

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Моденко Вікторія Тарасівна

УДК 622.235

**«УДОСКОНАЛЕННЯ ВИБУХОВОГО РУЙНУВАННЯ ПРИРОДНО
ПОРУШЕНИХ МАСИВІВ ГІРСЬКИХ ПОРІД НА КАР'ЄРАХ»**

Спеціальність – 184 «Гірництво»
Спеціалізація – «Розробка родовищ та видобування
корисних копалин»

АВТОРЕФЕРАТ
магістерської дисертації на здобуття ступеня магістра

Київ 2018

Дисертація є рукопис:

Робота виконана на кафедрі геоінженерії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Науковий керівник: проф., д.т.н., доц. Фролов О. О., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Рецензенти: д.т.н., проф. Бойко В.В., Інститут гідромеханіки НАН України, завідувач лабораторії з проблем сейсмічної безпеки технологічних вибухів, м. Київ

Захист відбудеться «21» травня 2018 р. о 14⁰⁰ на кафедрі геоінженерії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: м. Київ, вул. Борщагівська 115, ауд. 511.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

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 буропідривних 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. Тому необхідна розробка принципово нових технологічних методів ведення вибухових робіт, особливо в природно порушених масивах, 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 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 р.).

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі 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.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність теми роботи і необхідність проведення досліджень, сформульовані мета і задачі досліджень, визначена наукова новизна та практичне значення одержаних результатів.

У **першому розділі** проведено аналіз стану досліджень вибухового руйнування природно порушених скельних масивів на кар'єрах. 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.

Узагальнений аналіз результатів досліджень на гірничих роботах дозволив виявити загальний для них механізм формування фізичних властивостей природно порушених гірських порід. 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 порід.

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.

У **другому розділі** проведено дослідження механізму руйнування природно порушених масивів гірських порід вибухом свердловинних зарядів на кар'єрах. При розгляді ж середовищ з різко порушеною структурою тріщинами шириною більше 2 мм встановлено різке зниження напруження на цій ж відстані. 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.

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

$$\sigma_{pc} = \frac{\rho_{BP} C_{BP}^2 \rho_c C_p}{4 \cdot 10^5 g (\rho_{BP} C_{BP} + \rho_c C_p)}, \text{ МПа}, \quad (1)$$

де ρ_{BP} – щільність свердловинного заряду ВР, кг/м^3 ; C_{BP} – швидкість детонації ВР, м/с ; ρ_c – щільність гірського масиву, кг/м^3 ; C_p – швидкість поширення

повздожньої хвилі напружень в монолітному гірському масиві, м/с; g – прискорення вільного падіння, м/с².

Виникаюче на контактї 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, може бути визначено за формулою

$$\sigma_{pc} = \frac{\rho_{BP} C_{BP}^2 \rho_c C_p}{4 \cdot 10^5 g (\rho_{BP} C_{BP} + \rho_c C_p) \left(\frac{l_1}{r_o} \right)^{2 - \frac{\mu_c}{1 - \mu_c}}}, \text{ МПа}, \quad (2)$$

де l_1 – відстань від осі заряду ВР до першої тріщини, м; r_o – радіус заряду, м; μ_c – коефіцієнт Пуассона монолітного середовища.

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

$$\sigma_{ch} = \frac{\rho_{BP} C_{BP}^2 \rho_c C_p}{4 \cdot 10^5 g (\rho_{BP} C_{BP} + \rho_c C_p) \left(\frac{l_1}{r_o} \right)^{2 - \frac{\mu_c}{1 - \mu_c}}} \cdot \frac{2 \rho_n C_n}{(\rho_n C_n + \rho_c C_p)}, \quad (3)$$

де ρ_n – щільність наповнювача тріщини, кг/м³; C_p – швидкість поширення повздожньої хвилі напружень в наповнювачі, м/с.

Далі процес перетворення хвилі напружень і зменшення її інтенсивності продовжується аналогічно попередній послідовності.

На підставі 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.

На рис. 1 показані варіанти загасання напружень на фронті хвиль в залежності від акустичної жорсткості і динамічної стисливості гірських порід, в яких розміщується заряд.

Другою 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 окремоостей 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.

