

Є.А. Загоруйко, асист.

Т.В. Косенко, асист.

О.О. Фролов, к.т.н, доц.

Національний технічний університет України "КПІ"

### ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ МІЖ ЛІНІЙНОЮ МАСОЮ ЗАРЯДУ ВИБУХОВОЇ РЕЧОВИНИ І ВІДСТАННЮ МІЖ КОНТУРНИМИ СВЕРДЛОВИНАМИ

*Виконано аналіз літературних джерел щодо ефективності застосування контурного підривання і виявлені певні недоліки, пов'язані з вибором його раціональних параметрів. Встановлено, що в цілому ефективність контурного підривання залежить від оптимальної відстані між свердловинами контурного ряду і конструкції заряду, яка характеризується усередненою лінійною масою заряду ВР. Отримана залежність лінійної маси свердловинного заряду ВР від відстані між контурними свердловинами.*

**Постановка проблеми та її зв'язок з науковими і практичними задачами.** При проведенні масових вибухів на кар'єрах відбувається руйнування законтурного масиву гірських порід. Це спричиняє зниження стійкості відкосів уступів та значно ускладнює наступне виконання буропідричних робіт (БПР). Для усунення вказаних недоліків застосовують метод контурного підривання, який, за рахунок створення екрануючої площини, дозволяє отримати відносно рівну і стійку поверхню відкосу уступу та зменшити об'єм руйнування за проектним контуром [1].

Якість виконання робіт з контурного підривання залежить насамперед від наступних факторів: відстані між свердловинами в контурному ряді, щільності заряджання вибухової речовини (ВР) у свердловині, діаметра свердловини і конструкції заряду. Для отримання необхідних результатів вибуху необхідно розглядати сукупний вплив цих факторів [2]. Зокрема, діаметр контурних свердловин є технологічним параметром і в більшості випадків він співпадає з діаметром основних свердловин. Конструкція контурного свердловинного заряду може мати декілька варіантів: від подовженого заряду ВР на повний діаметр свердловини та зменшеного діаметра лінійного заряду (гірлянди з патронів ВР, формування заряду в пристрій подачі рукава та ін.) до зарядів з повітряними і інертними проміжками [3]. Водночас, загальною характеристикою всіх існуючих конструкцій контурного заряду є щільність заряджання ВР, яка відображає лінійну масу заряду.

Таким чином, в цілому ефективність контурного підривання залежить від оптимальної відстані між свердловинами контурного ряду, які характеризуються певною лінійною масою заряду ВР.

**Аналіз досліджень і публікацій.** У більшості випадків обґрунтування способу контурного підривання на кар'єрах полягає у виборі раціональної конструкції контурних свердловинних зарядів вибухової речовини (ВР) при фіксованому значенні відстані між контурними свердловинами [3] або в оптимальному розташуванні контурних свердловин різних діаметрів зі зменшеним вмістом ВР у свердловинних зарядах [4]. Властивості гірського масиву враховуються здебільшого опосередковано, через виробничий досвід на даному підприємстві.

Авторами роботи [5] проведено аналіз методів визначення параметрів контурного підривання для формування постійних бортів кар'єрів при розробці скельних порід. В результаті цього встановлено, що вони не дозволяють достатньо обґрунтовано рекомендувати параметри БПР для конкретних гірничо-геологічних умов, а здатні лише орієнтовно оцінити співвідношення між основними характеристиками контурного підривання.

Найбільш повно проведені дослідження в роботі [6]. Автор встановлює критерій оцінки ефективності контурного підривання з позиції умови формування розвитку мережі тріщин між контурними свердловинами при їх підриванні. Однак, в роботі не розглянуто вплив конструктивних особливостей контурних свердловин на оптимальну відстань між ними.

**Постановка задачі.** Метод контурного підривання на кар'єрах на сьогоднішній день є достатньо вивченим і широко застосовується в практиці ведення БПР. Однак, існують певні проблеми, пов'язані з вибором раціональних параметрів контурного підривання. Це визначає задачу досліджень, яка направлена на визначення оптимальної відстані між контурними свердловинами в залежності від усередненої лінійної маси заряду ВР.

