

К ВОПРОСУ О ДРОБЛЕНИИ МАССИВА ВЗРЫВОМ КОЛОНКОВОГО ЗАРЯДА

Андриевский А.П.¹, Зуев А.Е.¹

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии и химической технологии Сибирского отделения Российской академии наук (ИХХТ СО РАН), Красноярск, Россия (660036, Красноярск, Академгородок, 50, стр. 24), E-mail: chem@icct.ru

В статье предлагается новый подход к процессу дробления монолитного горного массива взрывом удлиненного заряда с учетом различных горно-геологических и горнотехнических условий. Модель учитывает динамическое действие взрыва на окружающий массив, его прочностные характеристики, качество применяемого взрывчатого вещества, продолжительность действия взрывной нагрузки и скорость распространения волн нагружения в массиве. В основе определения модели разрушения учитываются следующие факты: переход массива из «спокойного» состояния в «нагруженное» происходит во времени; напряжения, возникающие в массиве идентичны напряжениям, возникающим в толстостенных цилиндрах. Данный подход позволяет научно обосновать возникновение трещин в разрушаемом массиве и оценить крупность фракций формирующихся при его разрушении взрывом удлиненного заряда.

Ключевые слова: длина заряда, колонковый заряд, радиус зоны смятия.

BY THE ISSUE OF SPLITTING MASS EXPLOSION COLUMN CHARGE

Andriyevskiy A.P.¹, Zuyev A.E.¹

¹Federal State Budget Institution of Science "Institute of Chemistry and Chemical Technology", Russian Academy of Sciences, Siberian Branch (ICCT SB RAS), Krasnoyarsk, Russia, (660036, Krasnoyarsk, 50, Akademgorodok, Building 24), e-mail: chem@icct.ru

The paper proposes a new approach to the process of splitting a monolithic rock mass explosion elongated charge based on various geological and mining conditions. The model accounts for the dynamic operation of the explosion on the surrounding array, its strength characteristics, the quality of the explosive used, the duration of the explosive load and loading speed of wave propagation in the array. The basis of determining the fracture model takes into account the following facts: the transition of the array of the "quiet" state to the "loaded" takes place in time; stresses that occur in the array are identical stresses in thick-walled cylinders. This approach allows the scientific foundation for the appearance of cracks in the array destroys the particle size fractions and evaluate emerging when an explosion destroyed the elongated charge.

Keywords: the length of the charge, core charge radius of the crumple zones.

Процессу дробления массива взрывом посвящено значительное количество научных работ, однако единого мнения по данному вопросу нет.

Мосинец [3,4] предлагает рассматривать процесс дробления за счет возникновения отраженных волн и возникающих в связи с эти напряжений разрыва. Однако, установлено, что распространение трещин в процессе разрушения идет от заряда, а не наоборот.

Миндели [2] считает, что процесс разрушения горного массива взрыва связан с прохождением в нем ударных волн. Однако, установлено, что ударная волна распространяется, как правило, на ограниченном расстоянии и проходит в пределах образующейся при взрыве зоны смятия. Другим заблуждением при рассмотрении процесса дробления является представление, что нагружение массива происходит мгновенно. Однако, установлено, что на процесс разрушения оказывает влияние время действия взрывной нагрузки и скорость распространения продольных волн в массиве [1]. Тогда с учетом

времени действия взрывной нагрузки (которая зависит от скорости детонации применяемого ВВ, длины заряда и места его инициирования), а также скорости распространения продольных волн за которой массив из «спокойного» состояния переходит в напряженное можно представить следующим образом:

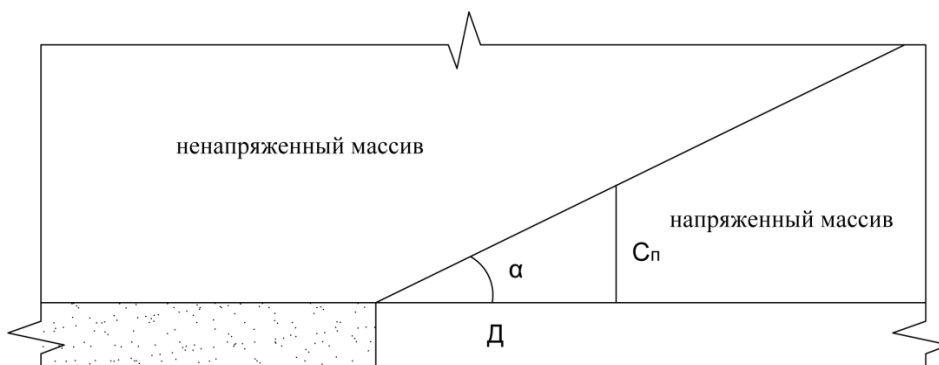


Рис. 1. Схема перехода массива в напряженное состояние

А динамическая модель разрушения массива вдоль заряда в виде (рис.2):



Рис. 2. Модель разрушения массива вдоль заряда

Исходя из вышеизложенного, можно представить следующие модели разрушения массива:

1. за счет изгибающего момента в массиве в виде «балки» с двумя защемленными концами (длиной l рис. 3)
2. за счет среза вдоль заряда на участках (длиной l рис. 3)

Согласно первой модели «разрушение балки с двумя защемленными концами» (с определенными допущения можно принять балку в виде трапеции).

