

УДК 622.235

С.В.ТИЩЕНКО, д-р техн. наук, проф., Г.И. ЕРЕМЕНКО, канд. техн. наук, доц.,
 М.В. МАРТЫНЮК, аспирант, ГВУЗ «Криворожский национальный университет»
 Д.Ю. МАЛЫХ, ООО «Метивнест Холдинг»

ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЦЕССА ВЗРЫВНОГО РАЗРУШЕНИЯ ОТ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНОГО МАССИВА

В работе рассмотрены особенности процесса разрушения горного массива в зависимости от физико-механических свойств последнего. Приведены зависимости позволяющие установить связь между динамикой взрывного разрушения и прочностными свойствами разрушаемого массива.

Ключевые слова: массив, объем, разрушение, процесс.

Процесс взрывного разрушения горного массива при заданных параметрах поля напряжений во многом определяется физическими свойствами и структурой разрушаемых пород. К основным свойствам горных пород относится объемный вес γ , а именно вес единицы объема породы с естественной влажностью и структурой, сопротивляемость горной породы разрушению при любом виде приложения нагрузки, которая оценивается величиной коэффициента крепости f по шкале профессора М.М. Протождяконова и трещиноватость [1]. В свою очередь, трещиноватость горного массива характеризуется густотой сетки трещин, их размерами, и ориентацией в пространстве. Следовательно, трещиноватость разрушаемого горного массива можно рассматривать как функцию от выше перечисленных параметров

$$\varphi = \psi(x_1, x_2, x_3). \quad (1)$$

Процесс дробления многие авторы [2] рассматривают как процесс роста и слияния трещин в разрушаемом объеме горного массива. Исследуем основные закономерности процесса разрушения с использованием теории статистики [3].

Значение параметров трещин во время воздействия взрывной нагрузки меняется в их совокупности по закону непрерывной случайной величины. Совокупность всех возможных значений параметров в силу непрерывности их изменения образуют некоторую трехмерную область z , координаты каждой точки которой определены как (γ, f, φ) .

В общем виде закономерность распределения трещин, согласно введенных нами параметров, будет иметь вид

$$F = \int_z F(\gamma, f, \varphi) dz, \quad (2)$$

где $F(\gamma, f, \varphi)$ - дифференциальная функция распределения.

Конкретный вид данной функции зависит от свойств и структуры рассматриваемой среды, при этом надо учитывать тот факт, что переменная φ , в свою очередь, является функцией от основных параметров, характеризующих степень трещиноватости горной породы. Область z определяется параметрами поля напряжений, при котором происходит развитие и слияние трещин, имеющих в разрушаемом массиве.

Рассмотрим процесс взрывного разрушения горного массива в динамике.

Горный массив будем рассматривать как квазиизотропную среду, размеры трещин не превышают линейные размеры рассматриваемого объема и беспорядочно ориентированы.

В качестве количественной характеристики напряженного состояния разрушаемого массива, вызывающее разрушения, примем величину

$$\sigma_p^2 = \sqrt{(1+V)(\sigma_{ij}\varepsilon_{ij} - V\theta^2)}, \quad (3)$$

где σ_{ij} - компоненты тензора напряжений; ε_{ij} - компоненты тензора деформаций, $\theta = \sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33}$.

Энергия деформированного изотропного тела равна

$$W = -\int_V \left(\frac{V}{2E}\theta^2 - \frac{1+V}{2E}\sigma_{ij}\varepsilon_{ij} \right) dV. \quad (4)$$

Если обозначить через ΔV - элементарный объем в разрушаемом массиве и учесть, что компоненты тензора напряжений в этих пределах изменяются незначительно, то получим:

$$\Delta W = \frac{1}{2} \sigma_p^2 E^{-1} \Delta V \quad (5)$$

Принимая во внимание тот факт, что число трещин в объеме ΔV - горной породы подчиняется нормальному закону распределения по площадям:

$$dN = n_0 e^{-\beta^2 S} dS \quad (6)$$

откуда

$$N = n_0 \int e^{-\beta^2 S} dS = -n_0 \beta^{-2} e^{-\beta^2 S}, \quad (7)$$

где n_0 и β – постоянные коэффициенты, характеризующие структуру горного массива.

