

ПРИМЕНЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОДХОДА ДЛЯ ОЦЕНКИ ДЕЙСТВИЯ ВЗРЫВА ПРИ РАЗРУШЕНИИ СКАЛЬНЫХ МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД

Фролов А.А.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина

Предложено для оценки действия взрыва в скальных горных породах использовать величину энергетического потока. Установлено, что энергетический поток в любой точке горного массива будет прямо пропорционален напряжению, возникающему в породе при прохождении волны напряжения, и давлению на фронте ударной волны при взрыве.

При распространении волны в пространстве от любого источника происходит также и распространение энергии, поскольку частицы среды, участвующие в колебательном движении, получают энергию от волны [1].

Предположим, что источником энергии является взрыв заряда взрывчатого вещества (ВВ). В результате его действия образуется ударная волна, которая в горном массиве скальных пород переходит в волну напряжения. Поскольку скальная горная порода считается упруго деформированной средой, то объемная плотность упругой (потенциальной) энергии в любой точке пространства будет равна:

$$w_n = \frac{1}{2} E \varepsilon^2, \quad (1)$$

где ε – относительная деформация среды; E – модуль упругости.

При прохождении волны напряжений по горному массиву каждая единица объема будет характеризоваться также и кинетической энергией, плотность которой определяется как:

$$w_k = \frac{1}{2} \rho v^2, \quad (2)$$

где ρ – плотность среды (массива горных пород); v – скорость смещения частиц среды в волне, распространяющейся в пространстве.

Таким образом, плотность полной энергии составляет:

$$w = w_n + w_k = \frac{1}{2} E \varepsilon^2 + \frac{1}{2} \rho v^2. \quad (3)$$

Учитывая, что значение динамического модуля упругости E в идеально упругой среде определяется как

$$E = \rho c_l^2, \quad (4)$$

где c_l – скорость распространения продольных волн напряжений, то уравнение (3) запишется:

$$w = \frac{1}{2} \rho (c_l^2 \varepsilon^2 + v^2). \quad (5)$$

В дифференциальной форме (5) будет иметь вид [2]:

$$w = \frac{1}{2} \rho \left[c_l^2 \left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \xi}{\partial t} \right)^2 \right]. \quad (6)$$

где ξ – смещение частиц среды.

Согласно [3], обе составляющие, находящиеся в скобках, в каждой точке пространства равны между собой и изменяются синфазно. Поэтому среднее значение объемной плотности энергии можно записать в виде

$$w = \rho \left(\frac{\partial \xi}{\partial t} \right)^2. \quad (7)$$

Поскольку энергия распространяется в среде вместе с ее возмущением, то для характеристики этого распространения введено понятие энергетического потока, под которым понимают количество энергии, переносимой волной через определенную поверхность S в единицу времени:

$$\Phi = \frac{dW}{dt}, \quad (8)$$

где dW – энергия, переносимая волной напряжения через определенную поверхность за время dt .

Энергетический поток в разных точках поверхности S может иметь различную интенсивность, которая характеризуется плотностью потока энергии j , т.е. потока энергии через единичную поверхность площадки, перпендикулярной направлению переноса энергии:

$$j = \frac{d\Phi}{dS}. \quad (9)$$

Если принять, что энергия переносится через элементарный объем цилиндра dV с площадью основания dS и образующей длиной $c_l dt$ (где c_l – скорость переноса энергии или скорость распространения продольных волн напряжений) (см. рисунок), т.е.

$$dV = c_l dt dS, \quad (10)$$

то энергия, которая содержится внутри этого цилиндра, будет равна:

$$dW = w c_l dt dS \cos \alpha. \quad (11)$$

где α – угол между нормалью \mathbf{n} и направлением потока энергии.

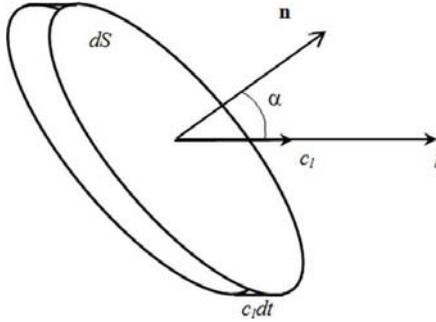


Рис.1. Схема к определению плотности потока энергии

Подставляя сначала уравнение (11) в (8), а затем (8) в (9) и принимая, что единичная площадка перпендикулярна к направлению переноса энергии ($\alpha=0^\circ$), получим выражение для определения плотности потока энергии в определенной точке среды:

$$j = wc_l. \quad (12)$$

С учетом (7) формула (12) примет вид

$$j = \rho \left(\frac{\partial \xi}{\partial t} \right)^2 c_l. \quad (13)$$

Запишем (13) в виде

$$j = \frac{1}{c_l} \rho \left(\frac{\partial \xi}{\partial t} \right)^2 c_l^2 \quad (14)$$

и с учетом (4) имеем

$$j = \frac{1}{c_l} \rho \left(\frac{\partial \xi}{\partial t} \right)^2 \frac{E}{\rho} = \left(\frac{1}{c_l} \frac{\partial \xi}{\partial t} \right) \frac{\partial \xi}{\partial t} E. \quad (15)$$

или

$$j = \left(E \frac{\partial \xi}{\partial x} \right) \frac{\partial \xi}{\partial t} = \sigma v \quad (16)$$

где $\sigma = E \frac{\partial \xi}{\partial x}$ – напряжение; $v = \frac{\partial \xi}{\partial t}$ – скорость смещения частиц среды.