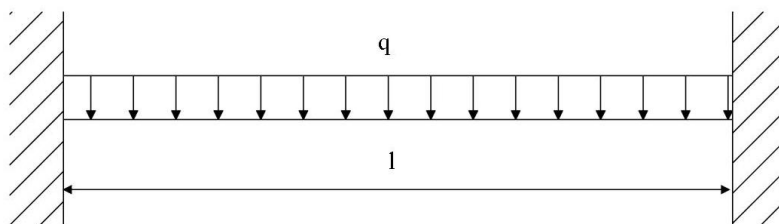


Рис.3. Схема балки с двумя защемленными концами

получим: $M_u = \frac{q \cdot l^2}{12}$ (1)

момент сопротивления для трапеции:

$$W_a = \frac{h^2 \cdot (b^2 + 4 \cdot a \cdot b + a^2)}{12 \cdot (2 \cdot b + a)} \quad (2)$$

$$W_b = \frac{h^2 \cdot (b^2 + 4 \cdot a \cdot b + a^2)}{12 \cdot (2 \cdot a + b)} \quad (3)$$

т.е. $\sigma_p = \frac{M}{W_b}$ (4)

после подстановки (преобразований?)

$$\sigma_p = \frac{q \cdot l^2}{12 \cdot W_b} = \frac{q \cdot l^2 \cdot 12 \cdot (2a + b)}{12 \cdot h^2 \cdot (b^2 + 4 \cdot a \cdot b + a^2)} \quad (5)$$

а с учетом сопротивления с боков (работа на срез) модель можно представить следующим образом:

$$\sigma_p = \frac{q \cdot l^2 \cdot (2a + b)}{h^2 \cdot (b^2 + 4 \cdot a \cdot b + a^2)} - 2 \cdot (R - r_{см}) \cdot l \cdot \tau \quad (6)$$

где q - равномерно распределенная нагрузка;

l - длина заземленной балки, м;

R - расчетный радиус зоны трещин, м;

$r_{см}$ - расчетный радиус зоны смятия, м;

σ_p - предел прочности пород на разрыв, Мпа ($\sigma_p \approx 0.1 \cdot \sigma_{сж}$);

$\sigma_{сж}$ - предел прочности пород на сжатие $\sigma_{сж} = 10 \cdot f$;

f - коэффициент крепости пород по шкале Протоdjяконова, д.е.;

τ - предел прочности пород на срез, Мпа ($\tau \approx 0.2 \cdot \sigma_{сж}$).

Из геометрических соображений:

$$a = 2 \cdot r_{см} \cdot \sin 0.5\alpha; \quad b = 2 \cdot R \cdot \sin 0.5\alpha; \quad h = 2 \cdot (R - r_{см}) \cdot \cos 0.5\alpha$$

где α - угол раствора образующейся при взрыве воронки.

После преобразования формулы получим размер фракции вдоль заряда:

$$l_{1,2} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 + 4 \cdot A \cdot C}}{2 \cdot A} \quad (7)$$

где $A = q \cdot (2 \cdot a + b)$;

$$B = -2 \cdot (R - r_{см}) \cdot h^2 \cdot (b^2 + 4 \cdot a \cdot b + a^2) \cdot \tau;$$

$$C = -\sigma_p \cdot h^2 \cdot (b^2 + 4 \cdot a \cdot b + a^2)$$

Вторая модель разрушения за счет сдвиговых сил запишется следующим образом:

$$\tau = \frac{N}{2 \cdot S_1 + 2 \cdot S_2}; \quad (8)$$

где S_1 - площадь боковая ($S_1 = l \cdot R$);

S_2 - площадь торцевая ($S_2 = \frac{a+b}{2} \cdot h$);

$$N = P \cdot a \cdot l$$

или после подстановки и преобразований получим:

$$l = \frac{(a+b) \cdot h}{a \cdot P - 2 \cdot \tau \cdot R} \quad (9)$$

где P_2 - давление на контакте зона смятия - массив ($P = \frac{q \cdot D^2}{8}$; с учетом ударного

действия нагрузки $P = 2 \cdot \frac{q \cdot D^2}{8} = \frac{q \cdot D^2}{4}$, $P_2 = \frac{P \cdot r}{r_{см}}$).

Что касается дробления массива поперек заряда, то необходимо рассматривать модель (монография), согласно которой в массиве возникают напряжения:

$$\sigma_t = \frac{P_6 \cdot r_6^2}{r_n^2 - r_6^2} \cdot \left(1 + \frac{r_n^2}{r^2}\right) = \sigma_1; \quad (10)$$

$$\sigma_t = \frac{P_6 \cdot r_6^2}{r_n^2 - r_6^2} \cdot \left(1 - \frac{r_n^2}{r^2}\right) = \sigma_2; \quad (11)$$

Тогда согласно энергетической теории прочности получим (при $\sigma_3 = 0$):

$$\sigma_{экв} = \sqrt{\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3) + (\sigma_2 - \sigma_3)} = \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2) + \sigma_1 \cdot \sigma_1}; \quad (12)$$

после подстановки и с учетом $r = r_n$ получим:

$$\sigma_{экв} = \frac{2 \cdot P_6 \cdot r_6^2}{r_n^2 - r_6^2} \quad (13)$$

где P_6 - давление продуктов детонации, Мпа;

r_6 - радиус заряда, м;

r_n - радиус взрывной воронки, м.

