степени трещиноватости в массиве. – М.: ИГД, 1968. – 17с. (Информац. вып. № В-199).
3. Моденко В.Т. Сучасний стан досліджень механізму руйнування тріщинуватих скельних гірських масивів вибухом / О. О. Фролов, В.Т. Моденко / II міжнародна науково-технічна інтернет-конференція «Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі», грудень 2017 р./ Державний вищий національний заклад «Криворізький національний університет.– м. Кривий Ріг: ДВНЗ «КНУ», 2017. – С. 17-18.
4. Мосинец В.Н. Некоторые особенности процесса разрушения горных пород взрывом / В.Н. Мосинец, И.А. Тангаев // Проблема разрушения горных пород взрывом. – М.: Недра, 1967, с. 109-125.
5. Ханукаев А.Н. Энергия волн напряжений при разрушении пород взрывом / А.Н. Ханукаев. – М.: Госгортехиздат, 1962. – 200с.
6. Барон Л.И. Трещиноватость горных пород при взрывной отбойке / Л.И. Барон, Г.П. Личели. – М.: Недра, 1966. – 136с.
7. Каплунов Д.Р. О влиянии структурных особенностей массива на результаты дробления взрывом / Д.Р. Каплунов, А.Н. Ионов // Взрывное дело, № 52/10. – М.: Госгортехиздат, 1963, с. 59-61.
8. Галимуллин А.Т. Изучение формы и размеров объема дробления при взрывании в трещиноватой среде / А.Т. Галимуллин, Ю.Л. Благодаренко // Горн. журн., 1968, № 2, с. 99-103.
9. Турута Е.У. Разрушение трещиноватых горных пород взрывом при различных параметрах зарядов ВВ / Е.У. Турута, А.В. Бруякин // Взрывное дело, № 57/14. –М.: Недра, 1965, с. 82-90.
10. Алтухова Н.В. Два механизма дробления трещиноватых массивов действием взрыва / Н.В. Алтухова // Научные основы создания высоко-

производительных комплексно-механизированных и автоматизированных карьеров. – М., 1973, с. 119-121.

11. О механизме взрывного разрушения блочных сред / Н.И. Мячина, В.А. Никифорова, Родак С.Н. и др. // Новые методы разрушения и механика горных пород: Сб. науч. тр. – Киев: Наук. думка, 1981, с. 129-136.

12. Скрипка В.А. Зависимость результатов взрыва от характера трещиноватости взрываемого массива / В.А. Скрипка, Э.М. Свильтицкий. – Колыма, 1972, № 8, с. 18-19.

13. Турута Н.У. О некоторых особенностях передачи энергии взрыва в трещиноватых горных породах/ Н.У. Турута, Ю.М. Благодаренко, А.В. Каргинский // Взрывное дело, № 73/70. – М.: Недра, 1974, с. 112-116.

14. Bhadari S. Blasting in non-homogeneous rocks. – Austral. Mining, 1974, 66. № 5, p. 42-43, 46-48.

15. Черниговский А.А. Применение направленного взрыва в горном деле и строительстве / А.А. Черниговский. – М.: Недра, 1976. – 315с.

16. Экспериментальные исследования поля скоростей смещения при взрыве в трещиноватых горных породах / Н.У. Турута, Ю.Л. Благодаренко, Д.Ф. Панченко и др. // Взрывное дело, № 71/28. – М.: Недра, с. 118-133.

17. Друкованый М.Ф. К вопросу о влиянии трещиноватости на характер разрушения породного массива взрывом / М.Ф. Друкованый, Ю.В. Гаек, В.В. Мишин // Взрывное дело, № 50/7. – М.: Госгортехиздат, 1962, с. 31-44.

18. Симанов В.Г. О зависимости давления продуктов детонации в скважине от естественной трещиноватости массива / В.Г. Симанов, В.А. Безматерных // Горн. журн. – 1973, № 3, с. 57-61.

19. Усик И.Н. Определение критической ширины трещин и ее роль при разрушении блочных пород взрывом / И.Н. Усик, Ф.К. Касумов // Metallurg. и горноруд. пром-сть, 1976, № 6, с. 68-69.

20. Кутузов Б.Н. Определение размера зоны регулируемого дробления при взрыве заряда в трещиноватом массиве / Б.Н. Кутузов, В.Н. Тюпин. – Горн. журн., 1979, № 8, с. 30-38.

