

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РУЙНУВАННЯ СКЕЛЬНИХ ПОРІД ВИБУХОМ СВЕРДЛОВИННОГО ЗАРЯДУ ДЛЯ УМОВ КАР'ЄРУ ВАТ «ПОЛТАВСЬКИЙ ГЗК»

О. О. Фролов, канд. техн. наук (НТУУ «КПІ»)

Для исследования эффективности разрушения скальных горных пород предложено использовать решение пространственной задачи о распространении волн напряжений. Приведены основные физико-механические свойства горных пород, в которых проводятся взрывные работы, и их расчетные объемы разрушения при взрыве скважинных зарядов взрывчатых веществ, используемых при производстве массовых взрывов.

Одним з головних показників, які використовуються при проектуванні буропідричних робіт (БПР), є питома витрата вибухової речовини (ВР). В технічній літературі наведено декілька класифікацій гірських порід з зазначенням питомої витрати ВР, яка необхідна для дроблення цих гірських масивів [1, 2, 3]. У багатьох випадках ця питома витрата ВР є еталонним значенням, яке потім перераховується за допомогою емпіричних коефіцієнтів на фактичне з урахуванням умов залягання, типу ВР та інш. Реальні ж фактичні значення питомої витрати ВР на конкретному гірничому підприємстві зазвичай відрізняються від розрахункових і формуються впродовж тривалого часу на основі практичного досвіду проведення підричних робіт. При цьому враховуються як фізико-механічні властивості гірських порід, так і характеристики застосовуваних ВР. Тому дослідження по встановленню ефективності руйнування масиву гірських порід вибухом в залежності від їх властивостей і типу та характеристик промислових ВР є, безумовно, актуальними.

Взаємний вплив фізико-механічних властивостей гірського масиву та типу ВР на об'єм руйнування скельних порід є об'єктом досліджень впродовж багатьох років, оскільки від правильності вибору типу ВР і параметрів БПР залежить вартість та якість дроблення масиву гірських порід. Найбільш достовірними є експериментальні дослідження, які виконуються методом воронкоутворення в конкретних гірничо-геологічних умовах [4]. Однак вони не набули широкого розповсюдження, тому що є досить трудоемними.

Розрахункові методи, які дозволяють наближено встановити форму та об'єм воронки дроблення при вибуху подовженого заряду ВР у скельних породах, запропоновано у праці [5]. Однак такі дослідження не відображають в повній мірі експериментальних даних, особливо для умов гірських масивів порушеної структури [6].

Для дослідження ефективності руйнування скельних порід вибухом свердловинного заряду пропонується використовувати просторову задачу про поширення хвиль напружень, утворених при вибуху подовжених зарядів ВР [7],

оскільки вважається, що ці хвилі створюють напружений стан у гірському масиві, що є причиною виникнення мікро- та макротріщин [8].

Напруження в цьому випадку визначається через потенціали

$$\begin{cases} \sigma_{rr} = 2\mu \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial r^2} - \frac{\partial^2 \Psi}{\partial r \partial z} \right) + \frac{\lambda}{c_l^2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2}; \\ \sigma_{rz} = 2\mu \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial r \partial z} - \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} \right) + \rho \frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2}, \end{cases} \quad (3)$$

де r – радіальна координата; z – осьова координата; t – час; c_l – швидкість поширення поздовжніх хвиль у породі; Φ , Ψ – хвильові потенціали, які визначаються за допомогою хвильових рівнянь руху середовища [9] і розраховуються методом, наведеним у праці [10]; ρ – щільність гірської породи; λ , μ – коефіцієнти Ляме:

$$\lambda = \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)}; \quad \mu = \frac{E}{2(1+\nu)},$$

де E – модуль пружності; ν – коефіцієнт Пуассона.

Для отримання чисельних результатів при розв'язанні таких просторових задач використовуємо чисельний метод сіток [11].

Порівнюючи розрахункові значення напружень, які виникають в елементарному об'ємі гірського масиву при вибуху свердловинного заряду ВР, з критичними напруженнями руйнування гірської породи на розтягнення та стиснення, встановимо можливість руйнування гірського масиву. Якщо в якийсь момент часу розрахункові напруження будь-якої точки перевищують критичні значення, то цей елементарний об'єм гірської породи вважається зруйнованим.

