УДК 622.235.53

М.Г.МЕНЖУЛИН, *д-р техн. наук, профессор, тел. 8-981-743-15-01*
А.В.ФЕДОСЕЕВ, *магистрант, fedos8787@mail.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный университет

M.G.MENZHYLIN, *Dr. in eng. sc., professor, phone 8-981-743-15-01*
A.V.FEDOSEEV, *undergraduate student, fedos8787@mail.ru*
Saint Petersburg State Mining University

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ЗОН ВЗРЫВНОГО РАЗРУШЕНИЯ ДЛЯ ТРЕЩИНОВАТЫХ ГОРНЫХ ПОРОД С РАЗЛИЧНЫМИ ЗАПОЛНИТЕЛЯМИ ТРЕЩИН НА ПРИМЕРЕ МИХАЙЛОВСКОГО ГОКА

Существующая на Михайловском ГОКе, как и на большинстве таких предприятий, проблема выхода негабарита влечет за собой дополнительные временные и материальные расходы на подготовку горной массы к переработке. Расчет размеров зон разрушения для достижения их контакта даст возможность повысить эффективность взрывных работ. Рассмотрена зависимость размеров зон разрушения трещиноватых горных пород от характеристик волн напряжения. Изменение характеристик, в свою очередь, обусловлено величиной раскрытия трещин и характеристиками вещества, их заполняющего. Проведен расчет зон разрушения для железистых кварцитов, рекомендованы размеры сетки скважин в зависимости от вида заполнителя трещин.

Ключевые слова: зона разрушения, трещиноватость, скорость продольной волны, заполнитель трещин.

AMOUNT OF EXPLOSIVE DESTRUCTION ZONES FOR CRACKED ROCKS WITH DIFFERENT CRACK FILLER FOR EXAMPLE MIKHAILOVSKY GOK

Present at the Mikhailovsky GOK, as in most such enterprises, the problem of oversize output entails additional time and material costs of preparing the rock for processing. Calculation of fracture zones to reach their contacts will give an opportunity to improve the efficiency of blasting. In this paper we consider the size dependence of fracture zones of fractured rocks from the characteristics of stress waves. Changing characteristics, in turn, caused the value of the crack opening and characteristics of matter, they are filled. The calculation of fracture zones for ferruginous quartzite. Received the recommended dimensions of the grid of wells, depending on the type of crack filler.

Key words: zone of destruction, jointing, compressional speed, crack filler.

Горные породы на большинстве разрабатываемых и разведанных месторождениях полезных ископаемых имеют определенную степень трещиноватости, которая вместе с другими тектоническими нарушениями характеризует структуру массива пород, ее пространственную неоднородность и анизотропность свойств, влияет на прочность и устойчивость пород, а также на параметры взрывного разрушения.

При массовых взрывах на карьерах гранулометрический состав породы определяется совокупностью зон разрушения отдельных скважинных зарядов ВВ, их пространственно-временным взаимодействием, прочностными и структурными свойствами горного массива.

Предлагается определять размеры зон разрушения в трещиноватых горных породах на основе расчета статических и ударных

адиабат с учетом изменения скорости распространения продольной волны и в зависимости от заполнителя трещин.

Михайловское месторождение представлено как богатыми рудами и окисленными железистыми кварцитами, так и бедными рудами (неокисленными железистыми кварцитами). Богатые руды не требуют обогащения и сразу отправляются на дробильно-сортировочную фабрику. Неокисленные железистые кварциты присутствуют в бóльшем количестве, но при существующей технологии обогащены быть не могут и потому складируются. Однако именно они на данном этапе работы предприятия представляют наибольший интерес. Неокисленные кварциты представлены следующими типами: магнетитовые, магнетит-гематитовые и гематит-магнетитовые (табл.1). Основными составляющими неокисленных железистых кварцитов являются окислы железа и кремния.

