

УДК 622.235

С.О. Жуков, д.т.н., проф.
С.В. Тіщенко, д.т.н., проф.
Криворізький технічний університет
В.В. Цариковський, д.т.н.
ДП «Науково-дослідний гірничорудний інститут»

ОПТИМІЗАЦІЯ ДИНАМІКИ РУЙНУВАННЯ МАСИВУ ГІРСЬКИХ ПОРІД

Встановлено основні закономірності розвитку, динаміки й характеру процесу вибухового руйнування гірського масиву, екранованого вибуходинамічною зоною.

Вступ. Важливою причиною, що ускладнює проблему забезпечення гірничого виробництва якісно підірваною скельною гірничою масою, є порушення природної структури масиву попередніми вибухами.

При вивченні цього питання було встановлено, що негабаритна фракція у верхній частині масиву, який підривається, формується в результаті утворення заколів під впливом вибухів, проведених раніше на верхньому й особливо на суміжному масивах. Результатом негативного впливу раніше проведених вибухів є утворення у верхній його частині структурних порушень, які стають причиною виходу негабаритної фракції. За таких умов частина масиву, яка прилягає до вільних поверхонь, при проведенні вибухових робіт часто є зоною нерегульованого дроблення.

Актуальність досліджень, поданих в статті, визначається стрімко зростаючою собівартістю буропідривної підготовки порід до виймання, на тлі того, що приведені обсяги даного технологічного процесу з невинним поглибленням гірничих робіт зростають випереджаючими темпами, що зумовлює нагальну потребу пошуку шляхів вирішення визначеної проблеми.

Постановка проблеми. Реальним шляхом підвищення якості вибухової підготовки гірських порід за сучасних умов розробки корисних копалин на залізородних кар'єрах та шахтах України є розробка системи технологічних методів вибухового руйнування, заснованої на максимальній концентрації енергії вибуху та її раціональному перерозподілі в гірському масиві.

Мета дослідження. У даній постановці проблеми розглянемо питання про взаємозв'язок питомого імпульсу та вибуху заряду ВР і початкового поля швидкостей, що виникає в середовищі після вибуху. При вирішенні поставленого завдання координати вектора початкової швидкості \overline{U}_0 для довільної точки об'єму, що руйнується, позначено через u_x, u_y, u_z у прямокутній системі координат.

Аналіз досліджень та публікацій. У результаті досліджень [1, 2] встановлено, що координати вектора початкової швидкості \overline{U}_0 для довільної точки середовища зі щільністю ρ , що сприйняла дію імпульсного вибухового навантаження i , можуть бути визначені як:

$$\overline{U}_0 \left(\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial i}{\partial x}, \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial i}{\partial y}, \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial i}{\partial z} \right).$$

Утворення поля швидкостей і пов'язаної з ним кількості руху повинне відповідати імпульсу зовнішніх сил. Оскільки при вибуху свердловинного заряду вибухової речовини (ВР) передається кінцева кількість кінетичної енергії, то і кількість руху, що утворюється, а отже, й імпульс вибуху мають кінцеві значення. На поверхні заряду L значення i можна вважати постійним. Ця умова виконується, якщо зарядна камера рівномірно заповнена вибуховою речовиною та детонація наближається до миттєвої. У цьому випадку тиск від вибуху впливає на всі ділянки поверхні зарядної камери свердловинного заряду. Значення питомого імпульсу вибуху визначається за балансом енергії, що передається вибухом середовищу.

Встановлено взаємозв'язок між розподілом енергії вибуху в середовищі та величиною питомого імпульсу вибухового навантаження. Кінетична енергія середовища є часткою енергії вибуху свердловинного заряду. Енергія, що передається середовищу вибухом заряду, відповідно до закону збереження, повинна дорівнювати роботі A , витраченій при її передачі.

Поверхневий інтеграл

$$Q = \int_L dA$$

дає повну енергію середовища, а значення кінетичної енергії, отриманої середовищем, може бути визначене як:

$$Q = \frac{i}{2\rho} \int_L \frac{\partial i}{\partial n} dL,$$

де \bar{n} – нормаль до поверхні L .