Если известно направление переноса энергии в определенной поверхности S , то можно определить энергетический поток через эту поверхность, то есть

$$\Phi = \int_S j dS. \quad (17)$$

При направлении потока энергии перпендикулярно элементарной поверхности dS формулу (17) с учетом (16) можно представить в виде

$$\Phi = \int_S \sigma v dS = \sigma v \int_S dS. \quad (18)$$

Скорость смещения частиц скальной горной породы, в которой распространяется волна напряжений, согласно [4], можно определить из выражения

$$v = P \left(\frac{1}{\rho c_l} + \frac{1}{i r \rho \omega} \right) = v_r + v_j. \quad (19)$$

где P – давление продуктов детонации на стенки зарядной полости; r – расстояние до точки наблюдения; $i = \sqrt{-1}$ – комплексное число; ω – круговая частота.

С (19) видно, что скорость смещения частиц в волне напряжений имеет две составляющие: волновая компонента v_r , которая совпадает по фазе с давлением и гидродинамическая компонента v_j , которая отстает по фазе на $\pi/2$.

Волновая компонента скорости смещения частиц связывается с полем напряжений и характеризуется, прежде всего, изменением плотности среды.

Образование гидродинамической составляющей скорости обуславливается геометрическим расхождением массового потока, инерция движения которого образует вокруг заряда присоединенную массу. Считается, что энергия гидродинамического поля, затрачиваемая на преодоление сил инерции, находится в колебательном движении и в горный массив не поступает. Эта энергия реализуется на дробление и перемещение горной породы в ближней зоне, т.е. вблизи заряда ВВ гидродинамическая компонента скорости имеет высокие значения, а на более значительных расстояниях очень маленькие по сравнению с волновой компонентой вследствие более интенсивного затухания [4]. Поэтому (19) в общем виде можно записать:

$$v = \frac{P}{\rho c_l}. \quad (20)$$

Таким образом, энергетический поток взрыва с учетом (18) и (20) равен:

$$\Phi = \sigma \frac{P}{\rho c_l} \int_S dS. \quad (21)$$

При взрывании скважинного заряда граммонита 79/21 длиной 10 м и диаметром 250 мм в железистых кварцитах численное значение образовавшегося энергетического потока составляет около 1020 ГВт.

Таким образом, значение энергетического потока или его плотности в любой точке скального массива будет численно характеризовать дейст-

вие взрыва заряда ВВ в конкретной горной породе и позволит производить сравнительную оценку влияния различных типов ВВ на дробление горных пород.

Литература

1. Парфенов А.Г. Колебания и волны: учебник для студентов вузов. – Томск, 2000. – <http://koi.tspu.ru/wales>.
2. Детлаф А. А., Яворский Б. М. Курс физики. Волновые процессы. Оптика. Атомная и ядерная физика. – М.: Высшая школа, 1979. – т. 3. – 511 с.
3. Иродов И. Е. Волновые процессы. Основные законы. – М.: Лаборатория базовых знаний, 1999. – 256 с.
4. Паршаков Ю.П. Влияние свойств массива и параметров взрывного импульса на дробящее и сейсмическое действие взрыва // Взрыв. дело. – М., 1984. – № 89/43. – С. 15–21.

УДК 622.7.016:622.343/344

ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕДНО-ЦИНКОВО-КОЛЧЕДАННЫХ РУД ЗАПАДНО-ОЗЕРНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

¹ Ягудина Ю.Р., ² Емельяненко Е.А.

¹ ОАО "Учалинский горно-обогатительный комбинат" (г. Учалы), Россия

² ФГБОУ ВПО "Магнитогорский государственный технический университет"

Приведены данные об особенностях минералогического и вещественного состава медно-цинково-колчеданных руд Западно-Озерного месторождения, результаты химического и фазового анализа. Даны результаты лабораторных испытаний по флотации руд Западно-Озерного месторождения, содержащих сурьму и мышьяк.

Несколько десятилетий назад технология обогащения твердых полезных ископаемых состояла в основном из последовательно включенных в технологическую цепочку различных рудоподготовительных и обогатительных процессов с получением в последней стадии товарных концентратов или других продуктов. В последнее время в связи с постоянно ухудшающимся вещественным составом минерального сырья, увеличением доли руд с неравномерной тонкодисперсной структурой в добываемых и перерабатываемых рудах, снижением содержания ценных компонентов полезных ископаемых получение качественных концентратов при удовлетворительном извлечении становится проблематичным. Для получения кондиционных продуктов обогащения требуется дополнительная гидрометаллургическая или пирометаллургическая доводка. Таковыми, в частности, являются медно-цинково-колчеданные руды месторождения Западно-Озерное, расположенного на крайнем западе Учалинско-Узельгинского рудного узла, на северо-западном фланге Узельгинского рудного поля,