В массиве железистых кварцитов Михайловского месторождения развиты три основные системы трещин: M – по простиранию напластования (полосчатости) кварцитов, N – вкрест простирания полосчатости, K – перпендикулярно направлению падения полосчатости (рис.1). Заполнители трещин разнообразны: гидроксиды, вода, воздух, нерудные карбонатные пленки, нерудные бурые гидроксиды.

Существующая методика определения параметров буровзрывных работ (БВР) основана на эмпирических зависимостях. Так, линия наименьшего сопротивления W для эмульсионных ВВ определяется по формуле Демидюка [3]:

$$W = 28 d_з \sqrt{k_{ВВ} \rho_{ВВ} / q}\,, \qquad (1)$$

где $d_з$ – диаметр заряда; $k_{ВВ}$ – коэффициент относительной работоспособности ВВ; $\rho_{ВВ}$ – плотность заряда; q – удельный расход ВВ.

Сетка скважин [2]

$$a = b = mW, \qquad (2)$$

где m – коэффициент сближения скважин.

Таблица 1

Физико-механические свойства железистых кварцитов

Кварциты	Плотность, г/см^3	Предел прочности, МПа		Коэффициент хрупкости	Коэффициент крепости, определенный толчением	Абразивность	Скорость продольных волн, м/с
		при сжатии	при растяжении				
Магнетитовый	3,74	129-292	15-34	7,9	10,3	3,19	5,17
Магнетит-гематитовый	3,54	153-173	9-28	6,95	13,0	3,06	5,57
Гематит-магнетитовый	3,73	135-231	18-36	6,7	12.7	3,20	5,25

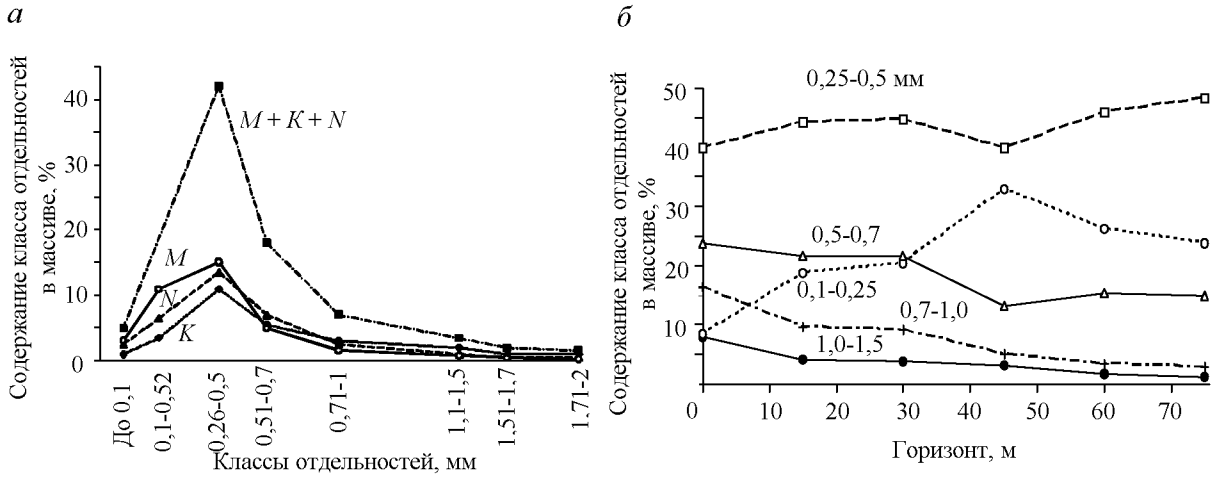


Рис.1. Распределение классов отдельностей в массиве по основным системам трещин (*а*) и по горизонтам горных работ (*б*)

Применяемая методика не учитывает некоторых важных характеристик и принимает за исходные следующие параметры: плотность заряда, теплота взрыва, диаметр заряда, плотность породы, коэффициент крепости породы, коэффициент сближения скважин, коэффициент трещиноватости. Последние два параметра выбираются в зависимости от категории трещиноватости породы по шкале Межведомственной комиссии взрывного дела (МКВД).

