

ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ РОЗРАХУНКУ ОБ'ЄМУ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ПІД ЧАС ВИБУХУ СИСТЕМ ПОДОВЖЕНИХ ЗАРЯДІВ

О. О. Фролов, канд. техн. наук (НТУУ „КПІ”)

Выполнен анализ методов исследований эффективности разрушения горных пород при взрыве удлиненных зарядов взрывчатого вещества. Предложено исследовать действие взрыва двух рядом расположенных скважинных зарядов с помощью определения напряженного состояния массива горных пород.

Methods used for investigation of rocks destruction effectiveness at explosion of the extended explosive charges are analysed. Blast effect of two nearby located hole charges has been investigated by means of definition the stress condition of rock mass.

Дослідження ефективності руйнування гірських порід при проведенні масових вибухів на кар'єрах у більшості випадків базується на розгляді вибуху одиночного подовженого заряду. Руйнування, які утворюються під час вибуху такого заряду, оцінюються теоретично, аналітично і на підставі лабораторних і промислових експериментів. Зокрема, при проведенні теоретичних досліджень автори праць [1, 2] пропонують розглядати вибух подовженого заряду як вибух неперервного ряду елементарних зосереджених зарядів, які ініціюються послідовно через певні проміжки часу.

В роботі [3] також виконано теоретичний розрахунок напружень у середовищі під час вибуху циліндричного заряду для випадку, коли вибухове навантаження створюється електричним вибухом дротинки у шпурі з водою. Хвилі напружень, що утворюються при вибуху, автори описують системою узагальнених рівнянь для одновимірної хвилі.

Однак, як зазначено в роботі [4], такі дослідження, спрямовані на розроблення ефективних методів керування дією вибуху, є непридатними і необхідно розглядати просторові задачі.

Просторова задача була розв'язана при визначенні напруженого стану гірських порід при вибуху одиночного подовженого заряду [5]. З використанням хвильових рівнянь руху середовища [6] отримані напруження, які виникають під час вибуху подовженого заряду:

$$\begin{cases} \sigma_{rr} = 2\mu \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial r^2} - \frac{\partial^2 \Psi}{\partial r \partial z} \right) + \frac{\lambda}{c_l^2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2}; \\ \sigma_{rz} = 2\mu \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial r \partial z} - \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} \right) + \rho \frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2}, \end{cases} \quad (1)$$

де r – радіальна координата; z – осьова координата; t – час; c_l – швидкість поширення поздовжніх хвиль у породі; $\Phi(r, z, t)$, $\Psi(r, z, t)$ – хвильові потенціали; ρ – щільність гірської породи; λ , μ – коефіцієнти Ляме.

Система рівнянь (1) розв’язана за допомогою чисельного методу сіток. Спочатку визначається значення потенціалів Φ і Ψ , а потім – напруження σ_{rr} і σ_{rz} у будь-якій точці масиву гірських порід.

Розраховані напруження порівнюються з критичними напруженнями руйнування гірської породи на розтягнення та стиснення. Якщо в якийсь момент часу розрахункові напруження будь-якої точки перевищують критичні значення, то цей об’єм гірської породи вважається зруйнованим. Таким чином можна встановити геометрію і об’єм руйнування масиву гірських порід під час вибуху подовженого заряду.

При проведенні аналітичних і експериментальних досліджень зазвичай розглядають зону руйнування гірських порід (зокрема, зміну радіуса воронки дроблення з глибиною) [7, 8]. За розмірами цієї зони оцінюють ефективність дії вибуху.

Виконання масових вибухів на кар’єрах передбачає підривання систем свердловинних зарядів, які взаємодіють між собою. У цьому випадку руйнування, отримані під час вибуху одиночного свердловинного заряду, не є тим критерієм, який визначає ефективність буропідривних робіт. У працях [9, 10] пропонується ефективну максимальну зону руйнування, отриману під час вибуху двох розташованих поруч свердловин, визначати на основі зони руйнування одиночного заряду і коефіцієнта перекривання цих зон. Таким чином встановлюється оптимальна відстань між свердловинами, яка характеризує вибухову дію цілої мережі подовжених зарядів. Однак такі дослідження є аналітичними і не враховують взаємодії вибухів поруч розташованих свердловинних зарядів.

В даній роботі пропонується дослідити взаємодію двох свердловинних зарядів під час вибуху, використовуючи метод, розглянутий у праці [5].

