

ДОСЛІДЖЕННЯ ОБ'ЄМУ РУЙНУВАННЯ СКЕЛЬНИХ ПОРІД У ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ШВИДКОСТІ ПОШИРЕННЯ ПОЗДОВЖНИХ ХВИЛЬ У ГІРСЬКОМУ МАСИВІ

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

Предложен метод расчета объема разрушения массива горных пород при взрыве скважинного заряда с учетом скорости распространения волн напряжений. Получена зависимость между средним значением скорости распространения продольных волн и объемом разрушения скальных пород.

Запропоновано метод розрахунку об'єму руйнування масиву гірських порід при вибуху свердловинного заряду з урахуванням швидкості поширення хвилі напружень. Отримано залежність між об'ємом руйнування скельних порід і середнім значенням швидкості поширення поздовжніх хвиль.

The method of calculation of rock destruction amount at explosion of the blasthole charge with taking into account the stress wave velocity is suggested. Functional connection between the average value of longitudinal wave velocity and amount of hard rocks destruction is obtained.

На ефективність подрібнення гірських порід вибухом істотно впливають фізико-механічні властивості та структурні характеристики гірського масиву [1]. Однією з таких характеристик є тріщинуватість гірських порід, яка суттєво впливає на процес і результат їх вибухового руйнування. Для оцінки об'єму і ступеня руйнування тріщинуватих гірських порід вибухом дуже важливе значення має швидкість поширення хвилі напружень у реальному масиві [2]. Тому питання дослідження впливу швидкості поширення поздовжніх хвиль на об'єм руйнування гірських порід є досить актуальними.

Проведені експериментальні і теоретичні дослідження впливу тріщинуватості порід на параметри хвилі напружень дозволили встановити, що середня швидкість поширення поздовжніх хвиль у тріщинуватому масиві порід при щільному контакті між окремостями залежить від їх кількості, розмірів окремостей і заповнювача тріщин у напрямку руху хвилі, часу проходження хвилі по окремості і заповнювача тріщин [3]. Однак аналітична залежність між швидкістю поширення поздовжніх хвиль і руйнуванням тріщинуватого масиву гірських порід не була встановлена.

Тому метою даної роботи є дослідження впливу швидкості поширення поздовжніх хвиль на зміну об'єму руйнування гірських порід при вибуху свердловинного заряду. Ці дослідження пропонується провести на основі розрахункового методу, в якому використовується розв'язок просторової задачі про поширення хвиль напружень, утворених при вибуху подовжених зарядів вибухової речовини (ВР) [4].

У цьому випадку напруження визначаються за формулою

$$\begin{cases} \sigma_{rr} = \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \left[\frac{1-\nu}{\nu} \frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{u_r}{r} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right]; \\ \sigma_{rz} = \frac{E}{2(1+\nu)} \left[\frac{\partial u_r}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial r} \right], \end{cases} \quad (1)$$

де E – модуль пружності; ν – коефіцієнт Пуассона; u_r , u_z – переміщення, які розраховуються за формулами

$$\begin{cases} u_r = \frac{\partial \Phi}{\partial r} - \frac{\partial \Psi}{\partial z}; \\ u_z = \frac{\partial \Phi}{\partial z} + \frac{\partial \Psi}{\partial r} + \frac{\Psi}{r}, \end{cases} \quad (2)$$

де r і z – радіальна і осьова координати; Φ , Ψ – хвильові потенціали руху середовища.

Хвильові потенціали руху середовища можна виразити через хвильові рівняння [5], які мають вигляд

$$\begin{cases} \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} - \frac{1}{c_l^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right) \Phi(r, z, t) = 0; \\ \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} - \frac{1}{r^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} - \frac{1}{c_t^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right) \Psi(r, z, t) = 0, \end{cases} \quad (3)$$

де t – час; c_l – швидкість поширення поздовжніх хвиль у породі; c_t – швидкість поширення поперечних хвиль у породі.

Використовуючи рівняння (2) і (3), напруження (1) можна представити у вигляді

$$\begin{cases} \sigma_{rr} = 2\mu \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial r^2} - \frac{\partial^2 \Psi}{\partial r \partial z} \right) + \frac{\lambda}{c_l^2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2}; \\ \sigma_{rz} = 2\mu \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial r \partial z} - \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} \right) + \rho \frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2}, \end{cases} \quad (4)$$

де ρ – щільність гірської породи; λ , μ – коефіцієнти Ляме:

$$\lambda = \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)}; \quad \mu = \frac{E}{2(1+\nu)}. \quad (5)$$

Для отримання чисельних результатів при розв'язанні таких просторових задач пропонується застосовувати чисельний метод сіток, запропонований для визначення напруженого стану масиву гірських порід, утвореного вибухом подовженого заряду [6], який враховує вплив глибини h на процес руйнування та затухання хвиль напружень [7].

Таким чином, визначивши значення напружень σ_{rr} та σ_{rz} у будь-якій точці масиву гірських порід і порівнявши їх з межею міцності даної породи, можна встановити можливість руйнування в цій точці, а відповідно і геометрію та об'єм зруйнованої породи.

Для досліджень використовувався масив гірських порід, складений з магнетитових кварцитів. Основні характеристики магнетитових кварцитів такі: щільність породи $\rho = 3400 \text{ кг/м}^3$; критичне значення напруження руйнування на розтягнення $\sigma_{кр}^t = 2,08 \cdot 10^7 \text{ Па}$; критичне значення напруження руйнування на стиснення $\sigma_{кр}^c = 2,1 \cdot 10^8 \text{ Па}$; критичне значення напруження руйнування на зсув $\sigma_{кр}^r = 1,3 \cdot 10^8 \text{ Па}$; швидкість поширення поздовжніх хвиль у породі $c_l = 5300 \text{ м/с}$; швидкість поширення поперечних хвиль у породі $c_t = 4700 \text{ м/с}$; модуль пружності $E = 8,3 \cdot 10^{10} \text{ Па}$; коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,26$.

