

УДК 622.235

Горбань О.Д., студ. гр.ОБ-31

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І.Сікорського», м. Київ, Україна

КОРОТКОСПОВІЛЬНЕНЕ ПІДРИВАННЯ СИСТЕМИ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗАРЯДІВ В МАСИВАХ СКЕЛЬНИХ ПОРІД

Руйнування гірських порід вибухом зазвичай виконуються за допомогою короткосповільненого підривання (КСП). Воно є одним з найбільш ефективних способів підготовки гірничої маси до виймання, оскільки, в порівнянні з одночасним підриванням, забезпечує можливість збільшення масштабів проведення масових вибухів за рахунок багаторядного розташування циліндричних зарядів вибухових речовин (ВР). При цьому підвищується якість руйнування в результаті взаємодії енергетичних потоків при вибухах окремих зарядів або груп зарядів.

Механізм руйнування скельних гірських порід з використанням КСП досліджувався багатьма науковцями. При цьому абсолютна більшість з них стверджувала, що на характер руйнування гірських порід при КСП істотно впливає взаємодія хвиль напружень, які поширюються при вибуху від суміжних зарядів ВР [1-3]. Для дослідження взаємодії хвиль напружень вибухів системи циліндричних зарядів запропоновано визначати напружений стан гірського масиву певної міцності на підставі принципу суперпозиції хвиль напружень з урахуванням рішення задачі про руйнування скельних порід вибухом одиночного циліндричного заряду ВР [4-5]. Для цього масив гірської породи розбивається на елементарні об'єми. Напруження в кожному такому об'ємі визначається додаванням напружень, які утворюються при вибуху кожного з циліндричних зарядів ВР. У цьому випадку напруження, які утворюються вибухом другого заряду, у полі координат (r, φ) першого заряду мають вигляд:

$$\begin{cases} \sigma_{rr}^{II} = \sigma_{rr}^{II'} \cos^2 \alpha + \sigma_{\varphi\varphi}^{II'} \sin^2 \alpha; \\ \sigma_{\varphi\varphi}^{II} = \sigma_{rr}^{II'} \sin^2 \alpha + \sigma_{\varphi\varphi}^{II'} \cos^2 \alpha; \\ \tau_{r\varphi}^{II} = \tau_{\varphi r}^{II} = \frac{\sigma_{rr}^{II'} - \sigma_{\varphi\varphi}^{II'}}{2} \sin 2\alpha \end{cases} \quad (1)$$

де α – кут між прямими, що з'єднують даний елементарний об'єм з першим та другим зарядами (рис.1); σ_{rr}^{II} та $\sigma_{\varphi\varphi}^{II}$ – напруження на стискання та розтягнення, що утворюються другим зарядом і представлені в циліндричних координатах першого; $\sigma_{rr}^{II'}$ і $\sigma_{\varphi\varphi}^{II'}$ – ті ж самі напруження в координатах другого заряду; $\tau_{r\varphi}^{II}$ і $\tau_{\varphi r}^{II}$ – дотичні напруження з боку другого заряду в координатах першого заряду.

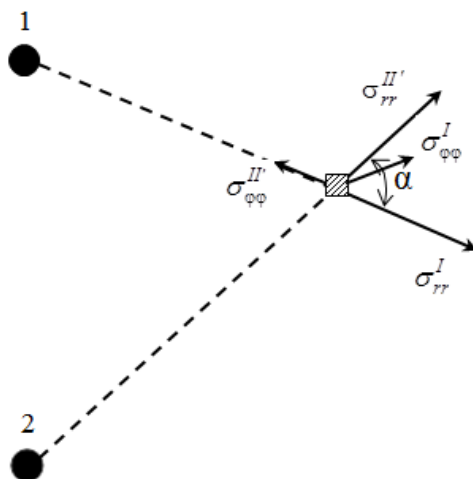


Рис. 1. Схема щодо визначення напружень в гірському масиві під час вибуху двох циліндричних зарядів ВР (1 і 2)

Для знаходження головних напружень на стискання, розтягнення та зсув в кожному елементарному об’ємі гірського масиву, необхідно вирішити характеристичне рівняння:

$$\begin{vmatrix} \sigma_{rr}^I + \sigma_{rr}^{II} - \lambda & \tau_{r\varphi}^{II} \\ \tau_{\varphi r}^{II} & \sigma_{\varphi\varphi}^I + \sigma_{\varphi\varphi}^{II} - \lambda \end{vmatrix} = 0, \quad (2)$$

де λ – власне значення головного напруження.