В цьому розрахунковому методі враховується вплив гідростатичного тиску, затрати енергії на розкидання і винесення зруйнованої гірської породи, затухання хвиль напружень.

Характеристики ВР, що використовуються при проведенні масових вибухів на кар'єрі ДнРУ ВАТ „Полтавський ГЗК”, наведено у табл. 1, фізико-механічні властивості скельних гірських порід – в табл. 2.

Таблиця 1. Основні характеристики промислових ВР для руйнування гірських порід кар'єру ДнРУ „Полтавський ГЗК”

Тип ВР	Щільність заряд- жання, кг/м ³	Швидкість дето- нації, м/с	Середній початковий тиск газів вибуху, Па
Грамоніт 79/21	900	3600	1,46·10 ⁹
Анемікс Р-70	1250	5000	3,91·10 ⁹
Полімікс ГР4-Т10	1020	3200	1,31·10 ⁹
Полімікс ГР5-Т18	960	3800	1,73·10 ⁹
Полімікс ГР1/8	800	3500	1,23·10 ⁹
Комполайт ГС6	1060	2500	0,83·10 ⁹

Таблиця 2. Фізико-механічні властивості гірських порід кар'єру ДнРУ ВАТ „Полтавський ГЗК”

Гірська порода	Щільність породи ρ , кг/м ³	Критичне значення напруження руйнування на розтягнення $\sigma_{кр}^t$, Па	Критичне значення напруження руйнування на стиснення $\sigma_{кр}^c$, Па	Критичне значення напруження руйнування на зсув $\sigma_{кр}^\tau$, Па	Швидкість поширення поздовжніх хвиль у породі c_b , м/с	Швидкість поширення поперечних хвиль у породі c_t , м/с	Модуль пружності E , Па	Коефіцієнт Пуассона ν
Сланець кварц-слюдистий	2870	$0,99 \cdot 10^7$	$0,88 \cdot 10^8$	$3,9 \cdot 10^7$	5160	3390	$7,4 \cdot 10^{10}$	0,12
Кварц магнетитовий	3470	$2,08 \cdot 10^7$	$2,1 \cdot 10^8$	$12,5 \cdot 10^7$	5410	3080	$8,3 \cdot 10^{10}$	0,26
Кварц кумінгтоніто-магнетитовий	3310	$1,69 \cdot 10^7$	$1,38 \cdot 10^8$	$8,3 \cdot 10^7$	5470	3200	$8,4 \cdot 10^{10}$	0,24
Сланець кварц-біотитовий	3140	$1,18 \cdot 10^7$	$0,6 \cdot 10^8$	$3,6 \cdot 10^7$	4750	3230	$7,0 \cdot 10^{10}$	0,07
Кварцит безрудний	2840	$1,28 \cdot 10^7$	$1,3 \cdot 10^8$	$7,1 \cdot 10^7$	5070	3040	$6,4 \cdot 10^{10}$	0,22
Плагіограніт, мігматит	2750	$1,59 \cdot 10^7$	$1,1 \cdot 10^8$	$6,3 \cdot 10^7$	5470	3350	$7,4 \cdot 10^{10}$	0,20
Амфіболіти	2900	$1,62 \cdot 10^7$	$0,91 \cdot 10^8$	$5,36 \cdot 10^7$	5725	3390	$8,2 \cdot 10^{10}$	0,23
Сланець вивітрилий	2890	$0,99 \cdot 10^7$	$0,61 \cdot 10^8$	$3,54 \cdot 10^7$	4760	3080	$6,25 \cdot 10^{10}$	0,14
Кварцит залізистий вивітрилий	3350	$0,72 \cdot 10^7$	$0,8 \cdot 10^8$	$4,36 \cdot 10^7$	3610	2300	$4,1 \cdot 10^{10}$	0,16
Гранітоїди	2690	$0,45 \cdot 10^7$	$0,52 \cdot 10^8$	$2,82 \cdot 10^7$	4170	2800	$4,6 \cdot 10^{10}$	0,09

Таблиця 3. Об'єми руйнування гірських порід (м³) вибухом свердловинного заряду різних типів ВР

