

## ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗМІНИ РАДІУСА ЗОНИ ДРОБЛЕННЯ ПРИ РУЙНУВАННІ МАСИВІВ СКЕЛЬНИХ ПОРІД

*О.О. Фролов, канд. техн. наук (НТУУ “КПІ”, ІЕЕ)*

*Установлены закономерности изменения радиусов зоны дробления по глубине скважинного заряда. Результаты исследований могут быть использованы при проектировании схемы расположения скважинных зарядов в массиве горных пород.*

При вибуховому дробленні скельних масивів радіус зони дроблення змінюється по довжині свердловинного заряду. Знаючи закономірності його зміни, можна регулювати розподіл енергії вибуху, що йде на дроблення масиву гірських порід, шляхом раціонального перекриття зон дроблення при одночасному підриванні розташованих поряд зарядів вибухової речовини (ВР) [1]. Це дозволить забезпечити необхідну якість дроблення і уникнути утворення заколів у підшві уступу.

Зміну радіуса зони дроблення досить точно можна дослідити на хвильовій стадії дії вибуху, яка значною мірою зумовлює характер дроблення гірських порід. Визначальна роль хвиль напружень пояснюється тим, що швидкість їх поширення у середовищі в кілька разів більша від швидкості руйнування [2], тобто вони передруйнують середовище.

Для опису дії вибуху подовженого свердловинного заряду в масиві гірських порід використаємо метод електростатичної аналогії, оскільки поле напружень, що виникає поблизу заряду, подібне до потенціального поля, яке створюється таким же електрично зарядженим тілом. Згідно з цим методом, будь-який точковий (зосереджений) заряд створює навколо себе еквіпотенціальні поверхні, через одиницю площі яких проходить однакова кількість енергії. При цьому потік енергії напрямлений по нормалі до еквіпотенціальної поверхні і його густина (кількість енергії, що проходить через одиницю площі) в будь-якій точці простору визначається за формулою [3]

$$E = \frac{nq}{4\pi x^2}, \quad (1)$$

де  $q$  – енергія заряду, Дж;  $x$  – відстань від даної точки до заряду, м;  $n$  – коефіцієнт пропорційності, який залежить від властивостей середовища [4] і дорівнює

$$n = \frac{4\pi c^2}{10^7}, \quad (2)$$

де  $c$  – швидкість поширення звуку в породі, м/с.

Якщо розглядати подовжений заряд як суму зосереджених зарядів, розподілених по всій його довжині (відповідно до принципу Гюейса–Френеля) [4], то можна припустити, що при вибуху такого заряду також будуть виникати еквіпотенціальні поверхні, які характеризуються однаковою густиною хвильової енергії, що проходить через ці поверхні (рис. 1).

У цьому випадку при вибуху елемента  $dl$  густина потоку енергії, що протікає через одиницю площі еквіпотенціальної поверхні (точка  $A$ ), дорівнює

$$dE = \frac{n\epsilon d\alpha}{4\pi r_D} \sin(\alpha - \beta), \quad (3)$$

де  $\epsilon$  – енергоємність одиниці довжини заряду, Дж/м;  $r_D$  – радіус дроблення одиничного шару в точці  $A$ ;  $m$ ;  $\alpha$  – кут між напрямом радіуса-вектора на елемент  $dl$  і паралельною заряду площиною, що проходить через точку  $A$ ;  $\beta$  – кут між дотичною  $CC'$  в точці  $A$  і площиною, паралельною елементу  $dl$ .

Провівши інтегрування виразу (3) по довжині заряду, отримаємо повну густину потоку енергії, що проходить через еквіпотенціальну поверхню в точці  $A$ :

$$E = \frac{n\epsilon}{2\pi r_D} \sin\left(\frac{\alpha_2 - \alpha_1}{2}\right), \quad (4)$$

де  $\alpha_2 - \alpha_1$  – кут зору з даної точки на заряд.

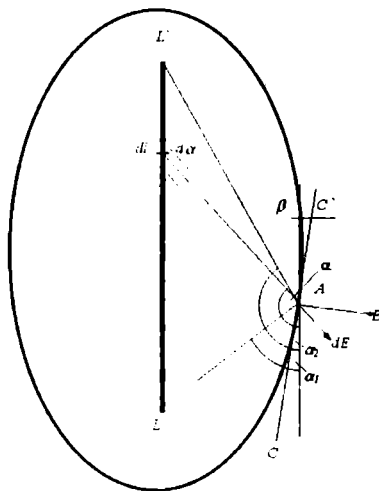


Рис. 1. Схема до визначення параметрів хвильового поля при вибуху подовженого заряду

Для одиничного шару породи повний потік енергії, що створюється при вибуху подовженого заряду, визначається добутком повного потоку енергії в точці на периметр цього шару, тобто

$$E_i = \pi \varepsilon \sin\left(\frac{\alpha_2 - \alpha_1}{2}\right). \quad (5)$$