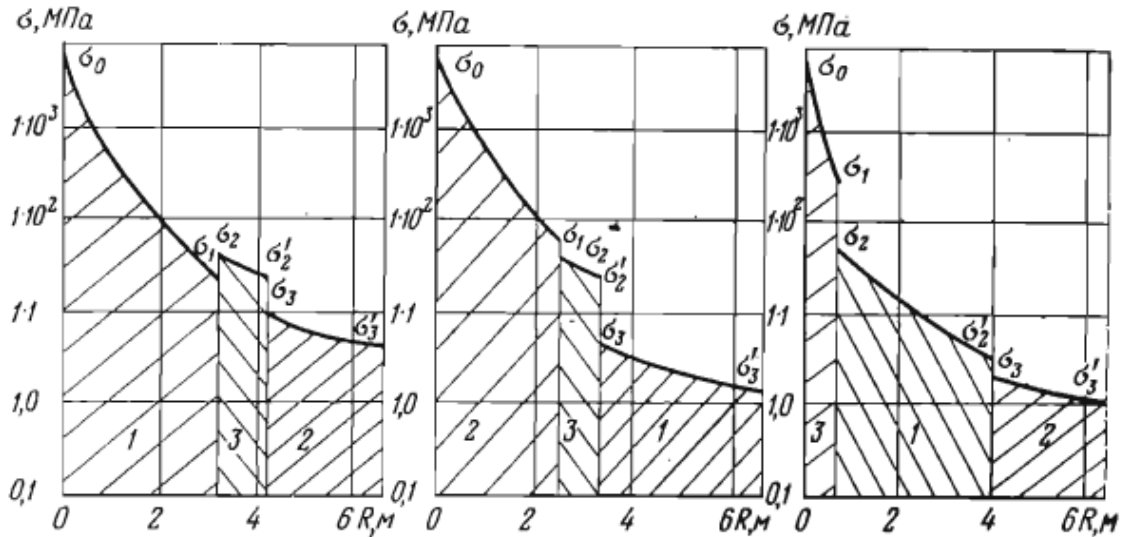


Рис. 1. Характер зміни напружень на фронті хвиль в залежності від акустичної жорсткості середовища, яке підлягає руйнуванню вибухом, в різноманітному поєднанні

Третьою особливістю дроблення порушених гірських порід є те, що основним чинником, що обумовлює різке зниження параметрів хвиль напружень, вважається відмінність в акустичних жорсткостях монолітних окремоостей і різного роду тріщин і неоднорідностей, які їх розділяють. Така відмінність 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, 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.

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. Експериментальні і теоретичні дослідження впливу гірських порід порушеної структури на параметри хвилі напружень дозволили встановити, що середня швидкість поширення поздовжніх хвиль порушеному 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.

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 на рис. 2.