Ранее было установлено, что радиус взрывной воронки необходимо рассчитывать по предельному напряжению на срез. Однако разрушение массива внутри воронки может происходить за счет возникающих напряжений на разрыв.

С учетом размеров образующейся зоны смятия (за которой происходит дробление) получим:

$$\sigma_{\text{экв}} = \frac{2 \cdot P_2 \cdot r_{\text{см}}^2}{R^2 - r_{\text{см}}^2} \quad (14)$$

$$\text{где } r_{\text{см}} = d_{\text{в}} \cdot \sqrt{\frac{P_{\text{в}}}{\sigma_{\text{сж}}}} \quad (15)$$

P_2 - давление на контакте зона смятия - массив, МПа: $P_2 = \frac{P_{\text{в}} \cdot r_{\text{в}}}{r_{\text{см}}}$

$$P_2 = \frac{P_{\text{в}} \cdot r_{\text{в}} \cdot \sqrt{\sigma_{\text{сж}}}}{d_{\text{в}} \cdot \sqrt{P_{\text{в}}}} = 0,5 \cdot \sqrt{P_{\text{в}} \cdot \sigma_{\text{сж}}}$$

Согласно данным Г.И. Покровского [5] в массиве возникает такое число трещин, которое равно отношению максимального радиального напряжения к временному сопротивлению породы на разрыв.

Тогда, исходя из вышеизложенного, с учетом влияния зоны смятия и закономерностью 14 получим:

$$\sigma_{\text{экв}} = \frac{\sqrt{P_{\text{в}} \cdot \sigma_{\text{сж}} \cdot r_{\text{см}}^2}}{R^2 - r_{\text{см}}^2}; \quad (16)$$

а количество трещин:

$$N = \frac{\sigma_{\text{экв}}}{\sigma_{\text{р}}} = \frac{\sqrt{P_{\text{в}} \cdot \sigma_{\text{сж}} \cdot r_{\text{см}}^2}}{(R^2 - r_{\text{см}}^2) \cdot \sigma_{\text{р}}} \quad (17)$$

Учитывая, что для большинства пород $\sigma_{\text{р}} = 0,1 \cdot \sigma_{\text{сж}}$ окончательно получим (на контакте зона смятия – массив:

$$N = \frac{\sqrt{P_{\text{в}} \cdot \sigma_{\text{сж}} \cdot r_{\text{см}}^2}}{(R^2 - r_{\text{см}}^2) \cdot 0,1 \cdot \sigma_{\text{сж}}} = 10 \cdot \frac{r_{\text{см}}^2}{(R^2 - r_{\text{см}}^2)} \cdot \sqrt{\frac{P_{\text{в}}}{\sigma_{\text{сж}}}} \quad (18)$$

Дальнейшие изменения количества трещин в массиве можно определить из выражения 19:

$$R_i = \sqrt{\frac{10 \cdot r_{\text{см}}^2 \cdot \sqrt{\frac{P_{\text{в}}}{\sigma_{\text{сж}}}}}{N - n}} + r_{\text{см}}^2 \quad (19)$$

где n изменяется от 1 до (N-1);

R_i - расстояние, на котором идет изменение количества трещин в глубине массива, расположенного поперек заряда, м;

Таким образом, предполагаются модели по прогнозированию дробления массива при взрывном его нагружении цилиндрическим зарядом для различных горно-геологических и горнотехнических условий производства взрывных работ.

Список литературы

1. Андриевский А.П. «Новые теория и технологии взрывных работ на горнорудных

предприятиях» LAP LAMBERT Academic Publishing is a trademark of: AV Akademikerverlag GmbH & Co. KG, Germany, ISBN: 978-3-659-36033-6, 2013 – 270 с.

2. Миндели Э.О. «Разрушение горных пород». – М.: «Недра» 1974. – 600 с.
3. Мосинец В.Н. Абрамов А.В. Разрушение трещиноватых и нарушенных горных пород. – М., Недра, 1982. – 248 с.
4. Мосинец В.Н., Пашков А.Д. Разрушение горных пород. – М.: Недра 1975. – 216 с.
5. Покровский Г.И. Взрыв. – М. Недра, 1980. – 190 с.

Рецензенты:

Косолапов А.И., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой ОГР, Сибирский Федеральный Университет Институт горного дела, геологии и геотехнологий, г. Красноярск;

Анушенков А.Н., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой ПРМ, Сибирский Федеральный Университет Институт горного дела, геологии и геотехнологий, г. Красноярск.