21. Основы теории и методы взрывного дробления горных пород / Под ред. В. М. Комира. – К.: Наук. думка, 1979. – 224с.
22. Вовк А.А. О двух составляющих поля напряжений вблизи заряда ВВ / А.А. Вовк, А.Г. Смирнов, Ю.А. Благодаренко // Физ.-техн. пробл. разраб. полез. ископаемых, 1976, № 6, с. 28-31.
23. Сеинов Н.П. О путях повышения механической работы взрыва / Н.П. Сеинов // Взрывное дело, № 73/30. – М.: Недра, 1974, с. 80-88.
24. Ханукаев А. Н. Энергия волн напряжений при разрушении пород взрывом / А. Н. Ханукаев. – М.: Госгеолтехиздат, 1962. – 199 с.
25. Моденко В.Т. Влияние границы раздела разнопрочностного горного массива на взаимодействие энергетических потоков при взрыве смежных скважинных зарядов /В.Т. Моденко, Л.В. Медяник, А.А. Фролов // Проблемы недропользования: сб. науч. трудов. – Санкт-Петербург: Изд-во Санкт-Петербургского горного университета, – 2017. – Ч. 1. – С. 103-106.
26. Моденко В.Т. Удосконалення вибухового руйнування природно порушених масивів гірських порід на кар'єрах / О. О. Фролов, В.Т. Моденко / Міжнародна науково-технічна інтернет-конференція «Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі», грудень 2016 р./ Державний вищий національний заклад «Криворізький національний університет.– м. Кривий Ріг: ДВНЗ «КНУ», 2016. – С. 14-15.
27. Мосинец В. Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах / В. Н. Мосинец. – М., Недра, 1976. -213 с.
28. Фролов О.О. Встановлення закономірностей руйнування гірських порід вибухом свердловинних зарядів зі сповільненням / О. О. Фролов, В.З. Ващук, В.Т. Моденко, А.В. Куляпіна // Вісник НТУУ "КПІ". Серія "Гірництво": Зб. наук. праць. –2017. – Вип. 32. – С. 44-51.
29. Кутузов Б.Н. Научные основы получения заданной степени дробления при взрыве трещиноватых пород на карьерах / Б. Н. Кутузов, В. К. Рубцов // Использование взрыва в народном хозяйстве. – К., 1970. – Ч. 2. – С. 215-226.

30. Ефремов Э. И. Разрушение горных пород энергией взрыва / Ефремов Э. И.; под ред. Э. И. Ефремова. – К.: Наук. думка, 1987. – 264 с.
31. Турута Н. У. Исследование процесса разрушения трещиноватых пород и действия массовых взрывов при современной технологии взрывных работ на карьерах / Н.У. Турута // Автореф. дис. канд. техн. наук. – Свердловск, 1972. – 32с.
32. Галимуллин А. Т. О скорости распространения упругих волн в трещиноватой среде/ А. Т. Галимуллин, Н. У. Турута, Д. Ф. Панченко, А. В. Карпинский // Физико-техн. пробл. разраб. полезных ископаемых. – М., 1967.
33. Фролов О. О. Особливості розрахунку об'єму руйнування скельних порід під час вибуху свердловинного заряду з урахуванням хвиль напружень / О. О. Фролов // Вісник НТУУ "КПІ". Серія "Гірництво": Зб. наук. праць. –2006. – Вип. 14. – С. 93–101.
34. Ремез Н.С. Численное моделирование динамического поведения многокомпонентной вязкопластической среды под действием взрыва цилиндрического заряда конечной длины // Нелинейные краевые задачи математической физики и их приложения. Сб. научн. Тр. НАН Украины. Ин-т математики. - Киев, 1998. – С. 177-179.
35. Фролов О. О. Вплив швидкості поширення повздовжніх хвиль в гірському масиві на об'єм руйнування скельних порід / О. О. Фролов // Збірник «Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва»: Науково-виробничий збірник. –2008. – Вип. 1/2008 (1). – С. 90-96.
36. Фролов О. О. Дослідження об'єму руйнування скельних порід у залежності від швидкості поширення поздовжніх хвиль у гірському масиві / О. О. Фролов // Вісник НТУУ "КПІ". Серія "Гірництво": Зб. наук. праць. –2008. – Вип. 17. – С. 81-85.
37. Повышение эффективности действия взрыва в твердой среде / В.М. Комир, В.М. Кузнецов, В.В. Воробьев, В.Н. Чебенко. – М.: Недра, 1988. – 209 с.
38. Ефремов Э. И. Прогнозирование дробления горных массивов взрывом / Ефремов Э. И., Петренко В. Д., Пастухов А. И. – К.: Наук. думка, 1990. – 20 с.

39. Механический эффект подземного взрыва / [Под ред. В.Н. Родионова]. – М.: Недра, 1971. – 222 с.

40. Моденко В.Т. Результати промислових досліджень зі встановлення оптимальних інтервалів сповільнення при підривання зарядів вибухових речовин / В. Т. Моденко, О.О. Фролов // Перспективи розвитку будівельних технологій [Текст]: матеріали 11-ї міжнародної науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 26–27 квітня 2017 р. – Д.: Національний гірничий університет, 2017. – С. 53-56.

41. Моденко В.Т. Встановлення раціональних інтервалів сповільнення при підриванні свердловинних зарядів за результатами промислових досліджень / В.В. Долошицький, В.Т. Моденко, О.О. Фролов // Енергетика. Екологія. Людина. Наукові праці НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», ІЕЕ. – Київ: НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», ІЕЕ, 2017. – С. 398-401.

42. Моденко В.Т. Особливості руйнування природно порушених гірських порід / О.В. Довганюк, В.Т. Моденко, О. О. Фролов // Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів [Текст]: матеріали V-ї всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, 18–19 квітня 2018 р. – Ж.: Житомирський державний технологічний університет, 2018. – С.

43. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.