

УДК 622.235

О. О. Фролов, д.т.н, доц., І. А. Лучко, д.т.н, проф., Л. В. Краморенко, інж. (НТУУ «КПІ»)

**ВСТАНОВЛЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ВІДСТАНЕЙ МІЖ
СВЕРДЛОВИННИМИ ЗАРЯДАМИ НА ОСНОВІ ОПТИМІЗАЦІЇ
ОБ'ЄМІВ РУЙНУВАННЯ СКЕЛЬНИХ ПОРІД**

A. A. Frolov, doctor of technical science, doc., I. A. Luchko, doctor of technical science, prof., L. V. Kramorenko, ing. (NTUU «KPI»)

**ESTABLISHING RATIONAL DISTANCE BETWEEN HOLE CHARGES
BASED OPTIMIZATION OF DESTRUCTION VOLUME OF ROCK**

Запропоновано методику визначення раціональних відстаней між свердловинними зарядами при їх одночасному підриванні шляхом встановлення оптимальних значень об'ємів руйнування в межах воронок дроблення та додаткових зон руйнування.

***Ключові слова:** гірський масив, напружений стан, циліндричний заряд, зона руйнування, концентрація напружень, об'єм руйнування.*

Предложена методика определения рациональных расстояний между скважинными зарядами при их одновременном взрывании путем установления оптимальных значений объемов разрушения в пределах воронок дробления и дополнительных зон разрушения. Полученные результаты позволяют оптимизировать параметры буровзрывных работ с точки зрения энергоэффективности.

***Ключевые слова:** горный массив, напряженное состояние, цилиндрический заряд, зона разрушения, концентрация напряжений, объем разрушения*

Technique for determining the rational distances between hole charges during their simultaneous blasting by optimization of volumes of destruction within blasting wedges and additional fractured zones of destruction is offered. The obtained results allow optimizing parameters of drilling and blasting operations with respect to energy efficiency.

***Keywords:** rock mass, stress condition, cylindrical charge, zone of destruction, accumulation of stresses, volume of destruction.*

Вступ. За результатами проведених в [1, 2] досліджень встановлено, що під час одночасного підривання двох поруч розташованих зарядів вибухових речовин (ВР), спостерігається також руйнування скельного масиву гірських порід в напрямку, перпендикулярному лінії розташування свердловинних зарядів. Розмір руйнування в цьому напрямку значно перевищує радіус руйнування від вибуху одиночного заряду. Дослідження, проведені в [3], довели, що об'єм додаткової зони руйнування збільшується зі зменшення відстані між зарядами (рис. 1). Водночас, при зближенні воронок дроблення загальний об'єм руйнування зменшується.

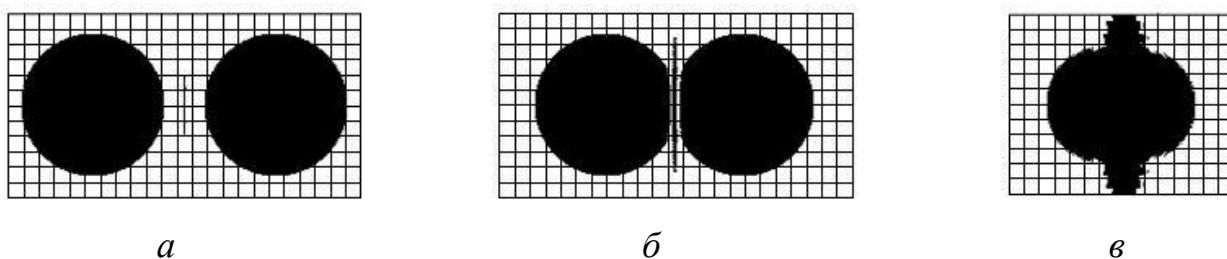


Рис. 1. Розрахункові зони руйнування масиву гірських порід на поверхні при вибуху двох свердловинних зарядів на відстані:
a – 12 м; *б* – 9 м; *в* – 1 м

Мета роботи. Метою даної роботи є встановлення раціональної, з точки зору взаємодії енергетичних потоків, відстані між свердловинними зарядами при їх одночасному підриванні. Для цього пропонується сумістити на одному графіку відносні зміни об'єму руйнування в межах воронки дроблення та об'єму додаткової зони руйнування залежно від відстані між зарядами ВР. Місце перетину цих залежностей буде визначати найбільш ефективну відстань.

Викладення матеріалу та результати досліджень. Воронка дроблення, що отримана при підриванні одиночного свердловинного заряду ВР, має форму наближену до параболоїду обертання. Відповідно, після підривання в гірському масиві двох поруч розташованих зарядів утвориться два параболоїда. Припустимо, що відстань між центрами параболоїдів дорівнює *a* (рис. 2).