Предлагаемая методика основана на определении параметров волн напряжения и, кроме указанных характеристик, учитывает также скорость детонации, скорость распространения продольной волны, коэффициент Пуассона породы, динамический предел прочности породы на отрыв, модуль упругости породы, модуль упругости заполнителя трещин, среднее расстояние между трещинами, величину раскрытия трещин.

Линия наименьшего сопротивления W и расстояние между рядами скважин b определяется по зависимости, предложенной в работе, [1]:

$$W = b = R_{\text{тр}} + b_{\text{отк}}, \qquad (3)$$

где $R_{\text{тр}}$ – радиус зоны трещинообразования; $b_{\text{отк}}$ – размер зоны откола.

Расстояние между скважинами в ряду

$$a = 2R_{\text{тр}}. \qquad (4)$$

Скорость распространения продольной волны в трещиноватой среде [4]

$$C_{\text{р}} = C_{\text{р}_0}\left(\frac{l_2 E_1}{l_1 E_2} + 1\right)^{-\frac{1}{2}}, \qquad (5)$$

где $C_{\text{р}_0}$ – скорость распространения продольной волны в монолитной среде; l_1 – среднее расстояние между трещинами; l_2 – величина раскрытия трещин; E_1 и E_2– модули упругости породы и заполнителя трещин соответственно.

В результате изменения скорости распространения продольной волны изменятся адиабаты нагрузки и разгрузки, следовательно, изменятся размеры зон разрушения. Размеры зоны трещинообразования $\overline{R}_{\text{тр}}$ определяются из условия совпадения максимальной амплитуды тангенциальной составляющей волны напряжения динамическому пределу прочности породы на отрыв [1]:

$$\sigma_{\varphi_{\max}}(\overline{R}_{\text{тр}}) \geq [\sigma_{\text{отр}}^{\text{дн}}], \qquad (6)$$

где $\sigma_{\varphi\max}$ – максимальная амплитуда тангенциальной составляющей волны напряжения, $[\sigma_{\text{отр}}^{\text{дн}}]$ – динамический предел прочности породы на отрыв.

Размеры зоны откола h_1 вычисляются из условия совпадения суммарного напряжения в прямой и отраженной от поверхности уступа волне динамическому пределу прочности породы на отрыв [1]:

$$[\sigma_{\text{отр}}^{\text{дин}}] = -\sigma_{r_{\max}}(W + h_1) + \\ + \sigma_{r_{\max}}(W - h_1)F(r, t_1), \qquad (7)$$

где $-\sigma_{r_{\max}}(W + h_1)$ – максимальное напряжение в отраженной волне; $\sigma_{r_{\max}}(W - h_1)$ – максимальное напряжение в прямой волне; $F(r, t_1)$ – функция, описывающая форму волны напряжения.

Расчет был произведен для блока № 127к (горизонт 60/45) северо-западной части южного карьера. Порода – магнетитовый кварцит. Среднее расстояние между трещинами $l_1 = 0{,}6$ м; величина раскрытия трещин $l_2 = 0{,}003$ м; диаметр скважин $d_{\text{скв}} = 0{,}25$ м. Заполнитель трещин – вода и воздух. Для применяемых на предприятии ВВ получены следующие результаты (табл.2).

Таблица 2

Расчетные параметры БВР по предлагаемой методике

Параметр	Заполнитель трещин		
	Воздух	Вода	Гидроксиды
Размеры зоны трещинообразования, м	2,95 3,12	3,48 3,76	4,78 5,4
Размеры зоны откола, м	0,65 0,69	0,87 0,91	1,8 1,9
Энергия диссипации, % от общей энергии взрыва	40 45	30 35	11 13
Сетка скважин $a \times b$, м	5,9×3,6 6,2×3,8	6,9×4,35 7,5×4,67	9,5×6,58 10,8×7,3

Примечание. В числителе – для гранэмита И-30; в знаменателе – для гранэмита И-50.