Визначені головні напруження порівнюються з критичними значеннями напружень руйнування гірської породи (межею міцності порід на стискання, розтягнення та зсув). Якщо вони перевищують критичні значення, то гірський масив в даному елементарному об’ємі вважається зруйнованим. Повний об’єм руйнування визначається шляхом додавання зруйнованих об’ємів.

Розрахунки проведені чисельним методом в програмі, в якій послідовно задаються геометричні параметри досліджуваного об’єму гірського масиву, відстань між зарядами, параметри зарядів ВР і властивості гірських порід [6]. За результатами розрахунку отримана зона руйнування магнетитових кварцитів на поверхні при одночасному підірванні двох циліндричних зарядів ВР довжиною 15 м, розташованих на відстані 5 м один від одного (рис. 2).

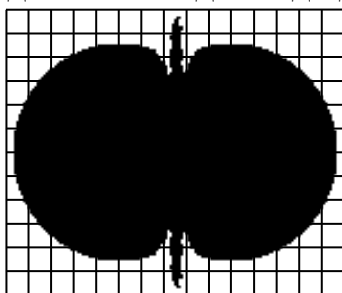


Рис. 2. Зона руйнування гірського масиву на поверхні при підірванні двох циліндричних зарядів

На рис. 3 наведено розподіл напружень на стискання при відстані між зарядами 5 м. В початковий період часу розвитку вибуху область однакових напружень концентрується навколо кожного з зарядів. В подальшому поля напружень взаємодіють, з'являється сумісна область рівних напружень, яка спочатку має увігнуту форму, а потім вирівнюється до овалу. Напруження з вибухів концентруються по лінії, перпендикулярній до лінії розташування зарядів, створюючи умови для руйнування масиву в цьому напрямку.

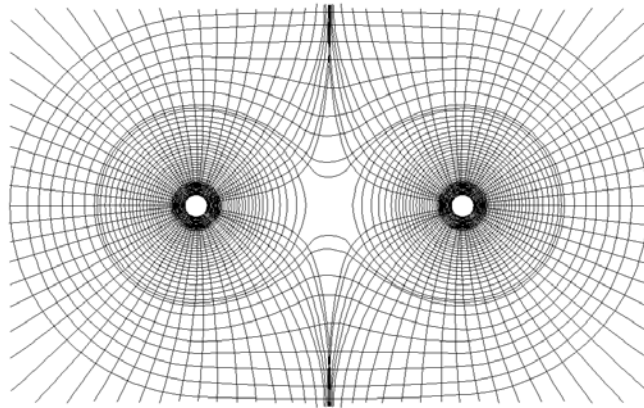


Рис. 3. Схема розподілу напружень на стискання при одночасному підриванні двох суміжних свердловинних зарядів

При КСП суміжних зарядів також відбувається взаємодія хвиль напружень. В результаті цього формується певна діаграма направленості енергетичного потоку, яка характеризується спрямованою концентрацією напружень. Для дослідження впливу інтервалу сповільнення між зарядами при їх підриванні на характер формування діаграми направленості енергетичних потоків, використовуємо рішення математичної просторової моделі руйнування порід вибухом двох циліндричних зарядів з урахуванням хвиль напружень [6].

На рис. 4 представлено розподіл напружень на стискання при підриванні двох зарядів зі сповільненням 0,4 мс. З рисунку видно, що область концентрації напружень зміщується в сторону заряду, який підривається зі сповільненням.

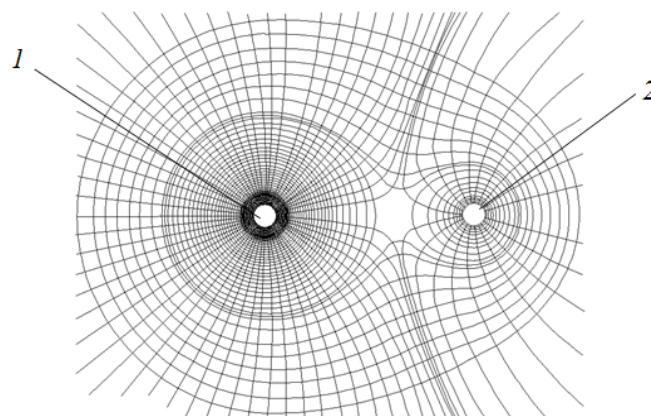


Рис. 4. Схема розподілу напружень на стискання при підриванні двох суміжних зарядів (1, 2) при сповільненні 0,4 мс

Проведено дослідження по визначенню оптимального часу сповільнення між зарядами ВР для попередніх умов підривання при якому об’єм руйнувань масиву гірських порід буде максимальним. Отримана графічна залежність між часом сповільнення вибухів циліндричних зарядів ВР та об’ємом руйнувань магнетитових кварцитів (рис. 5).