**Викладення основного матеріалу досліджень.** Розглянемо вибух свердловинного заряду ВР в масиві гірських порід. В результаті дії вибуху в гірському масиві утворюється напружений стан навколо циліндричної порожнини. При розгляді двомірної задачі він описується радіальною  $\sigma_r$  і азимутальною  $\sigma_\theta$  компонентами напружень в полярній системі координат. Перехід до прямокутної системи координат здійснюється співвідношеннями:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \sigma_r \cos^2 \theta + \sigma_\theta \sin^2 \theta; \\ \sigma_y &= \sigma_r \sin^2 \theta + \sigma_\theta \cos^2 \theta; \\ \tau_{xy} &= (\sigma_r - \sigma_\theta) \sin \theta \cos \theta. \end{aligned} \quad (1)$$

Оскільки при одночасному підриванні контурних зарядів ВР найменш напружений стан масиву утворюється посередині на лінії свердловин, то при виборі параметрів зарядів необхідно виходити з умови забезпечення руйнування породи в шарі із заданою шириною  $\Delta$  саме в цьому місці.

При одночасному вибуху сусідніх зарядів ВР зсув масиву в точка, що лежать по лінії  $AB$  (рис. 1) у радіальному від заряду напрямку, є неможливим. Тому для оцінки напруженого стану в точці  $B$  вважаємо  $\sigma_\theta^B = 0$ . Тангенціальні напруження  $\tau_{xy}^B$  в точці  $B$  від вибуху сусідніх свердловинних зарядів рівні за величиною, але зворотні за напрямком і результуюче їх значення буде становити  $\tau_{xy}^B = 0$ .

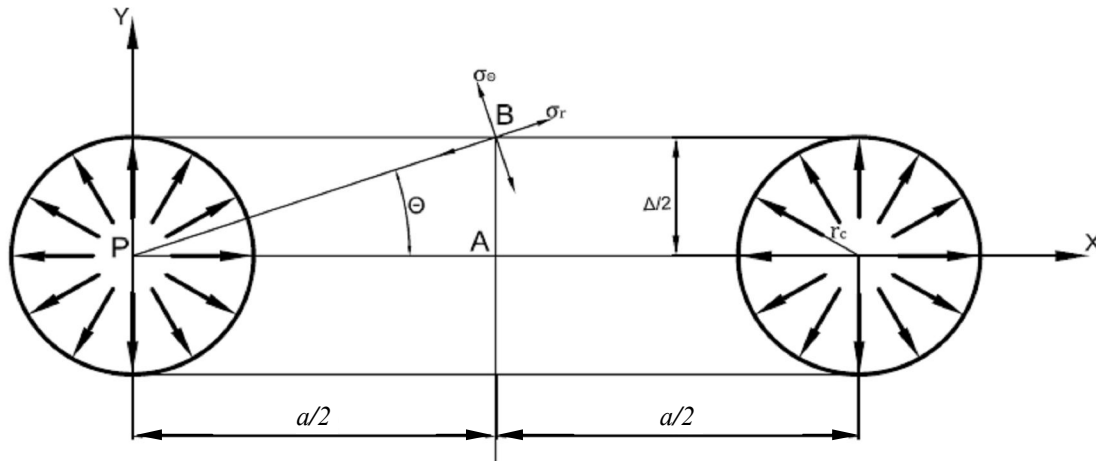


Рис. 1. Схема визначення параметрів контурного підривання

В результаті сумування радіальних напружень в точці  $B$  рівняння (1) будуть мати вигляд:

$$\begin{aligned} \sigma_x^B &= 2\sigma_r \cos^2 \theta; \\ \sigma_y^B &= 2\sigma_r \sin^2 \theta; \\ \tau_{xy}^B &= 0, \end{aligned} \quad (2)$$

де  $\sin \theta$  і  $\cos \theta$  визначаються співвідношеннями:

$$\begin{aligned} \cos^2 \theta &= \frac{a^2}{a^2 + \Delta^2}; \\ \sin^2 \theta &= \frac{\Delta^2}{a^2 + \Delta^2}. \end{aligned} \quad (3)$$

Напруження розтягнення у точці  $B$  визначаються залежністю:

$$\sigma_p^B = \sigma_y^B - \mu \sigma_x^B, \quad (4)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт Пуассона.