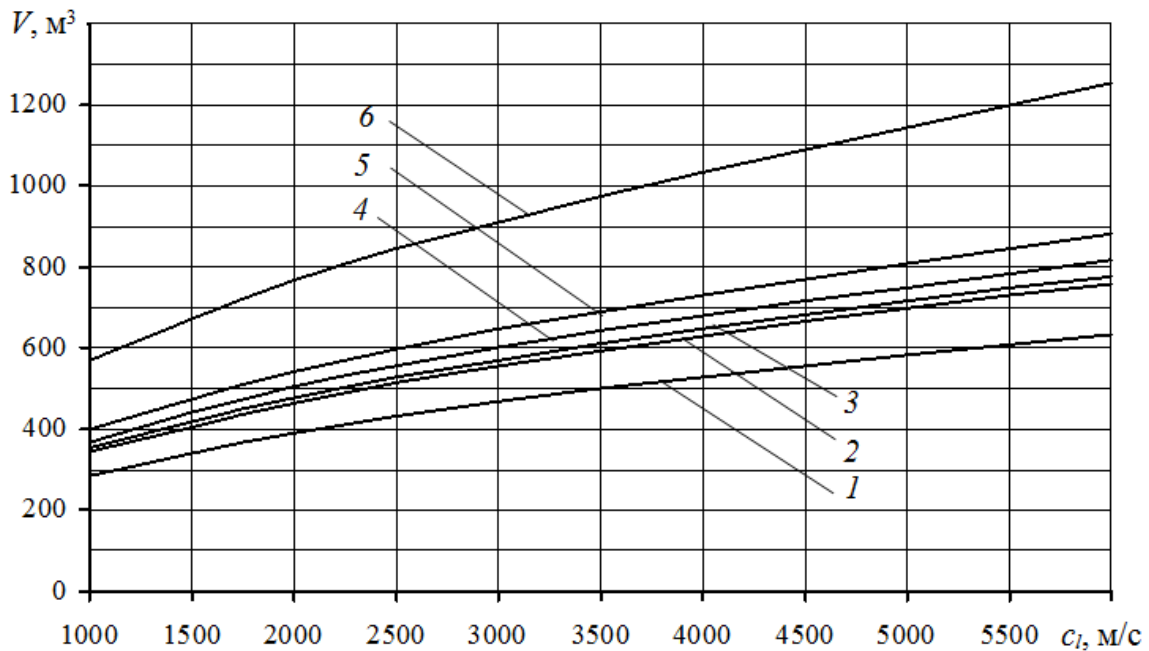


Рис. 2. Залежність між об'ємом руйнування порушених магнетитових кварцитів V і середнім значенням швидкості повздовжніх хвиль c_l для різних типів вибухових речовин: 1 – комполайт ГС-6; 2 – полімікс ГР-1/8; 3 – полімікс ГР4-Т10; 4 – грамоніт 79/21; 5 – полімікс ГР5-Т18; 6 – анемікс 70

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

$$V = a + b \cdot c_l - d \cdot c_l^2, \quad (4)$$

де a, b, d – емпіричні коефіцієнти поліноміальної залежності (табл. 1).

Таблиця 1

Значення емпіричних коефіцієнтів для визначення об'єму руйнувань магнетитового кварциту

№ п/п	Тип ВР	Емпіричні коефіцієнти		
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>d</i>
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	$1,0 \cdot 10^{-5}$

В третьому розділі виконано експериментальні дослідження і технологічні рішення щодо вибухового руйнування природно порушених гірських масивів на кар'єрах.

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 $150 \times 150 \times 150$ 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 фактору окремо.

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 порушених порід газоподібні продукти детонації виконують до 80% загальної роботи з дроблення матеріалу.

Досліджено також вплив хвиль напружень, що виникають в тріщинуватому середовищі блочної будови. На рис. 3 наведені графіки загасання максимальних напружень в прямій хвилі стиснення зі збільшенням r в гіпсових і піщано-цементних моделях. Маса заряду в гіпсових моделях змінювалася від 20 до 400 мг тена, в піщано-цементних – від 20 до 100 мг тена.

Як впливає з рис. 3, 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 не спостерігаються.

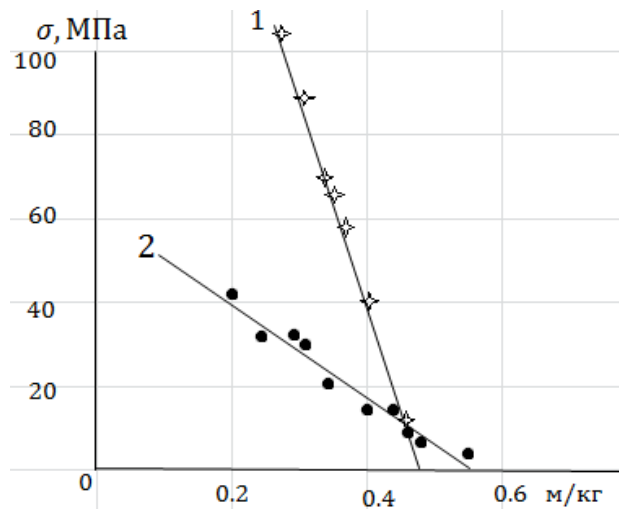


Рис. 3. Залежність амплітуди хвилі стиснення від вибуху зарядів ВР в блочних піщано-цементних (1) і гіпсових (2) моделях з тріщинами

Передача енергії вибуху в середовище, що розбите тріщинами на окремі частини, 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 частин викликає виникнення в середовищі хвилі напружень від зіткнення.

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 хвилям напружень від зіткнення блоків.

На підставі проведених досліджень запропоновані наступні технологічні рішення, які дозволяють підвищити ефективність дроблення природно порушених гірських порід на кар'єрах. Зокрема, 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 відстанях по відношенню до свердловинних зарядів великого діаметра.

Більш якісне дроблення природно порушених гірських масивів до заданої кусковатості може бути досягнуто шляхом руйнування масиву вибухом під шаром попередньо підірваної гірничої маси. Для підривання під зруйнованим

шаром породи вище розташованого уступу на ньому залишають 5-6 м порушеної гірничої маси, що є статичною пригрузкою верхньої частини уступу.

