

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ ХВИЛЬ НАПРУЖЕНЬ ПРИ КОРОТКОСПОВІЛЬНЕНОМУ ПІДРИВАННІ СИСТЕМИ ЗАРЯДІВ В МАСИВАХ СКЕЛЬНИХ ПОРІД

При дослідженні взаємодії хвиль напружень вибухів системи циліндричних зарядів пропонується визначити 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. Для цього масив гірської породи розбиваємо на елементарні об'єми. Напруження в кожному такому об'ємі гірського масиву визначаємо шляхом додавання напружень, які утворюються при вибуху кожного з свердловинних зарядів ВР. У цьому випадку напруження, які утворюються вибухом другого заряду, у полі координат  $(r, \varphi)$  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  $\alpha$  – кут між прямими, що з'єднують даний елементарний об'єм з першим та другим зарядами (рис. 1);  $\sigma_{rr}^{II}$  та  $\sigma_{\varphi\varphi}^{II}$  – напруження на стискання та розтягнення, що утворюються другим зарядом і представлені в циліндричних координатах першого заряду;  $\sigma_{rr}^{II'}$  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.

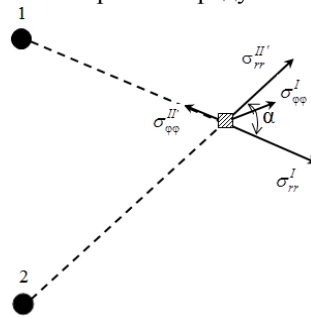


Рис. 1. Схема до визначення напружень в гірському масиві під час вибуху двох зарядів ВР: 1 – перший заряд; 2 – другий заряд

Для того, щоб знайти головні напруження на стискання та розтягнення в кожному елементарному об'ємі масиву гірських порід, 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  $\lambda$  – власне значення головного напруження.

З формули (2) маємо:

$$\sigma_{rr}^I + \sigma_{rr}^{II} - \lambda \quad \sigma_{\varphi\varphi}^I + \sigma_{\varphi\varphi}^{II} - \lambda - \tau_{r\varphi}^{II}{}^2 = 0, \quad (3)$$

Визначені головні напруження у відповідності до формули (3) 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.

Для отримання розмірів зони руйнування використана програма, в якій послідовно задаються геометричні параметри досліджуваного об'єму гірського масиву, відстань між свердловинами, параметри свердловинних зарядів ВР і властивості гірських порід. За результатами розрахунку отримана зона руйнування порід на поверхні при одночасному підриванні двох свердловинних зарядів ВР довжиною 15 м, розташованих на відстані 5 м один від одного (рис. 2).

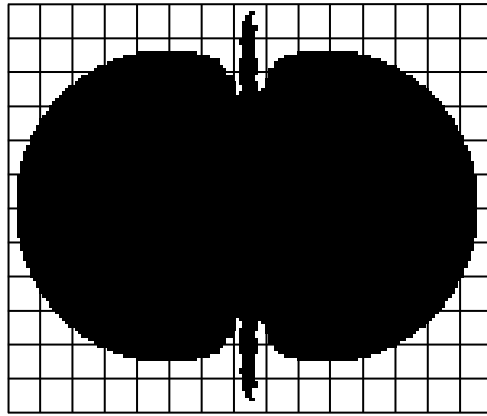


Рис. 2. Зона руйнування гірського масиву на поверхні при підриванні двох циліндричних зарядів

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

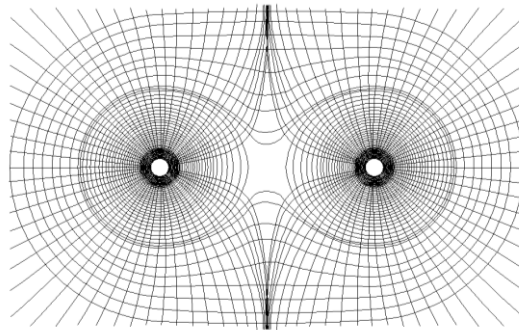


Рис. 3. Схема розподілу напружень на стискання при одночасному підриванні двох суміжних свердловинних зарядів

При короткосповільненому підриванні (КСП) суміжних зарядів ВР також відбувається взаємодія хвиль напружень під час вибуху кожного з зарядів та їх поширення по гірському масиву. В результаті цієї взаємодії 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, яка визначає форму і об'єм зони руйнування масиву, використовуємо рішення математичної просторової моделі руйнування скельних порід вибухом двох суміжних циліндричних зарядів ВР з урахуванням хвиль напружень.