Продукты детонации, действующие на стенки зарядной камеры, образуют в разрушаемом горном массиве очень неоднородное сложное поле напряжений, распространяющееся со скоростью, определяемой физическими свойствами среды. В реальных условиях, даже при равномерном напряжении, поля напряжений имеют локальную неоднородность. На берегах трещин концентрируются напряжения. Этот процесс во многом зависит от их конкретных размеров. Когда величина напряжений достигает величины σ_p , трещина начинает расти. При этом процесс развития трещин становится необратимым. Для разрушения хрупкой среды необходимо и достаточно, чтобы удовлетворялось условие

$$\varepsilon \geq \varepsilon_p,$$

где ε - относительная деформация среды от воздействия взрыва; ε_p - максимально возможная относительная деформация.

Относительная деформация определяется так: $\varepsilon = \Delta S / S$, где ΔS - абсолютное перемещение стенок скважины в заданный момент времени m , S - длина напряженного массива, м. На рис. 1 показана графически зависимость величины относительной деформации от линейных размеров разрушаемого массива.

Длина горного массива, находящегося под действием взрывной нагрузки в направлении от скважинного заряда в сторону перемещения ΔS в момент времени Δt равна $S = C \Delta t$, где C - скорость распространения волн напряжений в данной среде, м/с.

Известная формула А.А. Гриффитса связь между воздействующими напряжениями и размером трещин

$$\sigma = \frac{2}{3} (E \gamma L S_{кр}^{-1})^{1/2}, \quad (8)$$

т.е., если приложенная нагрузка вызывает в теле поле напряжений величиной σ , то все трещины площадью $S \geq S_{кр}$ станут расти, причем линейные размеры трещин l_i должны удовлетворять условию

$$l_i \ll L,$$

где L - линейные размеры тела. Число таких трещин, распространяющихся под действием напряжений σ , равно

$$m = n_0 \int_{S_{кр}}^{\infty} e^{-\beta^2 S} dS = \frac{\sqrt{\pi}}{2\beta} (1 - \Phi(S_{кр})),$$

где $\Phi(S_{кр}) = 2/\sqrt{\pi} \int_0^{S_{кр}} e^{-\beta^2 S} d(\beta S)$ - интеграл вероятности, определяющий вероятностное число трещин, удовлетворяющих условию $S \geq S_{кр}$.

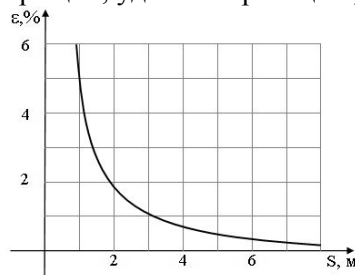


Рис 1. Зависимость относительной деформации от расстояния

Постоянные n_0 и β определяют для каждого конкретного материала особенности процесса разрушения. Они отражают зависимость между разрушающим напряжением и первоначальной сеткой трещин в данном разрушаемом объеме.

Экспериментальные исследования, выполненные авторами [3], позволили аппроксимировать зависимость времени достижения трещиной максимальной скорости распространения $t = k e^{-m\sigma} P(\sigma - \sigma_0)$, где k и m - постоянные для каждого конкретного материала, σ_0 - напряжение, при котором вероятность роста трещин равна вероятности их смыкания. Функция $P(\sigma - \sigma_0)$

определена в виде функции Дирихле и имеет вид

$$P(\sigma - \sigma_o) = \begin{cases} 1, & \text{если } \sigma - \sigma_o > 0; \\ 0, & \text{если } \sigma - \sigma_o \leq 0. \end{cases}$$