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 порід вищерозташованого уступу:

$$Q = Q_1 + Q_2 = Wa(q_1H + q_2h_n), \text{ кг}, \quad (5)$$

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 – питома витрати ВР при дробленні відповідно монолітних і порушених порід, кг/м³; H – висота уступу, м; h_n – висота при вантаженому шару, м.

Пропонується для підвищення якості подрібнення природно порушених гірських порід застосувати П-подібні схеми короткосповільненого підривання (рис. 4). 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 змкнутими тріщинами.

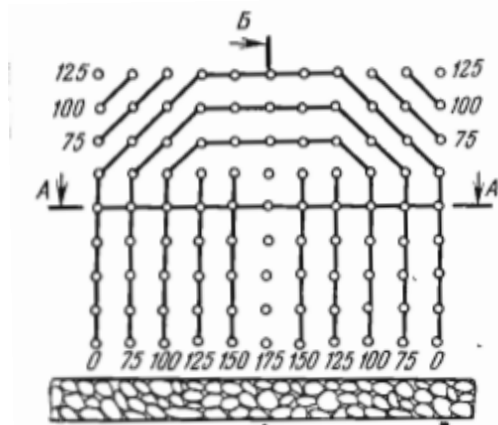


Рис. 4. П-подібна схема багаторядного короткосповільненого підривання з попереднім оконтурюванням блоку

В четвертому розділі наведено основні заходи, щодо забезпечення безпеки гірничих робіт на кар'єрах, що розробляють природно порушені гірські масиви. Проаналізовано існуючі небезпечні і шкідливі фактори при проведенні гірничих робіт в кар'єрах. Розроблено заходи безпеки при виконанні вибухових робіт при дробленні природно порушених гірських масивів. Наведено вимоги щодо поводження з вибуховими матеріалами під час підривних робіт в кар'єрах. Для своєчасної ліквідації надзвичайних ситуацій по технологічним процесам розроблені плани ліквідації аварій.

В п'ятому розділі виконано розробку стартап-проекту. Доведено, що технологія руйнування природно порушених гірських масивів має попит на ринку гірничих технологій та є можливість ринкової комерціалізації даного проекту. Перспективність впровадження технології визначається наявністю потенційних груп клієнтів, а саме гірничих підприємств, які проводять буропідривні роботи в складних гірничо-геологічних умовах, та конкуренто-спроможністю проекту, який збільшення витрати на ВР компенсує якістю підготовки гірничої маси до виймання.

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 окремоостей 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 привантаженням верхньої частини уступу.

10. Запропоновано для підвищення якості подрібнення природно порушених гірських порід застосовувати 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.

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 бурі підривні роботи в складних гірничо-геологічних умовах, та конкурентоспроможністю проекту, який збільшені витрати на ВР компенсує якістю підготовки гірничої маси до виймання.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

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 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.

5. 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.

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.

АНОТАЦІЯ

Моденко В.Т. Удосконалення вибухового руйнування природно порушених масивів гірських порід на кар'єрах. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня магістра за спеціальністю 184 «Гірництво» спеціалізації «Розробка родовищ та видобування корисних копалин». – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, 2018.

Дисертація присвячена удосконаленню технології руйнування природно порушених скельних масивів гірських порід вибухом свердловинних зарядів на кар'єрах. В роботі підтверджено, що для природно порушених скельних масивів гірських порід характерним є 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.

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

Для оцінки об'єму 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.

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

На підставі проведених досліджень запропоновані наступні технологічні рішення, які дозволяють підвищити ефективність дроблення природно порушених гірських порід на кар'єрах: застосовувати свердловинних зарядів ВР зменшеного діаметру; руйнування масиву вибухом під шаром попередньо підірваної гірничої маси; питома витрата ВР повинна прийматися окремо для первинного об'єму гірського масиву, що підлягає руйнуванню, та для попередньо порушених порід вищерозташованого уступу; для підвищення якості подрібнення природно порушених гірських порід застосувати П-подібні схеми короткосповільненого підривання.

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

АННОТАЦИЯ

Моденко В.Т. Совершенствование взрывного разрушения естественно нарушенных массивов горных пород на карьерах. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени магистра по специальности 184 «Горное дело» специализации «Разработка месторождений и добыча полезных ископаемых». - Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев, 2018.

