

М.Г.МЕНЖУЛИН, Д.В.МОЛДОВАН, Ю.Н.БОРИСЕНКО
Санкт-Петербургский государственный горный институт
(технический университет)

О.Е.ЛЕГКОВА
Департамент природных ресурсов Ленинградской области

МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ ТРЕЩИНОВАТОСТИ И БЛОЧНОСТИ НА ВЗРЫВНОЕ РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД

Рассматривается влияние естественных трещин и блоков различных категорий и порядков на параметры взрывного разрушения горных пород. Приведены результаты подсчетов размеров зон трещинообразования при взрыве в монолитных и трещиноватых горных породах, а также влияния естественной трещиноватости и толщи откольных слоев на гранулометрический состав в откольной зоне.

Influence of natural cracks and blocks of various categories and orders on parameters of explosive destruction of breeds is considered. Results of calculations of the sizes of zones of cracks at explosion in monolithic and cracks rocks, and as influences natural cracks and thicknesses slabbing layers on grain-size classification structure in slabbing to a zone.

Естественные трещиноватость и блочность оказывают существенное влияние на характеристики взрывного разрушения горных пород и выбор параметров буровзрывных работ (БВР), носят либо частный экспериментальный, либо оценочный, либо полуэмпирический характеры [4]. В настоящей работе предлагается модель разрушения трещиноватых блочных горных пород, основанная на рассмотрении особенностей влияния трещин и блоков различных размеров в отдельных зонах взрывного разрушения.

В естественном состоянии в горных породах имеются трещины, находящиеся в диапазоне от 10^{-9} м до километров. Для оценки разрушения горных пород взрывом из множества классификаций достаточно рассмотреть две:

- классификация Межведомственной комиссии (МВК) по взрывному делу, дополненная ИФЗ им. О.Ю.Шмидта акусти-

ческим показателем трещиноватости $A_c = C_p^2 / C_{po}^2$, где C_p , C_{po} – скорости распространения продольных упругих волн в трещиноватой и монолитной породах, соответственно (табл.1);

- классификация, предложенная В.В.Ржевским и О.П.Якобашвили [4] (табл.2).

Приведенные в табл.1 и 2 размеры трещин и их распределение оказывают различное влияние в различных зонах взрывного разрушения.

Разрушенную взрывом горную массу на различных расстояниях от заряда можно разделить на несколько зон: переизмельчения R_p , дробления R_d , трещинообразования $R_{тр}$, откольная зона $l_{отк}$.

Протяженность каждой из зон составляет:

$$R_p \approx (1 \div 2)R_{03}; \quad R_d \approx (6 \div 12)R_{03};$$

$$R_{тр} \approx (12 \div 25)R_{03}; \quad l_{отк} \approx (10 \div 15)R_{03}.$$

Таблица 1

Трещиноватость и содержание крупных отдельностей и акустический показатель трещиноватости

Категория трещиноватости	Степень трещиноватости (блочности) массива	Среднее расстояние между трещинами всех систем, м	Акустический показатель трещиноватости A_c
I	Чрезвычайно трещиноватые (мелкоблочные)	До 0,1	0,1
II	Сильнотрещиноватые (среднеблочные)	0,1-0,5	0,1-0,25
III	Среднетрещиноватые (крупноблочные)	0,5-1,0	0,25-0,4
IV	Мелкотрещиноватые (весьма крупноблочные)	1,0-1,5	0,4-0,6
V	Практически монолитные (исключительно крупноблочные)	Свыше 1,5	0,6-1,0

Таблица 2

Параметры трещиноватости массивов горных пород

Порядок трещиноватости	Характер и генезис трещины	Протяженность, м	Раскрытие, м	Расстояние между трещинами, м
1	Внутрикристаллические	10^{-9} - 10^{-2}	10^{-9} - 10^{-3}	10^{-8} - 10^{-3}
2	Межкристаллические	10^{-4} - 10^{-2}	10^{-6} - 10^{-3}	10^{-5} - 10^{-2}
	Эндогенные (разрыв) трещины остывания и усыхания	10^{-1} - 10^0	10^{-5} - 10^{-3}	10^{-1} - 10^0
3	Экзогенные (сдвиг и разрыв)	10^0 - 10^5	10^{-6} - 10^{-0}	10^{-1} - 10^1
	Тектонические, выветривания	10^{-1} - 10^2	10^{-5} - 10^{-1}	10^{-1} - 10^0
	Отжима	10^0 - 10^2	10^{-3} - 10^{-1}	10^{-1} - 10^0