Общее время разрушения единицы объема равно

$$t_{\text{общ}} = \frac{1}{V} \left(\frac{\beta}{n_o \sqrt{\pi}} \right)^{1/3} \left(1 - \Phi \left(\frac{4}{9} LE \gamma \sigma^{-2} \right)^{-1/3} - \frac{\varepsilon}{2} e^k P(\sigma - \sigma_o) \right). \quad (9)$$

Усредненное расстояние между растущими трещинами при условии их равномерного распределения в рассматриваемом единичном объеме:

$$h = \left(\beta / \sqrt{\pi \cdot n_o (1 - \Phi(S_{кр}))} \right)^{1/3}.$$

Согласно [2] энергия, диссипированная в данном объеме разрушаемой среды в результате взрыва, складывается из работы сил деформации и энергии, переданной среде ударной волной, элементарная работа сил пластической деформации над сферическим слоем толщиной dr при его перемещении на расстояние $S=udt$, равна

$$dE_1' = -8\pi (\sigma_r - \sigma_\theta) u r dr dt.$$

После интегрирования выражения (9) по времени получим работу сил пластической деформации, производимую над рассматриваемым объемом за время его движения

$$dE_1 = -8\pi \int_{t_o}^{t_m} (\sigma_r - \sigma_\theta) u r dr dt, \quad (10)$$

где t_o - начальное время; t_m - время полного расширения радиуса ударной волны; σ_r, σ_θ - главные нормальные напряжения.

Энергия, переданная ударной волной сферическому объему среды

$$dE_2 = 2\pi \varepsilon^2 \cdot \rho_o R^2(r_o) r_o^2 dr_o, \quad (11)$$

где r_o - лагранжева координата; ε, ρ_o - параметры, характеризующие среду; R - радиус фронта ударной волны.

Принимая во внимание, что $r^3 = \varepsilon n^3 + (1 - \varepsilon) r_o^3$, а также значение параметров пластической среды $\sigma_r - \sigma_\theta = k + m(\sigma_r + 2\sigma_\theta)$, $k = \tau_k - \bar{m} \rho$, где τ_k - касательное напряжение, ρ - среднее напряжение, \bar{m} - коэффициент внутреннего трения при условии что массовая скорость частиц за фронтом ударной волны равна $U = \varepsilon R^2(t) \cdot R'(t) \cdot r^{-2}$, где $R'(t)$ - скорость фронта ударной волны можно получить формулу, определяющую полную энергию, диссипированную в рассматриваемом объеме разрушаемой среды

$$dE = 2\pi \varepsilon^2 \rho_o R^2(r_o) \cdot r_o^2 \cdot dr_o - 4\pi \alpha \varepsilon r_o dr_o (1 - \varepsilon) \cdot \int_{t_o}^{t_m} \frac{(\sigma_r + k/3m) R^2(t) \cdot R'(t) \cdot dt}{\varepsilon R^3(t) + (1 - \varepsilon) r_o^3}.$$

Согласно полученной формулы, а также формул (10) и (11) видно, что распределение энергии, диссипированной в рассматриваемой среде, зависит от k и свойств самой среды, и при этом не зависит от полной энергии взрыва.

Выполненные исследования показывают, что процесс разрушения горных пород при данных характеристиках поля напряжений определяется физическими свойствами разрушаемого массива и его структурными особенностями. Хотя интенсивность дробления разрушаемой среды и зависит от многочисленных факторов, однако их влияние на характер процесса разрушения неравнозначный. На это указывают и многочисленные исследования. Определяющими факторами качества взорванной горной массы, очевидно, является величина и продолжительность импульсного воздействия в разрушаемом массиве горных пород и физико-механические свойства последних. Учитывая тот факт, что горно-геологические условия проведения взрывных работ можно считать заданными, то процессом взрывного дробления можно управлять, рационально используя определенную технологию взрывной отбойки, определяющую характер взрывного нагружения в зависимости от физико-механических свойств среды.