В результаті вибуху одиночного циліндричного заряду радіальні напруження розраховуються за формулою [6]:

$$\sigma_r(r) = P \cdot f_p(r) \cdot f_3(r), \quad (5)$$

де  $P$  – тиск продуктів детонації на стінки свердловини, Па;  $f_p(r) = (r_c/r)^{0.5}$  – функція геометричної розбіжності циліндричних хвиль із відстанню;  $f_3(r) = \exp(-\alpha r/r_c)$  – функція поглинання, що враховує втрати;  $a$  – відстань між свердловинами, м;  $r_c$  – радіус свердловини, м;  $r$  – відстань до заряду, м;  $\alpha$  – коефіцієнт поглинання.

Коефіцієнт поглинання  $\alpha$  визначається на підставі експериментальних досліджень або емпіричною залежністю:

$$\alpha = -0,155 \cdot 10^{-8} \rho V + 0,073, \quad (6)$$

де  $\rho$  – питома вага породи, кг/м<sup>3</sup>;  $V$  – швидкість поширення граничних хвиль у гірському масиві, м/с.

Підставимо у формулу (4) значення  $\sigma_y^B$  та  $\sigma_x^B$  з урахуванням (3) і значення  $\sigma$ , з (5) при

$$r = \left[ \left( \frac{a}{2} \right)^2 + \left( \frac{\Delta}{2} \right)^2 \right]^{0,5}, \quad (7)$$

і отримаємо рівняння

$$\sigma_p^B = 2Pd_c^{0,5} (\mu a^2 - \Delta^2) (a^2 + \Delta^2)^{-1,25} \exp \left[ -\alpha \frac{(a^2 + \Delta^2)^{0,5}}{d_c} \right]. \quad (8)$$

Умовою руйнування породи є:

$$\sigma_p^B \geq \sigma_p, \quad (9)$$

де  $\sigma_p$  – межа міцності породи на розтягнення, Па.

У зв'язку з тим, що щільність заряду ВР в контурних свердловинах невелика, тиск продуктів детонації на стінки свердловини можна розрахувати за формулою:

$$P = \frac{Q\omega(\gamma - 1)\eta}{v_c - \alpha_k}, \quad (10)$$

де  $Q$  – маса заряду ВР у свердловині, кг;  $\omega$  – питома енергія ВР, Дж/кг;  $v_c$  – об'єм свердловини, м<sup>3</sup>;  $\alpha_k$  – коволюм газів вибуху, тобто об'єм молекул газів на 1 дм<sup>3</sup>, дм<sup>3</sup>;  $\gamma$  – показник ізентропи:  $\gamma = 1,45$ ;  $\eta$  – коефіцієнт, що враховує втрати енергії.

Оскільки тиск у свердловині не перевищує 200 МПа, величиною  $\alpha_k$  можна знехтувати,

з урахуванням того, що

$$Q = q \cdot l \quad (11)$$

і

$$v_c = \frac{\pi d_c^2}{4} l, \quad (12)$$

де  $q$  – лінійна маса заряду, кг/м;  $l$  – довжина заряду, м;  $d_c$  – діаметр свердловини, м, формула (10) прийме наступний вигляд:

$$P = \frac{4q\omega(\gamma - 1)\eta}{\pi d_c^2}. \quad (13)$$

Таким чином, використовуючи формули (8), (9) і (13), визначаємо необхідну лінійну масу свердловинного заряду ВР, яка забезпечує умову розвитку мережі тріщин між свердловинами:

$$q = \frac{\pi \sigma_p}{4 \omega \eta} d_c^{1,5} \frac{(a^2 + \Delta^2)^{1,25}}{\mu a^2 - \Delta^2} \exp \left[ \alpha \frac{(a^2 + \Delta^2)^{0,5}}{d_c} \right]. \quad (14)$$