Диссертация посвящена усовершенствованию технологии разрушения естественно нарушенных скальных массивов горных пород взрывом скважинных зарядов на карьерах. В работе подтверждено, что для естественно нарушенных скальных массивов горных пород характерно формирование нового пространства между трещинами, заполненного водой, воздухом или твердыми включениями. В зависимости от характера формирования нового пространства, а также в связи с отсутствием сил сцепления между частицами, физические свойства нарушенных пород существенно отличаются от монолитных горных массивов.

Установлено резкое угасание параметров волн напряжений в нарушенных средах с увеличением количества неоднородностей и их ширины исключает возможность обоснованного расчета процесса разрушения таких сред, исходя из упругих процессов, так же как и разработку инженерных методов управления энергией взрыва с учетом волн напряжений.

Для оценки объема разрушения горных массивов нарушенной структуры взрывом важное значение имеет скорость распространения волн напряжений в реальном массиве, как составляющей в акустическом импедансе. С увеличением скорости распространения продольных волн в естественно нарушенном массиве горных пород увеличивается объем их разрушения.

Экспериментальные исследования разрушения моделей нарушенных сред показали, что при их разрушении газообразные продукты врыва выполняют до 80% общей работы по дроблению нарушенных пород. Анализ результатов экспериментальных исследований воздействия волн напряжений, возникающих в трещиноватых среде, показал, что прямая волна сильно ослабляется при переходе через трещину и за трещинами практически не наблюдалась.

На основании проведенных исследований предложены следующие технологические решения, которые позволяют повысить эффективность дробления естественно нарушенных горных пород на карьерах: применение скважинных зарядов уменьшенного диаметра; разрушение массива взрывом под слоем предварительно взорванной горной массы; удельный расход ВВ должен приниматься отдельно для первоначального объема горного массива, подлежащего разрушению, и для предварительно нарушенных пород вышерасположенного уступа; для повышения качества измельчения естественно нарушенных горных пород применять П-образные схемы короткозамедленного взрывания.

Ключевые слова: естественно нарушенный горный массив, трещины, взрыв, горные породы, скважинный заряд, карьер.

ABSTRACT

Modenko V.T. Improving the explosive destruction of naturally disturbed rock masses in quarries. - Manuscript.

Thesis for a master's degree in specialty 184 "Mining" specialization "Development of deposits and extraction of minerals." - National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky", Kiev, 2018.

The thesis is devoted to the improvement of technology of destruction of naturally disturbed rock massifs of rocks by explosion of borehole charges in quarries. The paper confirms that for a naturally disturbed rock massif of rocks, formation of a new space between cracks filled with water, air or solid inclusions is characteristic. Depending on the nature of the formation of the new space, and also in connection with the lack of cohesion forces between the particles, the physical properties of the disturbed rocks differ substantially from monolithic mountain massifs.

The sharp extinction of the parameters of stress waves in disturbed media with an increase in the number of inhomogeneities and their width excludes the possibility of a justified calculation of the process of destruction of such media, proceeding from elastic processes, as well as the development of engineering methods for controlling the energy of an explosion taking into account stress waves.

To estimate the volume of destruction of mountain massifs of the damaged structure by an explosion, the speed of propagation of stress waves in a real array, as a component in acoustic impedance, is important. With an increase in the propagation velocity of longitudinal waves in a naturally disturbed massif of rocks, the volume of their destruction increases.

Experimental studies of the destruction of models of disturbed media have shown that when they are destroyed, gaseous products of an explosion perform up to 80% of the total work on breaking up disturbed rocks. An analysis of the results of experimental studies of the effect of stress waves arising in fractured media showed that the direct wave is strongly attenuated when passing through a crack and behind cracks was practically not observed.

On the basis of the conducted researches the following technological solutions are offered, which allow to increase the efficiency of crushing of naturally disturbed rocks in quarries: application of downhole charges of reduced diameter; destruction of the massif by explosion under a layer of pre-exploded rock mass; the specific consumption of explosives should be taken separately for the initial volume of the rock mass to be destroyed and for the previously disturbed rocks of the upper ledge; To improve the quality of crushing naturally disturbed rocks, use U-shaped schemes for short-delayed blasting.

Key words: naturally disturbed mountain massif, cracks, explosion, rocks, borehole charge, quarry.