Гірська порода	Тип вибухової речовини					
	Грамоніт 79/21	Анемікс Р-70	Полімікс ГР4-Т10	Полімікс ГР5-Т18	Полімікс ГР1/8	Комполайт ГС6
Сланець кварц-слюдистий	1013,48	1661,64	959,96	1103,20	930,42	766,16
Кварц магнетитовий	749,58	1161,26	711,76	810,02	693,04	576,80
Кварц кумінгтоніто-магнетитовий	825,48	1270,22	785,02	888,44	764,16	638,76
Сланець кварц-біотитовий	885,04	1474,68	836,54	965,46	812,92	672,42
Кварцит безрудний	900,64	1388,58	858,28	971,14	835,54	700,44
Плагіограніт, мігматит	887,56	1372,88	842,96	954,92	821,80	688,38
Амфіболіти	879,28	1355,02	837,06	948,88	814,58	681,36
Сланець вивітрилий	981,06	1617,28	929,54	1070,78	901,12	745,18
Кварцит залізистий вивітрилий	936,70	1523,80	886,94	1018,88	861,06	709,24
Гранітоїди	1206,24	2147,86	1141,64	1312,44	1105,84	904,40

Для визначення ефективності дроблення кожної скельної породи виконувався розрахунок об'ємів руйнування гірського масиву вибухом для всіх наведених типів ВР. Середнє значення довжини свердловини, яка використовується в кар'єрі, становить 14 м; діаметр свердловини прийнятий 200 мм (для зручності розрахунку).

Результати розрахунку об'ємів руйнування гірських порід вибухом свердловинного заряду наведено в табл. 3.

Аналіз проведених розрахунків свідчить про те, що:

об'єм руйнування гірської породи функціонально залежить від типу ВР, зокрема від створюваного ним середнього початкового тиску газів вибуху;

вплив фізико-механічних властивостей гірських порід на ефективність дроблення є комплексним, тому очевидного взаємозв'язку між властивістю гірської породи (наприклад, щільністю) і об'ємом руйнування не спостерігається.

У зв'язку з цим подальші дослідження повинні бути спрямовані на встановлення комплексного взаємозв'язку між властивостями гірських порід і ефективністю їх руйнування.

1. *Ефремов Э. И., Вовк А. А.* Справочник по взрывным работам. – К.: Наук. думка, 1983. – 328 с.
2. *Бруякин А. В., Воробьев В. Д.* Буровзрывные работы в строительстве: Краткий справочник. – К.: Будівельник, 1993. – 117 с.
3. *Кравець В. Г., Воробйов В. Д., Кузьменко А. О.* Підривні роботи на кар'єрах / Навч. посібник. – К.: ІСДО, 1994. – 376 с.
4. *Воробьев В. Д.* Методы дробления анизотропных пород на основе регулирования параметров импульса взрыва комбинированных зарядов: Дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.11. – К., 1995. – 419 с.
5. *Фролов О. О.* Встановлення закономірностей зміни радіуса зони дроблення при руйнуванні масивів скельних порід // Вісник НТУУ „КПІ”. Серія „Гірництво”: Зб. наук. праць. – К.: НТУУ „КПІ”. – 2000. – Вип. 2. – С. 58–63.
6. *Воробьев В. Д., Масюкевич А. М., Косьмин И. В.* О радиусе воронки дробления в скальных породах при взрыве удлиненного заряда взрывчатого вещества // Вісник НТУУ „КПІ”. Серія „Гірництво”: Зб. наук. праць. – К.: НТУУ „КПІ”. – 2002. – Вип. 7. – С. 44–54.
7. *Разрушение горных пород энергией взрыва / Под ред. Э. И. Ефремова.* – К.: Наук. думка, 1987. – 264 с.
8. *Прогнозирование дробления горных массивов взрывом / Е. И. Ефремов, В. Д. Петренко, А. И. Пастухов.* – К.: Наук. думка, 1990. – 120 с.
9. *Новацкий В.* Теория упругости. – М.: Мир, 1975. – 872 с.
10. *Бондарчук В. И., Фролов А. А.* Определение напряженного состояния массива горных пород при взрыве скважинного заряда // Вісник ЖІТІ. – 2003. – №1(24) / Технічні науки. – С. 202–204.
11. *Фролов О. О.* Особливості розрахунку об'єму руйнування скельних порід під час вибуху свердловинного заряду з урахуванням хвиль напружень // Вісник НТУУ „КПІ”. Серія „Гірництво”: Зб. наук. праць. – К.: НТУУ „КПІ”. – 2006. – Вип. 14. – С. 93–101.