Аналіз рівняння (14) показує, що існує певна залежність лінійної маси свердловинного заряду ВР від відстані між свердловинами при встановлених властивостях масиву гірських порід. Для гірської породи – магнетитовий кварцит – були проведені розрахунки для встановлення графічної залежності між  $q$  і  $a$  при наступних параметрах свердловинного заряду: діаметр свердловини – 0,25 м; лінійна маса заряду (заряд ВР розміщується в поліетиленовому рукаві діаметром 100 мм вздовж осі свердловини) – 7,46 кг/м; питома енергія ВР грамоніт 79/21 – 4285 кДж/кг; коефіцієнт, що враховує втрати енергії – 0,7; середній початковий тиск продуктів детонації на стінки свердловини – 1,54·10<sup>9</sup> Па і властивостях гірського масиву: межа міцності породи на розтягнення – 1,8·10<sup>7</sup> Па; коефіцієнт Пуассона – 0,26; коефіцієнт поглинання  $\alpha$ , розрахований за формулою (6), – 0,048; щільність породи – 3100 кг/м<sup>3</sup>; швидкість поширення граничних хвиль у масиві – 4700 м/с (рис. 2).

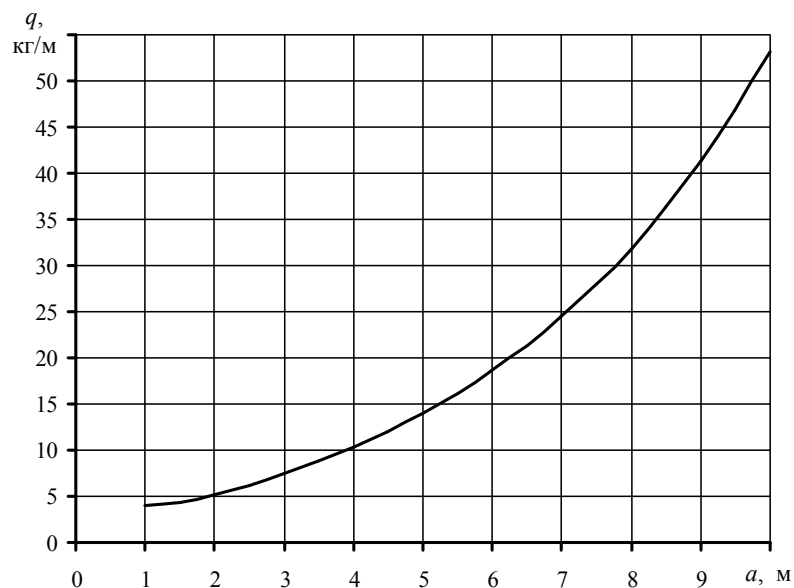


Рис. 2. Графік залежності лінійної маси заряду від відстані між свердловинами контурного ряду

Таким чином, в результаті аналізу рис. 2 встановлено, що кожному типу конструкції контурного свердловинного заряду ВР, який характеризується усередненою лінійною масою заряду, відповідає оптимальне значення відстані між контурними свердловинами. Отримана відстань теоретично забезпечує розвиток мережі тріщин між свердловинними зарядами контурного ряду.

#### Висновки та напрямки подальших досліджень:

1. Аналіз літературних джерел показує, що при застосуванні контурного підривання існують певні проблеми, пов'язані з вибором його раціональних параметрів.

2. В цілому ефективність контурного підривання залежить від оптимальної відстані між свердловинами контурного ряду і конструкції заряду, який характеризується усередненою лінійною масою заряду ВР.

3. Встановлена залежність лінійної маси свердловинного заряду ВР від відстані між контурними свердловинами при певних властивостях масиву гірських порід.