Масив гірських порід підривається свердловинним зарядом грамоніту 79/21. Щільність заряджання ВР становить 950 кг/м^3 , швидкість детонації – 3600 м/с . Довжина свердловини – 14 м , діаметр свердловини – 200 мм .

Для того, щоб дослідити вплив швидкості поширення поздовжніх хвиль у гірському масиві на об'єм руйнування гірських порід вибухом, швидкість поширення поздовжньої хвилі напружень змінювалась в діапазоні від 6000 м/с до 1000 м/с з інтервалом 1000 м/с .

Результати розрахунку об'єму руйнування масиву гірських порід при вибуху свердловинного заряду наведено в таблиці.

Значення об'єму руйнування масиву гірських порід в залежності від швидкості поширення поздовжніх хвиль

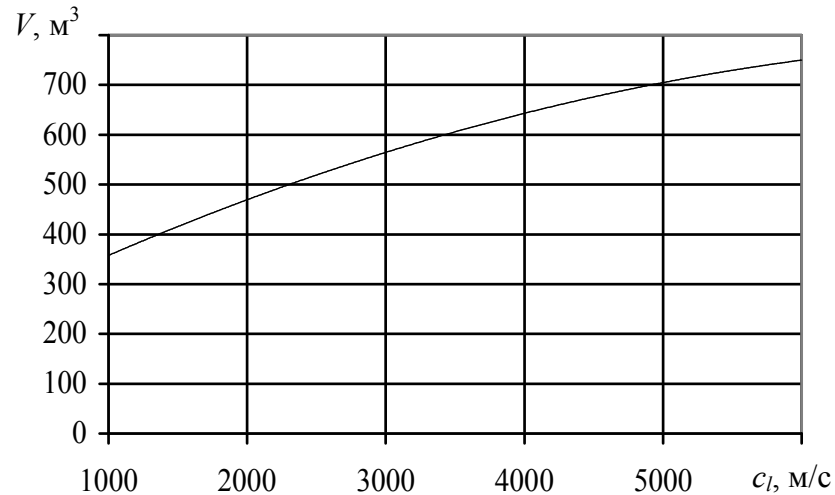
Швидкість поширення поздовжньої хвилі (c_l), м/с	6000	5000	4000	3000	2000	1000
Об'єм воронки руйнування (V), м ³	756,8	698,2	634,6	559,4	496,4	344,0

Згідно з розрахунковими значеннями таблиці побудовано залежність між об'ємом руйнування масиву гірських порід V і середнім значенням швидкості поздовжньої хвилі c_l (рисунок).

З рисунка видно, що залежність $V = f(c_l)$ можна описати поліноміальною функцією n -го порядку. Поліном 2-го порядку в цьому випадку матиме вигляд

$$V = 229,34 + 136,74 c_l - 8,33 c_l^2. \quad (6)$$

Формула (6) характеризує залежність між об'ємом руйнування масиву гірських порід і швидкістю поширення поздовжніх хвиль напружень тільки для магнетитових кварцитів. Для різних гірських порід ця залежність, очевидно, матиме інший характер. Отримання і узагальнення таких даних є предметом подальших досліджень.



Залежність між об'ємом руйнування масиву гірських порід V при вибуху свердловинного заряду і середнім значенням швидкості поздовжніх хвиль c_l

Висновки

На об'єм руйнування гірських порід вибухом важливий вплив має швидкість поширення хвилі напружень в гірському масиві, яка в свою чергу залежить від тріщинуватості порід.

Розв'язанням просторової задачі про поширення хвиль напружень можна дослідити вплив швидкості поширення поздовжніх хвиль на об'єм руйнування скельних порід при вибуху свердловинного заряду.

Отримано аналітичну залежність між об'ємом руйнування масиву гірських порід V і середнім значенням швидкості поздовжньої хвилі c_l при вибуху свердловинного заряду.

Результати досліджень дають можливість продовжити вивчення впливу тріщинуватості гірських порід на характер і закономірності подрібнення масиву вибухом свердловинних зарядів.

1. *Механика взрывного разрушения пород различной структуры* / Э. И. Ефремов, В. Д. Петренко, Н. П. Рева, И. Л. Кратковский. – К.: Наук. думка, 1984. – 192 с.

2. *О скорости распространения упругих волн в трещиноватой среде* / Галимуллин А. Т., Турута Н. У., Панченко Д. Ф., Карпинский А. В. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – М.: Недра, 1967.

3. *Турута Н. У. Исследование процесса разрушения трещиноватых пород и действия массовых взрывов при современной технологии взрывных работ на карьерах (применительно к открытой разработке известняков и гранитов)*: Автореф. дис ... докт. техн. наук. – Свердловск: СГИ, 1972. – 32 с.

4. *Разрушение горных пород энергией взрыва* / Под ред. Э. И. Ефремова. – К.: Наук. думка, 1987. – 264 с.

5. *Новацкий В. Теория упругости*. М.: Мир, 1975. – 872 с.

6. *Лотоус К. В., Кучма М. Ф., Фролов О. О.* Встановлення напруженого стану гірських порід при вибуху подовжених зарядів // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук: КДПУ, 2004. – Вип. 6/2004 (29). – С. 121–123.

7. *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.