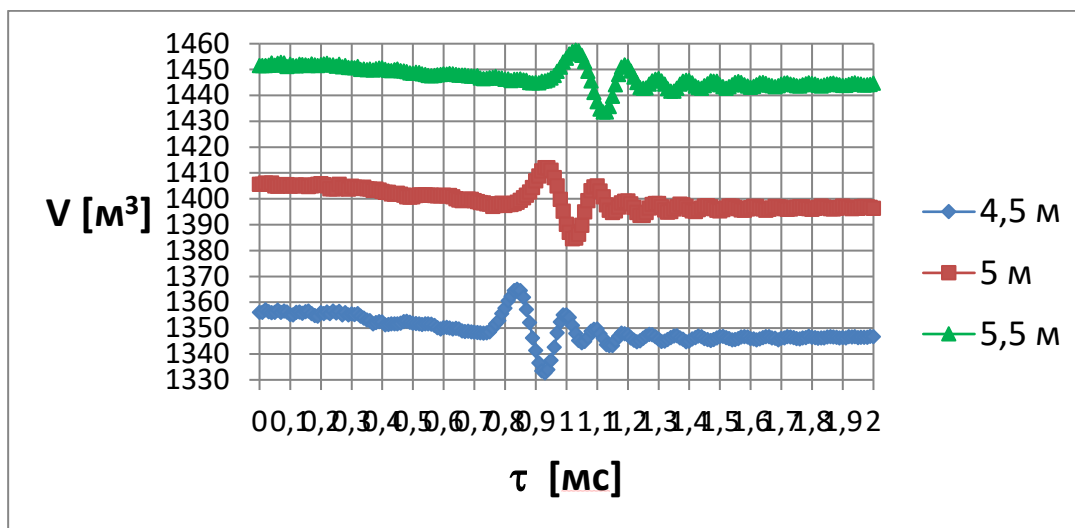


Рис. 5. Зміна об’єму руйнувань магнетитових кварцитів в залежності від часу сповільнення між підриванням зарядів ВР при різних відстанях між ними

За отриманими розрахунковими та вихідними даними, зокрема, фізико-механічними властивостями порід, встановлено, що інтервал сповільнення між вибухами циліндричних зарядів ВР, при якому отримане максимальне значення руйнування гірського масиву, можна визначити за формулою

$$\tau = \frac{a}{c_l} \quad (4)$$

де a – відстань між зарядами ВР, м; c_l – швидкість поширення поздовжніх хвиль у гірському масиві, м/с.

Згідно прийнятих значень відстаней між зарядами ВР 4,5 м, 5,0 м та 5,5 м і значення швидкості поширення c_l поздовжніх хвиль напружень у магнетитовому кварциті 5300 м/с з (4) отримані інтервали сповільнень, що визначають найбільше значення об’єму руйнувань: для $a = 4,5$ м – $\tau = 849$ мкс; $a = 5,0$ м – $\tau = 943$ мкс; $a = 5,5$ м – $\tau = 1038$ мкс. Чисельні значення співпадають з графічними даними, наведеними на рис. 5.

В результаті проведених досліджень встановлено, що максимальне значення об’єму руйнувань гірських порід при наявності однієї площини оголення залежить від інтервалу сповільнення між вибухами суміжних зарядів, який в свою чергу визначається відношенням відстані між циліндричними зарядами до швидкості поширення хвиль напружень в гірському масиві.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Кучерявый Ф. И. Многорядное короткозамедленное взрывание на карьерах строительных материалов / Ф. И. Кучерявый, А. С. Олейников, А. Т. Волон. – К.: Будівельник, 1975. – 84 с.
2. Ханукаев А. Н. Энергия волн напряжений при разрушении пород взрывом / А. Н. Ханукаев. – М.: Госгеолтехиздат, 1962. – 199 с.
3. Миндели Э. О. Комплексное исследование действия взрыва в горных породах / Э. О. Миндели, Н. Ф. Кусов, А. А. Корнеев, Г. И. Марцинкевич. – М.: Недра, 1978. – 253 с.
4. Фролов О. О. Теоретичні передумови розрахунку об'єму руйнування гірських порід під час вибуху систем подовжених зарядів / О. О. Фролов // Вісник НТУУ "КПІ". Серія "Гірництво": Зб. наук. праць. – К.: НТУУ "КПІ": ЗАТ «Техновібух». – 2008. – Вип. 16. – С. 13-16.
5. 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.
6. Фролов О. О. Керування енергетичними потоками при вибуховому руйнуванні різноміцнісних масивів гірських порід на кар'єрах / Дис. ... докт. техн. наук: 05.15.03. – К., 2014. – 369 с.