З іншого боку, на дроблення одиничного шару затрачується енергія, що дорівнює

$$E_i = e \pi r_D^2, \quad (6)$$

де  $\pi r_D^2$  – об'єм одиничного шару породи;  $e$  – енергоємність руйнування, що визначається за формулою [5], Дж/м<sup>3</sup>:

$$e = \frac{\sigma^2}{2E} \sum_{i=1}^m \lg \frac{d_e}{d_i} + \frac{\rho \ln K_p}{2} U_0^2, \quad (7)$$

де  $\sigma$  – опір руйнуванню середовища, Па;  $E$  – модуль пружності, Па;  $d_e$  – діаметр природної окремістї, м;  $d_i$  – середній лінійний розмір куска певного класу крупності, що виділяється при вибуху, м;  $\sum_{i=1}^m$  – сума класів крупності;  $\rho$  – щільність гірської породи, кг/м<sup>3</sup>;  $K_p$  – коефіцієнт розпушення;  $U_0$  – критична швидкість руйнування середовища, м/с [6].

З урахуванням виразу (7) формула (6) матиме вигляд

$$E_i = \left( \frac{\sigma^2}{2E} \sum_{i=1}^m \lg \frac{d_e}{d_i} + \frac{\rho \ln K_p}{2} U_0^2 \right) \pi r_D^2. \quad (8)$$

Прирівнюючи вирази (5) і (8), а також враховуючи, що енергоємність одиниці довжини заряду дорівнює

$$\varepsilon = \frac{\pi d^2}{4} \Delta E_{\text{ВР}} \eta_x, \quad (9)$$

де  $d$  – діаметр заряду, м;  $\Delta$  – щільність заряджання, кг/м<sup>3</sup>;  $E_{\text{ВР}}$  – кількість енергії, що виділяється при вибуху 1 кг ВР, Дж/кг;  $\eta_x = 0,7$  – коефіцієнт хімічних втрат, отримаємо

$$n \frac{\pi d^2}{4} \Delta E_{\text{ВР}} \eta_x \sin\left(\frac{\alpha_2 - \alpha_1}{2}\right) = \left( \frac{\sigma^2}{2E} \sum_{i=1}^m \lg \frac{d_e}{d_i} + \frac{\rho \ln K_p}{2} U_0^2 \right) \pi r_D^2. \quad (10)$$

Перенесемо всі постійні члени рівняння ліворуч і обидві частини піднесемо до квадрата:

$$\frac{16r_D^4 \left( \frac{\sigma^2}{2E} \sum_{i=1}^m \lg \frac{d_e}{d_i} + \frac{\rho \ln K_p}{2} U_0^2 \right)^2}{d^4 n^2 \Delta^2 E_{\text{ВР}}^2 \eta_x^2} = \sin^2\left(\frac{\alpha_2 - \alpha_1}{2}\right). \quad (11)$$

По схемі, наведеній на рис. 2, виразимо  $\alpha_2$  і  $\alpha_1$  через тригонометричні співвідношення і, провівши математичні перетворення, остаточно отримаємо:

$$\frac{16r_D^4 \left( \frac{\sigma^2}{2E} \sum_{i=1}^m \lg \frac{d_e}{d_i} + \frac{\rho \ln K_p}{2} U_0^2 \right)^2}{d^4 n^2 \Delta^2 E_{\text{вп}}^2 \eta_x^2} = \frac{A + (L - H)(l_z - L + H) - r_D^2}{2A}, \quad (12)$$

де  $A = \sqrt{(L - H)^2 (l_z - L + H)^2 + r_D^2 (l_z - L + H)^2 + r_D^2 (L - H)^2 + r_D^4}$ ;  $L$  – довжина свердловини, м;  $l_z$  – довжина заряду, м;  $H$  – відстань по глибині від поверхні до даної точки, м.

Таким чином, отримане співвідношення виражає залежність радіуса зони дроблення  $r_D$  масиву гірських порід від глибини  $H$  при умові сталості всіх інших членів рівняння, тобто  $r_D = f(H)$ .

Однак вираз (12) описує дію вибуху подовженого заряду в безмежному просторі, тобто без урахування впливу вільної поверхні. Тому для отримання еквівалентного електростатичного поля при обчисленні значень радіуса зони дроблення по довжині заряду застосовано метод відображень (рис. 3). Згідно з цим методом свердловину симетрично продовжено відносно вільної поверхні і розрахунок ведеться для заряду довжиною  $2L$ . Потім обчислюються уявні напруження, що створюються набійкою довжиною  $2(L - l_z)$ , і віднімаються від напружень, що створюються повним зарядом. При визначених постійних параметрах свердловинного заряду і властивостях масиву ( $L = 15$  м,  $l_z = 12$  м,  $\Delta = 950$  кг/м<sup>3</sup>,  $E_{\text{вп}} = 4300$  кДж/кг,  $d = 0,216$  м,  $e = 3850$  кДж/м<sup>3</sup>,  $c = 5000$  м/с) з використанням числових методів розрахунку на ЕОМ отримано значення радіуса зони дроблення по глибині свердловини (рис. 4).