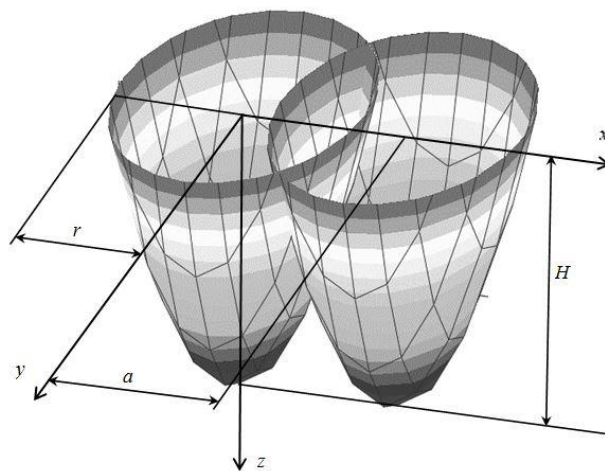


Рис. 2. Схема до розрахунку об'єму перетину двох поруч розташованих параболоїдів обертання

Оскільки маємо симетрію, то достатньо розглянути одну четверту параболоїду. В цьому разі рівняння двох поруч розташованих четвертих частин параболоїдів обертання, будуть мати вигляд [4]:

$$\begin{cases} 2p(z + H) = \left(x + \frac{a}{2}\right)^2 + y^2; \\ 2p(z + H) = \left(x - \frac{a}{2}\right)^2 + y^2, \text{ де:} \end{cases} \quad (1)$$

$p = r^2/2H$; r – радіус параболоїду на певній висоті; H – висота параболоїда.

Об'єм перетину двох параболоїдів обертання може бути визначений як

$$V_{\Pi} = \iint_D z(x, y) dx dy. \quad (2)$$

Межі інтегрування по x та y отримуються шляхом розв'язання системи рівнянь (1). В результаті маємо:

$$D(x, y) = \left\{ 0 \leq x \leq \sqrt{2pH} - \frac{a}{2}; \quad -\sqrt{2pH - \left(x + \frac{a}{2}\right)^2} \leq y \leq 0 \right\}. \quad (3)$$

Таким чином, об'єм перетину двох параболоїдів обертання, розташованих на відстані d один від одного, визначиться інтегруванням виразу

$$V_{\Pi} = 4 \int_0^{\sqrt{2pH} - \frac{a}{2}} \int_{-\sqrt{2pH - \left(x + \frac{a}{2}\right)^2}}^0 \left(-H + \frac{\left(x + \frac{a}{2}\right)^2 + y^2}{2p} \right) dx dy. \quad (4)$$

За результатами інтегрування (4) отримаємо:

$$V_{\Pi} = \frac{16pH^2}{3} \left(\frac{3}{8} \left(\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{a}{2\sqrt{2pH}} \right) - \frac{a}{4\sqrt{2pH}} \sqrt{1 - \frac{a^2}{8pH}} \left(\frac{5}{4} - \frac{a^2}{16pH} \right) \right). \quad (5)$$

Оскільки параболоїд обертання лише наближено описує форму воронки дроблення, а об'єм його не співпадає з об'ємом воронки, який отриманий чисельним методом, то для приведення отриманих результатів у відповідність (5) пропонується ввести поправочний коефіцієнт k_{Φ} , який уточнює форму воронки дроблення. З урахуванням значення p рівняння (5) набуде вигляду

$$V_{\Pi} = k_{\Phi} \frac{8r^2H}{3} \left(\frac{3}{8} \left(\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{a}{2r} \right) - \frac{a}{4r} \sqrt{1 - \frac{a^2}{4r^2}} \left(\frac{5}{4} - \frac{a^2}{8r^2} \right) \right). \quad (6)$$

Якщо відстань між воронками руйнування дорівнює двом радіусам зон руйнування на поверхні, тобто $a = 2r$, то об'єм перетину цих воронок дроблення буде становити, згідно (6), нулю. Водночас сумарний об'єм воронок руйнування буде дорівнювати двом об'ємам параболоїдів обертання:

$$V_{\text{в}} = k_{\Phi} \pi r^2 H. \quad (7)$$

При зменшенні відстані між воронками руйнування від $2r$ до 0 сумарний об'єм воронок дроблення буде також зменшуватися і становити:

$$V_{\text{р}} = V_{\text{в}} - V_{\Pi}. \quad (8)$$

При руйнуванні магнетитових кварцитів свердловинним зарядом грамоніту 79/21 при довжині свердловини 15 м та діаметрі заряду 200 мм отримана зона руйнування об'ємом $V_I = 817,2 \text{ м}^3$ ($k_{\Phi} = 1,64$ – для магнетитових

кварцитів). З урахуванням цього та на підставі формул (6) – (8) побудована графічна залежність зміни об'єму руйнування в межах двох воронок дроблення від відстані між свердловинними зарядами ВР (рис. 3).