Викладення основного матеріалу. Дослідимо розподіл енергії вибуху в середовищі. Якщо щільність енергії q визначається як

$$q = \frac{\rho}{2} (\varphi'_x{}^2 + \varphi'_y{}^2 + \varphi'_z{}^2), \quad (1)$$

де $\varphi = i/\rho$ і $\rho = \text{const}$.

Формула (1) встановлює взаємозв'язок між щільністю енергії, акумульованою середовищем після вибуху, і величиною початкового питомого імпульсу в будь-якій точці з координатами x, y, z . Оскільки величина початкової швидкості, що виникає в середовищі після вибуху, безпосередньо пов'язана з імпульсом зовнішніх сил, то формула (1) може бути записана у вигляді:

$$q = \frac{\rho}{2} |U_0|^2. \quad (2)$$

Відповідно до отриманої залежності маємо щільність енергії в довільній точці середовища, що руйнується, яка є прямо пропорційною квадрату величини початкової швидкості в точці у результаті імпульсного вибухового впливу заряду ВР.

Графічно залежність (2) подано на рис. 1, де $\rho = [10^3 \text{ кг/м}^3]$.

Значно знизити негативний вплив від раніше проведених вибухів на гірський масив можна при використанні для вибухової відбійки скельних гірських порід вибуходинамічної зони руйнування, створюваної силовими полями взаємодіючих зарядів ВР, розташованих на границі масиву.

Основні свердловинні заряди дроблення ініціюють після зарядів ВР, що утворюють захисну вибуходинамічну зону, через інтервал часу, порівнюваний з короткоуповільненим підриванням і з конкретними умовами ведення підривних робіт.

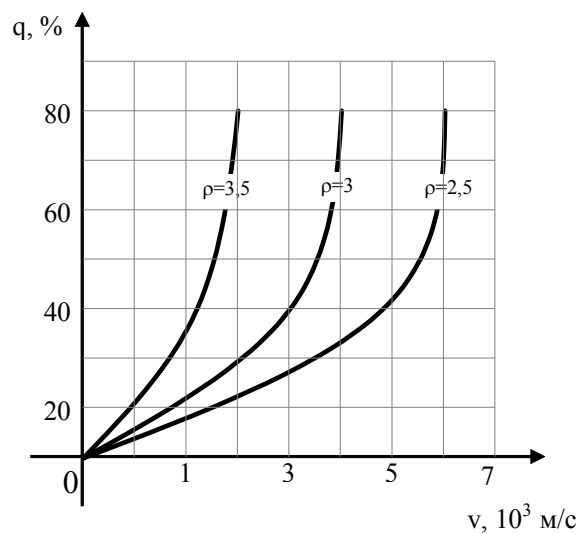


Рис. 1. Залежність між щільністю енергії та початковим полем швидкостей у середовищі, що руйнується

Для дослідження механізму утворення попередньої захисної вибуходинамічної зони руйнування було розглянуто процес взаємодії суміжних свердловинних зарядів ВР, розташованих на лінії утворення динамічної зони руйнування.

Від вибуху першого заряду ВР трансформується його енергія і передається в гірський масив у вигляді хвилі напружень, що, у свою чергу, викликає вимушені поздовжні його коливання між двома свердловинами. Велика кількість зароджень радіальних тріщин виникає у напрямку поширення вимушених коливань під тиском вибухових газів. При детонації суміжного заряду ВР хвиля напружень поширюється в масиві, що має орієнтовану напруженість з радіальними і тангенціальними порушеннями. Гірський масив, що знаходиться між взаємодіючими зарядами, концентрує напруження, значення яких набагато перевищують напруження на цілику. По лінії, яка з'єднує заряди ВР, гірський масив значно послаблюється, а оскільки він перебуває у хвильовому полі напружень, то процес розвитку тріщин інтенсивно поширюється у напрямі другого заряду ВР, що вибухнув. Вибух наступного заряду проявляється як початковий імпульс подальшого, найбільш сприятливого напрямку росту тріщин. У розвитку спрямованої системи руйнувань відіграють важливу роль

вимушені поздовжні коливання в масиві, максимальна інтенсивність яких проявляється уздовж границі динамічної захисної зони.