В любом концентрическом слое вокруг оси заряда существует свое распределение и значение среднего куска, изменяющиеся с расстоянием. Границы зон определяются равенством соответствующих максимальных параметров в волне напряжения, динамическим пределом прочности:

$$\sigma_{\max}(\bar{R}_p) = \sigma_{\text{сж}}^{* \text{дн}}; \quad \tau_{\max}(\bar{R}_d) = \sigma_{\text{сдв}}^{* \text{дн}};$$

$$\sigma_{\text{ф max}}(\bar{R}_{\text{тр}}) = \sigma_{\text{отр}}^{* \text{дн}}; \quad \bar{R} = \frac{R}{R_{03}}.$$

Зона откола состоит из нескольких откольных слоев, толщина которых определяется условием

$$\sigma_{\Sigma_i} = \sigma_{\text{рвн}}(t_i, R_{\text{откл}}) + \sigma_{\text{разр}}(t_i, R_{\text{откл}}) = \sigma_{\text{отр}}^{* \text{дн}},$$

где первое слагаемое представляет собой хвостовую часть волны напряжений, второе – напряжение в волне разряжения, об-

разующееся при падении на откос уступа (или на любую другую свободную поверхность) волны напряжений. Параметры волн напряжения и разряжения, а также прочностные параметры среды зависят от естественной трещиноватости. Количество и размеры трещин 1-го и 2-го порядков трещиноватости влияют на параметры ударной волны в горной породе. Эти влияния можно оценить с помощью коэффициента ослабления:

$$\sigma_{r \text{ max}}^{\text{тр}} = K_{\text{осл}} \sigma_{r \text{ max}}^{\text{мн}};$$

$$\sigma_{\text{ф max}}^{\text{тр}} = K_{\text{осл}} \sigma_{\text{ф max}}^{\text{тр}} = K_{\text{осл}} \sigma_{\text{ф max}}^{\text{мн}}.$$

Величина $K_{\text{осл}}$ оценивается на основании данных об ударных адиабатах монолитных и трещиноватых пород и условиях преломления детонационной волны в окружающую среду.

Преломление детонационной волны в окружающую среду определяется равенством давлений и массовых скоростей по обе стороны границы раздела взрывчатое вещество – порода (рис.1). Состояние в детонационной волне на рис.1 обозначено точкой $A(P_d, U_d)$. После взаимодействия с границей раздела по продуктам детонации распространяется ударная волна повторного сжатия. Состояние на фронте преломленной в горную породу ударной волны для монолитной породы $P_{фмн}$ и трещиноватой $P_{фтр}$. Тогда $K_{осл} = P_{фтр} / P_{фмн}$ – коэффициент ослабления. Ударные адиабаты монолитной и трещиноватой пород имеют вид:

$$P_{\phi} = \rho_0 C_v U_{\phi}, \quad (1)$$

где

$$C_v = \sqrt{\frac{1-\nu}{3(1+\nu)}} C_p,$$

C_v , C_p – скорости объемной и продольной упругих волн, соответственно; ν – коэффициент Пуассона.

Величины C_p и ν легко определяются экспериментально для монолитных и трещиноватых пород.

Для оценки $C_{птр}$ в трещиноватых породах может быть использовано соотношение [5]:

$$C_{птр} = C_{пмн} \left(1 + \frac{\Pi}{m} \right)^{-1/2}, \quad (2)$$

где Π – трещинная кусковатость массива; m – отношение упругости заполнителя трещин к упругости породы.