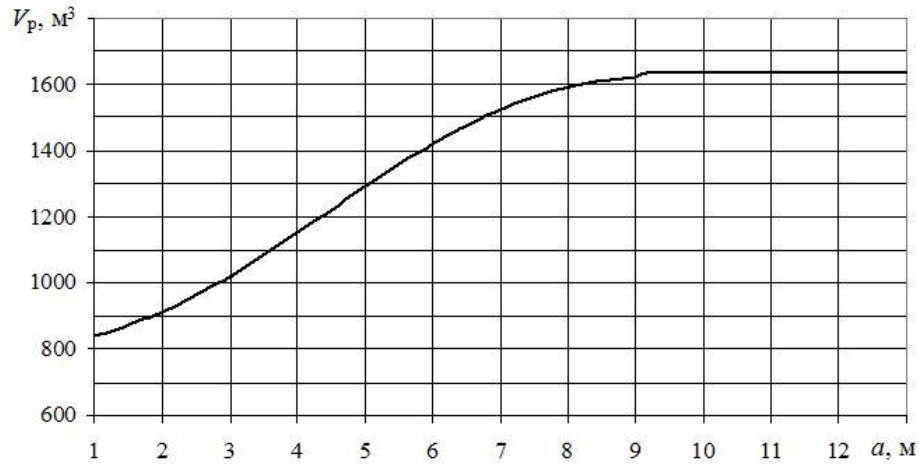


Рис. 3. Залежність зміни об'єму руйнування в межах воронок дроблення від відстані між свердловинними зарядами ВР

Аналіз вищенаведеної залежності показує, що зі збільшенням відстані між зарядами ВР збільшується також об'єм руйнування в межах воронок дроблення. Це збільшення відбувається до відстані $a = 9,2$ м, яка дорівнює подвійному значенню радіусу зони руйнування на поверхні гірського масиву. При подальшому збільшенні a сумарний об'єм воронок руйнування не змінюється, його значення дорівнює $V_p = 2V_l = 1634,4$ м³.

Додаткова зона руйнування, що утворюється при одночасному підриванні зарядів, виникає, згідно [3], при відстані між свердловинами 12 м і її об'єм становить $2,1$ м³. Зі зближенням зарядів об'єм додаткової зони руйнування V_d збільшується по залежності, представленій на рис. 4. Найбільш інтенсивний приріст об'єму додаткової зони руйнування відбувається при зміні відстані від 8 до 4 м. При подальшому зменшенні відстані інтенсивність зростання об'єму зменшується і при відстані між зарядами $a = 1,0$ м, $V_d = 131,7$ м³.

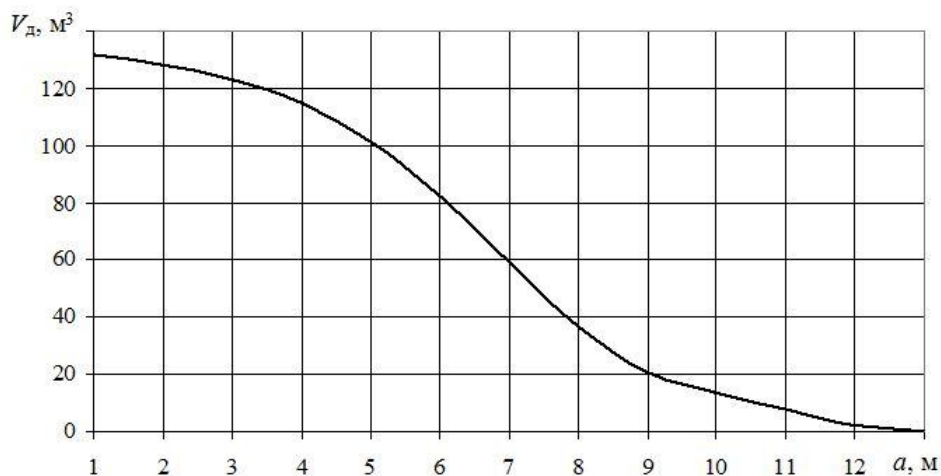


Рис. 4. Залежність зміни об'єму додаткової зони руйнування від відстані між свердловинними зарядами

В результаті суміщення на одному графіку відносних значень зміни об'єму руйнування кварцитів в межах воронок дроблення n та об'єму додаткової зони руйнування отримаємо точку перетину цих залежностей, що визначає оптимальну відстань між поруч розташованими зарядами ВР при їх одночасному підриванні (рис. 5). Відносні значення об'ємів встановлюються шляхом розділення об'єму руйнування при встановленій відстані між зарядами ВР на максимальне його значення в межах досліджуваного інтервалу.