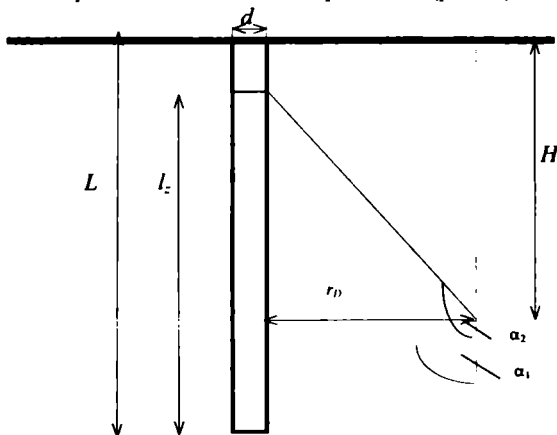


Рис. 2. Розрахункова схема визначення радіуса зони дроблення

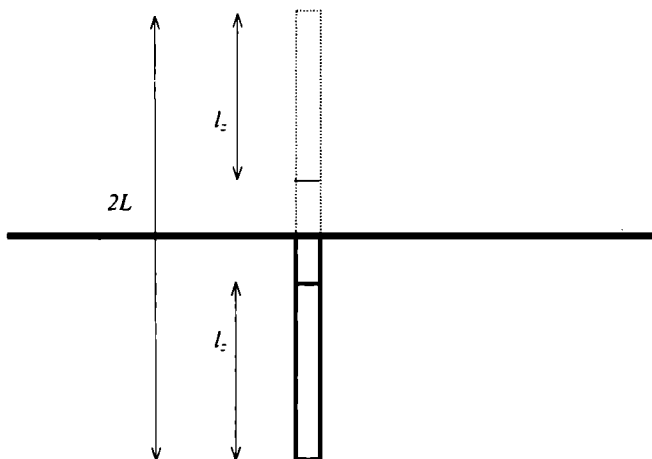


Рис. 3. Схема визначення параметрів воронки дроблення з урахуванням вільної поверхні

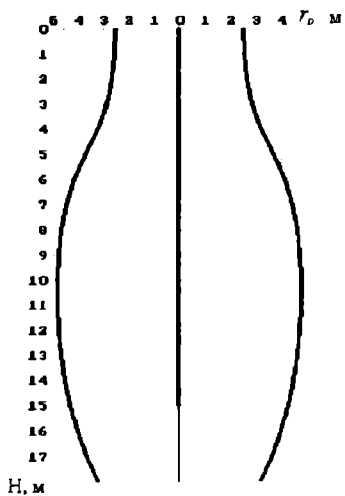


Рис. 4. Зміна радіуса зони дроблення по глибині свердловини

Аналіз рис. 4 показує, що радіус воронки дроблення має максимальне значення в центральній частині заряду і зменшується поблизу вільної поверхні (в межах довжини набійки) і нижньої частини заряду. Встановлена закономірність зміни радіуса зони дроблення може бути використана при проектуванні параметрів розташування свердловин на уступі кар'єру, а також для подальшого вивчення взаємодії зарядів у групі.

1. *Ефремов Э.И., Петренко В.Д., Пастухов А.И.* Прогнозирование дробления горных массивов взрывом. – К.: Наук. думка, 1990. – 120 с.
2. *Фадеев А.Б.* Дробящее и сейсмическое действие взрывов на карьерах. – М.: Недра, 1972. – 136 с.
3. *Кузьмичев В.Е.* Законы и формулы физики. – К.: Наук. думка, 1989. – 864 с.
4. *Мосинец В.Н.* Энергетические и корреляционные связи процесса разрушения пород взрывом. – Фрунзе: Изд-во АН Киргизской ССР. – 1963. – 233 с.
5. *Ефремов Э.И., Кравцов В.С., Мяхина Н.И. и др.* Разрушение горных пород энергией взрыва. – К.: Наук. думка, 1987. – 264 с.

УДК 622.235.5

## **ЕФЕКТИВНІСТЬ РУЙНІВНОЇ ДІЇ ВИБУХУ СВЕРДЛОВИННОГО ЗАРЯДУ В ГІРСЬКІЙ ПОРОДІ БІЛЯ ВІЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ**

***І. В. Тимошин, інж. (ВАТ “Взрывпром Юга Кузбасса”, РФ)***

*Разработан метод оценки относительной эффективности взрыва скважинных зарядов различных конструкций с учетом свойств горных пород и взрывчатых веществ для выбора рациональных параметров зарядов и места их расположения относительно свободной поверхности.*

Виконання підричних робіт часто ускладнюється через обводненість гірських порід, що призводить до підвищеної витрати дорогих водостійких вибухових речовин (ВР). Тому з метою використання дешевших неводостійких ВР при руйнуванні обводнених порід для гідроізоляції свердловинних зарядів застосовують поліетиленові оболонки (рукави). Для успішного розміщення рукава з ВР у свердловині необхідно, щоб діаметр рукава, заповненого ВР, був меншим від діаметра свердловини. Наприклад, для заряджання свердловин діаметром 216 мм використовують рукави діаметром 180 мм. У цьому випадку