Прочность породы при наличии трещин можно оценить с помощью соотношения:

$$\sigma_{тр} = k_1 k_2 \sigma_{мн}, \quad (3)$$

где k_1 , k_2 – коэффициенты, учитывающие размеры трещин и их количество, соответственно. Коэффициент k_1 может быть опре-

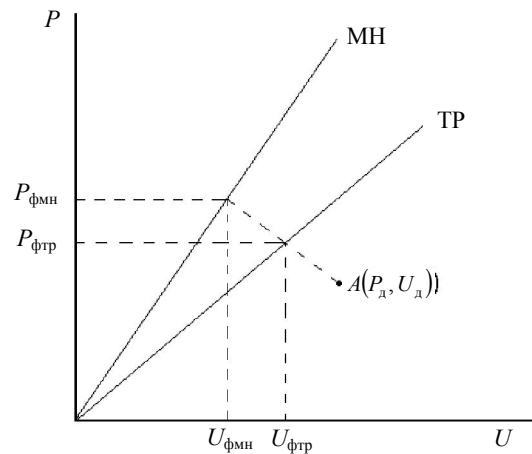


Рис.1. Формирование давления на стенки взрывной камеры при преломлении детонационной волны в монолитную МН и трещиноватую ТР горные породы

делен на основании модификации критерия Гриффитса [1]:

$$\sigma_{тр}^* = \sigma_{мн}^* \sqrt{\frac{l_{тр}}{l_{мн}}}, \quad (4)$$

где $l_{тр}$, $l_{мн}$ – длина трещины, определяющая прочность среды в монолитной и трещиноватой породах, соответственно, эти значения находятся на основаниях изменений распределения трещин по размерам в образцах пород.

Коэффициент k_2 может быть оценен с помощью кинетической теории прочности [2, 3] и ее развития на основе рассмотрения фазовых переходов на поверхности трещин.

С использованием приведенных данных были рассчитаны параметры волн напряжения и размеры зон разрушения в монолитном и трещиноватом массиве в граните месторождения Каменногорского карьероуправления. Рассматривался взрыв удлиненного заряда граммонита 79/21 в скважинах диаметром 250 мм.

На рис.2, 3 представлены рассчитанные зависимости максимальных касательных напряжений от расстояния и радиусы зон трещинообразования в монолитных и трещиноватых породах.

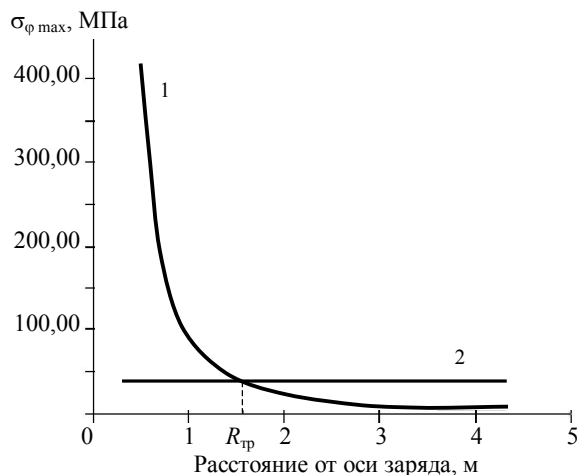


Рис.2. Зависимость максимальных касательных напряжений от расстояния в монолитной породе (1) и предел динамической прочности на отрыв (2)

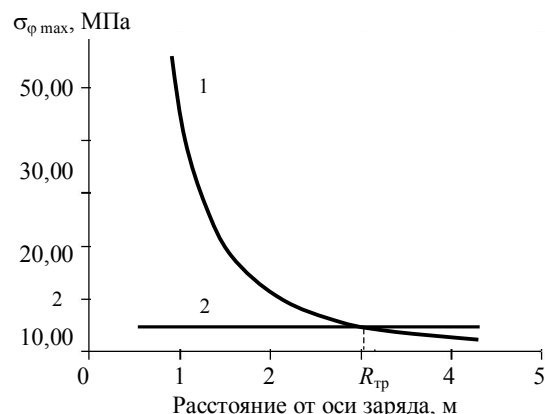


Рис.3. Зависимость максимальных касательных напряжений от расстояния в трещиноватой породе (1) и предел динамической прочности на отрыв (2)

Кроме того, было рассчитано распределение кусков по размерам в различных зонах разрушения. В зоне дробления размеры кусков не превышают нескольких сантиметров, поэтому для этой зоны существенное значение имеют трещины 1-го и 2-го порядков. Размер среднего куса в зоне трещинообразования составляет около 20 см, имеется определенное количество кусков размерами более 1 м.