Список литературы

1. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. – М.: Недра, 1984 г. – с.359
2. Мосинцев В.Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах. – М.: Недра, 1976 г. – с.270.

3. Тищенко С.В. Использование динамической зоны разрушений для защиты законтурного массива горных пород при производстве взрывных работ // Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог: КТУ, 2003. – Вып.83. – С.17-20.

Рукопись поступила в редакцию 03.04.12

УДК 528.4

В.Г. БУРАЧЕК д-р техн. наук, проф., Т.М. МАЛІК, старший викладач,
Університет новітніх технологій, м. Київ

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВІЗУВАННЯ ПРИСТРОЇВ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ

Постановка проблеми. Існуючі способи або методи візування, наприклад візуальний або фототеодолітний мають низку недоліків: великий об'єм ручних (візуальних) вимірювань та налаштування приладів, важкість використання цих методів при автоматичному або при автоматизованому моніторингу споруди та ін. Описаний в статті спосіб підвищення точності візування пристроїв фотоелектричного зв'язку розкриває перспективи суттєвого підвищення точності візування за рахунок застосування субпіксельної технології вимірювань в умовах оптико-електронного зв'язку приладів подвійного фотоелектричного ланцюгу.

Огляд попередніх публікацій. Відомі способи візування:

візуальний, за допомогою оптичної зорової труби [5], при цьому використовують методи візування зоровою трубою нівеліра, теодоліта та ін., де для візування застосовують сітки і шкали з вертикальними і горизонтальними нитками;

фототеодолітний метод, в якому виконують візування мішенню фотоприймального пристрою по горизонтальному або вертикальному штриху, а також по зображенню точки [6].

При фототеодолітному способі візування використовується фотоелектричний зв'язок між променем візування і ПЗЗ матрицею, на мішень якої цей промінь падає.

Пристрій для контролю положення елементів інженерної споруди [1,2], дозволяє забезпечити вимірювання поточних координат деформаційних марок інженерної споруди, при цьому внаслідок обмежених можливостей схеми «об'єktiv-матриця» точність вимірювання кутів приладами з використанням подвійного фотоелектричного ланцюгу (ПФЕЛ) буде не достатньо високою (при $f=200$ мм і розмірі сторони пікселя 0,01 мм точність відліку буде складати не краще 10 кутових секунд).

У [2] описано спосіб контролю висотного положення деформаційних марок, що ґрунтується на фотоелектричній реєстрації відносного положення трьох суміжних марок, який відрізняється тим, що фотоелектричний вимірювальний прилад (ФЕП) з'єднують з посадковою конструкцією деформаційної марки, світлові випромінювачі з'єднують також з сусідніми по обидва боки від ФЕП деформаційними марками, а світлові потоки від світлових випромінювачів направляють в об'єktiv ФЕП і вимірюють різницю кутових відхилень зображень світлових випромінювачів в полі зору ФЕП. При цьому для підвищення точності застосовують оптичний клин з обертанням навколо оптичної осі ФЕП. Зображення джерела світла на мішені матриці суміжного ФЕП описує коло. По положенню точок кола визначають центр кола на мішені.

У даному випадку розв'язується задача контролю висотних відміток деформаційних марок. Рішення ґрунтується на фотоелектричній реєстрації відносного положення трьох суміжних марок ФЕП з перестановкою на сусідню марку за напрямком нівелірного ходу, а світлові випромінювачі переставляють також на сусідні по одній марці і виконують вимірювання, аналогічне попередньому; далі повторюють описані операції по всьому нівелірному ходу, а за отриманими різницями кутових відхилень зображень світлових випромінювачів на всіх деформаційних марках, включаючи марки на опорних реперах, розраховують і зрівнюють значення висотних відміток деформаційних марок і порівнюють ці значення з отриманими у попередньому черговому циклі вимірів.

На рис. 1 зображено блок-схему приладової реалізації способу контролю висотного положення деформаційних марок:

світлові випромінювачі (1.1-лівий, 1.2-правий);

призмий світлорозподільний блок;