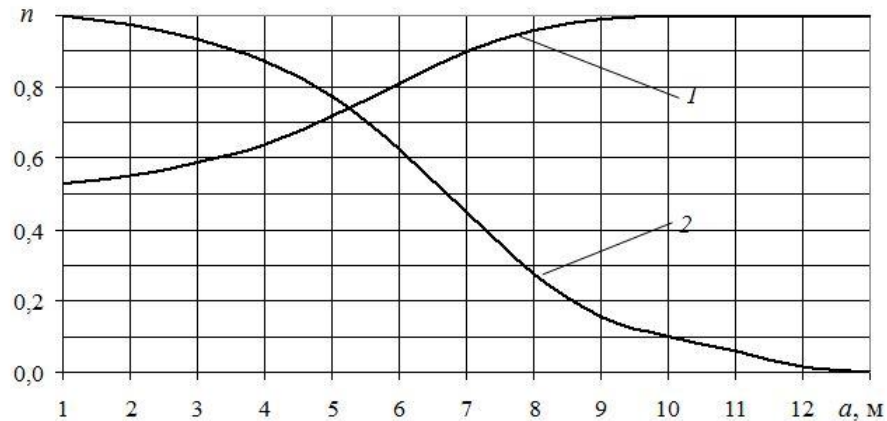


Рис. 5. Графічні залежності зміни відносних значень n об'єму руйнування магнетитових кварцитів в межах воронок дроблення (1) та об'єму додаткової зони руйнування (2) залежно від відстані між свердловинними зарядами

Аналіз рис. 5 показує, що графічні залежності перетинаються в місці, де відстань між свердловинними зарядами становить 5,3 м. Таким чином, ця відстань є найбільш ефективною при одночасному підриванні поруч розташованих свердловинних зарядів ВР в магнетитових кварцитах.

Висновки

1. Запропонована методика визначення відстані між свердловинними зарядами ВР при їх одночасному підриванні на основі оптимізації об'ємів руйнування в межах воронок дроблення та додаткової зони руйнування.
2. Встановлено, що при одночасному підриванні зарядів в групі раціональна відстань в магнетитових кварцитах становить 5,3 м при довжині свердловини 15 м і діаметрі заряду грамоніту 79/21 200 мм.
3. Отримані результати дозволяють здійснювати оптимізацію параметрів розташування циліндричних зарядів ВР при руйнуванні скельних масивів гірських порід на основі найбільш повного використання енергії вибуху.

Список використаних джерел

1. Frolov O.O. Vstanovlennya rozmiriv i formy zony ruynuvannya pry vybukhu systemy sverdlovyynykh zaryadiv // Zbirnyk «Suchasni resursozberihayuchi

tekhnolohiyi hirnynchoho vyrobnytstva»: Naukovo-vyrobnychyy zbirnyk. – Kremenchuk: KDPU, 2009. – Vyp. 1/2009 (3). – S. 100–105.

2. Frolov O.O. Vyznachennya rozmiriv zony ruynuvannya pry vybukhu systemy sverdlovynnykh zaryadiv // Tezy KhKhKhIV naukovo-praktychnoyi konferentsiyi, prysvyachenoyi Dnyu universytetu. – Zhytomyr: ZhDTU, 2009. – S. 90–91.

3. Frolov O.O. Doslidzhennya parametriv zony ruynuvannya pry vybukhu systemy sverdlovynnykh zaryadiv // Visnyk Kryvoriz'koho tekhnichnoho universytetu: Zb. nauk. prats. – Kryvyi Rih.: KTU – 2009. – Vyp. 23. – S. 186–189.

4. Frolov O.O. Obhruntuvannya ratsionalnykh vidstaney mizh tsylindrychnymy zaryadamy pry yikh pidryvanni v skelnomu masivi hirs'kykh porid / O. O. Frolov // Visti Donetskoho hirnynchoho instytutu: Zb. nauk. prats. – 2013. – № 1(32). – S. 298–303.

Стаття надійшла до редакції 02.06. 2014 р.