В откольной зоне основной причиной разрушения среды является образо-

вание откольных слоев. Поэтому для зон трещинообразования и откольной зоны существенное значение имеют трещины 3-го порядка. Величина трещиноватости и акустический показатель трещиноватости легко определяются на основании данных геологической подготовки месторождения.

Размеры зон трещинообразования при взрывах ВВ в монолитной и трещиноватой горных породах приведены ниже:

	Монолитные породы	Трещиноватые породы	$R_{тр}^{мон}$, м	$R_{тр}^{тр}$, м
Сжатие, переизмельчение	$\sigma_{*сж}^{дин} = 205,2$ МПа	$\sigma_{*сж}^{дин} = 115,8$ МПа	0,3	0,5
Сдвиг, дробление	$\sigma_{*сдв}^{дин} = 67,3$ МПа	$\sigma_{*сдв}^{дин} = 46,7$ МПа	0,6	0,8
Отрыв, трещинообразование	$\sigma_*^{дин} = 36,65$ МПа	$\sigma_*^{дин} = 4,56$ МПа	1,5	3,1

Модель естественной блочности для трещиноватых пород 3-й группы может быть построена на основании модели распределения трещин Розина – Рамллера, после некоторых преобразований можно получить соотношение

$$\omega(x) = \ln(K+1)(\lambda x)^4 e^{-\lambda x}, \quad (5)$$

где K – концентрационный параметр слияния микротрещин, $K = 3-5$; λ – количество трещин на определенном отрезке расстояния.

На **рис.4** представлено распределение кусков горной массы по размерам в естественном состоянии для $\lambda = 0,67 \text{ м}^{-1}$. В откольной зоне вся кривая ограничивается размером самого крупного куска.

Таким образом, трещины 1-й и 2-й категории необходимо учитывать при оценки параметров взрывного разрушения в зонах переизмельчения и дробления. Трещины 3-й категории существенны для зон трещинообразования и откольной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Менжулин М.Г. Метод расчета дополнительного разрушения горных пород на квазистатической стадии действия взрыва / М.Г.Менжулин, Г.П.Парамонов, Ю.А.Миронов, А.В.Юровских // Записки Горного института. 2001. Т.148 (1).
2. Менжулин М.Г. Способ определения разупрочнения нагруженных горных пород / М.Г.Менжулин,

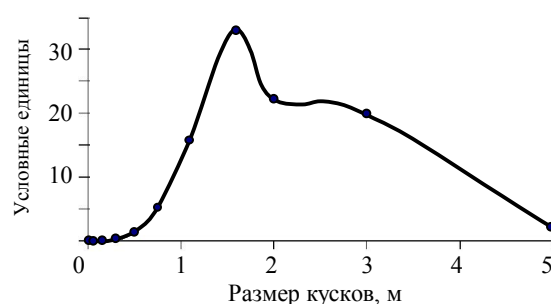


Рис.4. Приведенная к нормальному виду дифференциальная функция распределения естественной блочности

И.В.Соколова. Патент на изобретение № 2261327. 2005. Бюллетень № 27.

3. Петров В.А. Физические основы прогнозирования долговечности конструкционных материалов / В.А.Петров, А.Я.Башкарев. СПб: Политехника, 1993.

4. Поплавский В.А. Дробление блочной среды при грунтовом взрыве // ФТПРИ. 1999. № 4.

5. Якобашвили О.П. Сейсмические методы оценки состояния массива горных пород на карьерах / ИПКОН РАКМ. М., 1992.