Отримана залежність між лінійною масою заряду ВР і відстанню між контурними свердловинами потребує додаткових досліджень для встановлення граничних значень відстані між свердловинами, оскільки дія вибуху в нижній частині уступу значно обмежена через гідростатичний тиск та інші втрати енергії вибуху.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Технические правила ведения взрывных работ на дневной поверхности. – М.: Недра, 1972. – 239 с.
2. Кузнецов Г.В., Улыбин В.П. Контурное взрывание на открытых горных работах. – М.: мзд.ЦНИМГЭИ, 1968. – С. 49.
3. Романчук О. В., Фролов А.А. Конструктивные особенности оконтуривающих скважинных зарядов // Вісник Криворізького технічного університету: Зб. наук. праць. – Кривий Ріг: КТУ – 2008. – Вип. 20. – С. 18–21.
4. Обоснование и отработка рациональных параметров взрывания приконтурных блоков с применением отбойных скважин уменьшенного диаметра / В.А. Фокин, Г.Е. Тарасов, М.Б. Тогунов, А.А. Данилкин, Ю.А.Шитов // Сб. «Взрывное дело». – № 97/54. – М.: Недра, 2007. – С. 32–39.
5. Аналіз методів визначення параметрів контурного підривання для формування постійних бортів кар'єрів при розробці скельних порід / Є.А. Загоруйко, Т.В. Косенко, О.О. Фролов // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2008. – № 1(44). – С. 144–147.
6. Граур М.И. Управление процессом разрушения пород при контурном взрывании с целью получения устойчивых откосов уступов в карьерах // Дис. ... канд. техн. наук. – М., 1981. – 201 с.

ЗАГОРУЙКО Євген Анатолійович – асистент кафедри геобудівництва та гірничих технологій Національного технічного університету України "КПІ".

Наукові інтереси:

– гірництво.

КОСЕНКО Тетяна Володимирівна – асистент кафедри геобудівництва та гірничих технологій Національного технічного університету України "КПІ".

Наукові інтереси:

– гірництво;

– вибухові роботи.

ФРОЛОВ Олександр Олександрович – кандидат технічних наук, доцент кафедри геобудівництва та гірничих технологій Національного технічного університету України "КПІ".

Наукові інтереси:

– вибухові роботи;

– гірництво.

Тел. (044) 406-80-08

Подано 15.04.2009

**Загоруйко Є.А., Косенко Т.В., Фролов О.О.** Встановлення залежності між лінійною масою заряду вибухової речовини і відстанню між контурними свердловинами

**Загоруйко Е.А., Косенко Т.В., Фролов А.А.** Установление зависимости между линейной массой заряда взрывчатого вещества и расстоянием между контурными скважинами.

**Zagorujko J., Kosenko T., Frolov O.** Established dependence between the linear mass of explosive charge and the distance between contour holes

УДК 622.235

**Установление зависимости между линейной массой заряда взрывчатого вещества и расстоянием между контурными скважинами / Е.А. Загоруйко, Т.В. Косенко, А.А. Фролов**

Выполнен анализ литературных источников по эффективности применения контурного взрывания и обнаружены определенные недостатки, связанные с выбором его рациональных параметров. Установлено, что в целом эффективность контурного взрывания зависит от оптимального расстояния между скважинами контурного ряда и конструкции заряда, которая характеризуется усредненной линейной массой заряда взрывчатого вещества. Получена зависимость линейной массы скважинного заряда взрывчатого вещества от расстояния между контурными скважинами.

УДК 622.235

**Established dependence between the linear mass of explosive charge and the distance between contour holes / J. Zagorujko, T. Kosenko, O. Frolov**

Carried out the analysis of the literature on the effectiveness of contour-firing and found some shortcomings associated with the choice of rational parameters. Established that the overall performance of the contour blasting depends on optimum distance between holes of contour line, and charge design, which is characterized by average weight of a linear charge of blasting material. Obtained the dependence of linear mass of hole charge of blasting material from the distance between contour holes.