Поздовжні вимушені коливання виникають у масиві гірських порід під дією зовнішньої імпульсної сили. У масиві при вибуху зарядів ВР, що утворюють вибуходинамічну зону, остання реалізується як граничне положення поверхні руйнування. Поверхня руйнування визначається як:

$$D = \frac{1}{2}(V_n - v_{n_0})^2 + v_0 - \frac{\sigma_{n_0}}{\rho} - \frac{1}{2}(V_n - v_n)^2 - v + \frac{\sigma_n}{\rho},$$

де індекс 0 ставиться до незруйнованого стану; n – зовнішня нормаль до поверхні; σ_n , τ_i – компоненти вектора напруження; v_n – швидкість поширення поверхні руйнування; v – пружний потенціал одиниці маси; ρ – щільність матеріальних часток; V – швидкість матеріальних часток.

Величина D дорівнює необоротній роботі пластичних деформацій плюс перетворення поверхневої енергії тріщин на фронті руйнування в процесі утворення динамічної захисної зони.

Висновки. Процес вибухового руйнування гірських порід однозначно включає елементи розвантажувального руйнування від швидкого зняття навантаження. Використання динамічної зони руйнувань забезпечить майже одночасний перехід зі стану стиснення у стан розтягнення в частині масиву, що відділилася після вибуху в ньому зарядів дроблення. Цей ефект забезпечить інтенсивне дроблення масиву, що руйнується.

Ефективність даного руйнування багато в чому залежить від раціонального вибору способів формування свердловинних зарядів ВР з прив'язкою до гірничо-геологічних умов та властивостей гірських порід, що підриваються. Використання вибуходинамічної зони руйнувань, утвореної перед вибухом зарядів дроблення, дозволяє знизити руйнування суміжного масиву гірських порід, особливо в його верхній частині.

Поверхня руйнування при вибуху свердловинних зарядів ВР, що утворює вибуходинамічну захисну зону, у геометричному плані є границею між ціликом і руйнованим гірським масивом.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Власов О.Е., Смирнов С.А. Основы расчета дробления горных пород под действием взрыва. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – 107 с.
2. Физика взрыва / Ф.А. Баум, Л.П. Орленко, К.П. Станюкович и др./ Под. ред. К.П. Станюковича. – М.: Наука, 1975. – 407 с.

ЖУКОВ Сергій Олександрович – доктор технічних наук, завідувач кафедри будівельних конструкцій Криворізького технічного університету.

Наукові інтереси:

- комплексна розробка рудних родовищ, технології видобутку та переробки природного каменю;
- геомеханіка.

ТИЩЕНКО Сергій Вікторович – доктор технічних наук, професор кафедри вищої математики Криворізького технічного університету.

Наукові інтереси:

- фізичні процеси вибухових геотехнологій.

ЦАРИКОВСЬКИЙ Володимир Валентинович – доктор технічних наук, завідувач відділу ДП «Науково-дослідний гірничорудний інститут».

Наукові інтереси:

- підземна розробка рудних родових корисних копалин.

Подано 03.02.2009

Жуков С.О., Тищенко С.В., Цариковський В.В. Оптимізація динаміки руйнування масиву гірських порід

Жуков С.А., Тищенко С.В., Цариковский В.В. Оптимизация динамики разрушения массива горных пород

Zhukov S.A., Tishtshenko S.V., Tsarikovsky V.V. Optimization of dynamics of array rock breaking

УДК 622.235

Оптимизация динамики разрушения массива горных пород / С.А. Жуков, С.В. Тищенко, В.В. Цариковский

Установлена основная закономерность развития, динамики и характера процесса взрывного разрушения горного массива, экранированного взрыводинамической зоной

УДК 622.235

Optimization of dynamics of array rock breaking / S.A. Zhukov, S.V. Tishtshenko, V.V. Tsarikovsky

Basic conformities to the law of development, dynamics and character of process of explosive destruction of the mountain range screened by the dynamic area of explosion are set.