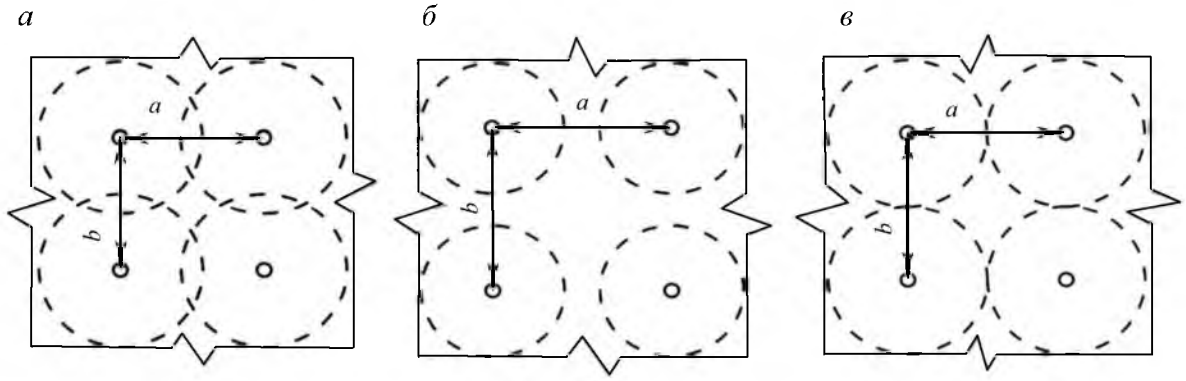


Рис.2. Сетка скважин, сформированная по существующей (*а* и *б*) и предлагаемой (*в*) методикам

При определении параметров волн напряжения учитывалась энергия диссипации, которая также влияет на размеры зон разрушения.

На основе полученных результатов сформирована рекомендуемая сетка скважин для применяемых на предприятии ВВ.

Существующая методика рекомендует одну и ту же сетку вне зависимости от величины раскрытия трещин и вещества, заполняющего их: 7×7 м для гранэмита И-30 и 7,5×7,5 м для гранэмита И-50. В результате образуется наложение зон разрушения и перерасход ВВ (рис.2, *а*), либо зоны разрушения не имеют контакта и возможен выход негабарита (рис.2, *б*). Предлагаемая методика исключает эти негативные явления.

Таким образом, при определении параметров БВР необходимо учитывать величину раскрытия трещин и модуль упругости вещества, заполняющего их. Это позволит уменьшить выход негабарита или снизить удельный расход ВВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волны напряжений в обводненном трещиноватом массиве / В.А.Боровиков, И.Ф.Ванягин, М.Г.Менжулин, С.В.Цирель. Л., 1989.

2. *Кутузов Б.Н.* Методы ведения взрывных работ. Ч.2. Взрывные работы в горном деле и промышленности: Учебник для вузов. М., 2008.

3. *Ханукаев А.Н.* Физические процессы при отбойке пород взрывом. М., 1974.

4. *Якобашвили О.П.* Сейсмические методы оценки состояния массива горных пород на карьерах. М., 1992.

REFERENCES

1. *Borovikov V.A., Vanyagin I.F., Menzhulin M.G., Tsirel C.B.* Stress Waves in a fracturedaquifer array. Leningrad, 1989.

2. *Kutuzov B.N.* Methods of blasting. Part 2. Blasting operations in mining and industry: Textbook for high schools. Moscow, 2008.

3. *Hanukaev A.N.* Physical Processes in the breaking of rocks by explosion. Moscow, 1974.

4. *Yakobashvili O.P.* Seismic methods for assessing the state of rock in quarries. Moscow, 1992.