При визначенні напружень під час вибуху двох і більше свердловин вважаємо, що виконується принцип суперпозиції. Для цього масив гірської породи, через відсутність циліндричної симетрії, розбивається на елементарні об’єми. Напруження в кожному такому об’ємі знаходяться шляхом додавання напружень, які утворюються під час вибуху свердловинних зарядів. У цьому випадку напруження, які утворюються другою свердловиною, у полі координат (r, φ) першої свердловини матимуть вигляд

$$\begin{cases} \sigma_{rr}^{\text{II}} = \sigma_{rr}^{\text{II}'} \cos^2 \alpha + \sigma_{\varphi\varphi}^{\text{II}'} \sin^2 \alpha; \\ \sigma_{\varphi\varphi}^{\text{II}} = \sigma_{rr}^{\text{II}'} \sin^2 \alpha + \sigma_{\varphi\varphi}^{\text{II}'} \cos^2 \alpha; \\ \tau_{r\varphi}^{\text{II}} = \tau_{\varphi r}^{\text{II}} = \frac{\sigma_{rr}^{\text{II}'} - \sigma_{\varphi\varphi}^{\text{II}'}}{2} \sin 2\alpha, \end{cases} \quad (2)$$

де α – кут між прямими, що з'єднують даний елементарний об'єм з першою та другою свердловинами; σ_{rr}^I і $\sigma_{\varphi\varphi}^I$ – напруження на стискання і розтягнення, які створюються вибухом заряду в другій свердловині, представлені в циліндричних координатах першої свердловини; σ_{rr}^{II} і $\sigma_{\varphi\varphi}^{II}$ – ті ж самі напруження в координатах другої свердловини; $\tau_{r\varphi}^I$ і $\tau_{\varphi r}^I$ – дотичні напруження з боку другої свердловини в координатах першої свердловини.

Таким чином, у кожному елементарному об'ємі маємо такий тензор напружень:

$$\begin{pmatrix} \sigma_{rr}^I + \sigma_{rr}^{II} & \tau^{II} \\ \tau^{II} & \sigma_{\varphi\varphi}^I + \sigma_{\varphi\varphi}^{II} \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Для того, щоб знайти головні напруження в кожному елементарному об'ємі, необхідно вирішити характеристичне рівняння

$$\begin{vmatrix} \sigma_{rr}^I + \sigma_{rr}^{II} - \lambda & \tau^{II} \\ \tau^{II} & \sigma_{\varphi\varphi}^I + \sigma_{\varphi\varphi}^{II} - \lambda \end{vmatrix} = 0, \quad (4)$$

де λ – власне значення головного напруження.

Визначені головні напруження порівнюються таким же чином з критичними напруженнями руйнування гірської породи (межею міцності на стискання і розтягнення). Якщо вони перевищують критичні, то вважаємо, що масив гірської породи в даному елементарному об'ємі зруйнувався. Повний об'єм руйнування при вибуху системи свердловинних зарядів визначається шляхом додавання зруйнованих елементарних об'ємів.

Таким чином, у результаті наведених досліджень отримані розрахункові формули, які дозволяють визначити напруження, що виникають при вибуху системи подовжених зарядів. Ці напруження дають можливість оцінити передбачуваний об'єм руйнувань, який в подальшому може використовуватися для розрахунку параметрів масових вибухів на кар'єрах.

1. Шемякин Е. И. О волнах напряжений в прочных горных породах. – М.: ПМФТ. – 1963. – № 3. – С. 83–93.

2. Боровиков В. А., Ванягин И. Ф. К расчету параметров волны напряжения при взрыве удлиненного заряда в горных породах // Взрыв. дело. – № 76/33. – М.: Недра, 1976. – С. 74–85.

3. Основы теории и методы взрывного дробления горных пород / Под ред. В. М. Комира. – К.: Наук. думка, 1979. – 224 с.

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

5. Фролов О. О. Особенности 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.

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

7. *Определение радиуса зоны дробления при взрывах в массивах скальных пород / Воробьев В. Д., Кравец В. Г., Крючков А. И., Фролов А. А.; НТУ Украины «Киевский политехнический институт». – К., 1996. – 11 с. – Рус. – Деп. в ГНТБ Украины 15.05.96, №1207-УК96 // Анот. в ж. Депонированные научные работы ВИНТИ, № 8 (296), 1996.*

8. *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.

9. *Воробьев В. Д.* Методы дробления анизотропных пород на основе регулирования параметров импульса взрыва комбинированных зарядов// Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Киев: ИГМ НАН Украины, 1995. – 34 с.

10. *Фролов А. А., Кондратенкова Е. А.* Расчет расстояний между зарядами с учетом анизотропии пород при взрывах на карьерах // Материалы международной конференции «Проблемы гидрогеомеханики в горном деле и строительстве». – Ч. 2. – К.: Общество «Знание». – 1996. – С. 27–28.