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

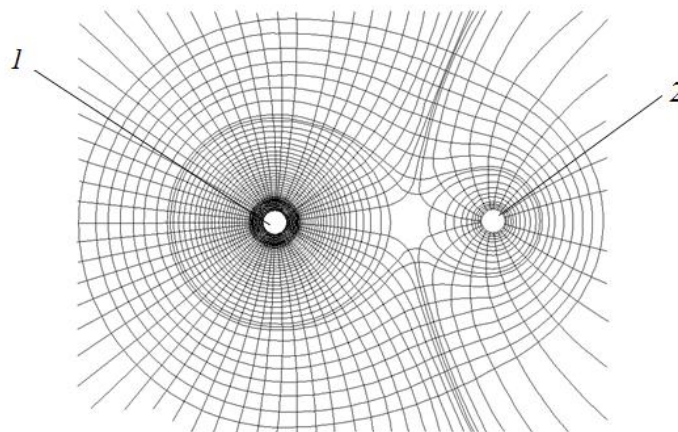


Рис. 4. Схема розподілу напружень на стискання при підриванні двох суміжних зарядів (1, 2) при сповільненні 0,4 мс

Зважаючи на вищенаведене, проведені подальші дослідження по визначенню оптимального часу сповільнення між зарядами ВР для певних умов підривання при якому об'єм руйнувань масиву гірських порід буде максимальним.

За результатами розрахунку отримана графічна залежність між часом сповільнення вибухів свердловинних зарядів ВР та об'ємом руйнувань магнетитових кварцитів (рис. 5).

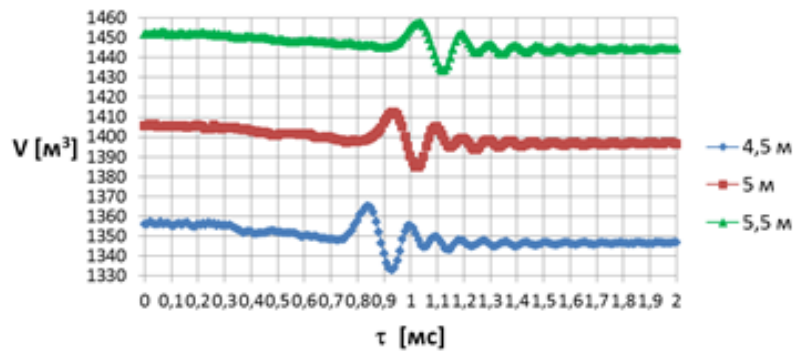


Рис. 5. Зміна об'єму руйнувань магнетитових кварцитів в залежності від часу сповільнення між підриванням зарядів ВР при різних відстанях між свердловинами

Аналіз отриманих розрахункових та вихідних даних, зокрема, фізико-механічних властивостей магнетитового кварциту, для розрахунку об'єму руйнувань показує, що інтервал сповільнення між вибухами свердловинних 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 свердловинними зарядами ВР, м;  $c_l$  – швидкість поширення поздовжніх хвиль у гірському масиві, м/с.

Відповідно до прийнятих значень відстаней між зарядами ВР 4,5 м, 5,0 м та 5,5 м і значення швидкості поширення поздовжніх хвиль напружень у магнетитовому кварциті  $c_l$  5300 м/с з (4) отримані наступні 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.

Таким чином, в результаті проведених досліджень встановлено, що максимальне значення об'єму руйнувань гірських порід при наявності однієї площини оголення перебуває в прямій залежності від інтервалу сповільнення між вибухами суміжних зарядів, який в свою чергу визначається відношенням відстані між свердловинними зарядами до швидкості поширення хвиль напружень в гірському масиві.