

В.Н. Тюпин, М.В. Лизункин, В.М. Лизункин

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРА ЗОНЫ РАЗРУШЕНИЯ НАПРЯЖЕННОГО ТРЕЩИНОВАТОГО ГОРНОГО МАССИВА ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ ВЗРЫВАНИИ НЕСКОЛЬКИХ ПАРАЛЛЕЛЬНО СБЛИЖЕННЫХ ЗАРЯДОВ ВВ*

При отработке маломощных рудных тел (мощность до 3,0 м) камерными вариантами систем разработки, селективной взрывной отбойке пологих залежей, а также подготовке руды к подземному выщелачиванию все чаще используется способ отбойки с применением параллельно сближенных зарядов ВВ. Наиболее важным параметром при взрыве нескольких сближенных скважин является радиус зоны регулируемого дробления трещиноватого массива, перпендикулярно линии, соединяющей заряды ВВ. Рассмотрено действие трех и более параллельно сближенных зарядов ВВ на основе энергетической теории действия взрыва на напряженный трещиноватый массив горных пород. Получена теоретическая формула расчета радиуса зоны регулируемого дробления при одновременном взрыве серии зарядов перпендикулярно их плоскости и определена величина ЛНС.

В условиях подземного уранового рудника № 1 ПАО «ГПГХО» проведена серия промышленных экспериментальных взрывов при подэтажной отбойке маломощных рудных тел с оценкой гранулометрического состава фотопланиметрическим методом. Сравнение результатов экспериментальных исследований и теоретических расчетов (по параметрам БВР и среднему размеру куска) указывают на удовлетворительную их сходимости.

Ключевые слова: маломощные рудные тела, параллельно сближенные заряды ВВ, радиус зоны регулируемого дробления, теоретические формулы, гранулометрический состав, достоверность формул.

Введение

При буровзрывной отбойке руды параллельно сближенными зарядами существуют такие горно-геологические и горнотехнические условия, когда применяют несколько (3 и более) параллельно сближенных зарядов.

Наиболее важным параметром при взрыве нескольких сближенных зарядов является радиус зоны регулируемого дробления трещиноватого массива [1] перпендикулярно линии, соединяющей заряды ВВ.

Общие положения

Рассмотрим действие одновременно взрывающейся группы зарядов перпендикулярно их линии расположения (рис. 1). Общая схема разрушения трещиноватого массива в зоне взаимодействия представляется на основе энергетической

* Работа выполнена в ходе реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства «Создание комплексной технологии отработки беднобалансовых урановых руд геотехнологическими методами» при финансовой поддержке Правительства РФ (Минобрнауки России).

теории деформирования и разрушения напряженного трещиноватого горного массива [1, 2]. Согласно этой теории разрушающие волны напряжения теряют основную часть энергии на ближайших к зарядам естественных трещинах и разрушение удаленных отдельных происходит в результате их соударения под действием продуктов детонации (ПД). Иными словами, в массиве распространяется волна деформаций от заряда, которая представляет собой последовательное смещение отдельных, сопровождающееся неупругим деформированием массива на берегах естественных трещин и упругими деформациями и разрушением отдельных [2].

Выделим на некотором расстоянии от зарядов точку А, которую будем считать границей зоны разрушения отдельных. При взрыве, точка А вначале достигнет прямая волна деформаций от заряда 2. Волны деформаций, распространяющиеся от зарядов 1, 3, под углом к линии зарядов будут встречаться с волной от заряда 2 на линиях OO , $O'O'$. Преломляясь на линиях OO , $O'O'$ волны от зарядов 1 и 3 будут встречаться в точке А. Определим суммарное напряжение в точке А при взрывании зарядов ВВ, зная, что при взрыве двух зарядов суммарное напряжение согласно ранее проведенным исследованиям

$$\sigma_2 = 2\sigma_1 \cos \alpha = 2\sigma_1 \sin \gamma, \quad (1)$$

где σ_1 – напряжение в данной точке при взрыве одного заряда ВВ.

При взрыве n зарядов выражение для определения суммарного напряжения в любой точке по линии взаимодействия зарядов имеет вид

$$\sigma_n = 2\sigma_1 (\sin \gamma + \sin \gamma_1 + \dots + \sin \gamma_n), \quad (2)$$

где $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$ – углы между линией, соединяющей очередной заряд с точкой А и линией зарядов ВВ (рис. 1).

При встрече волн деформаций на линиях OO , $O'O'$ происходит снижение напряжения на величину, равную величине бокового распора горной породы, то есть

$$\sigma_n = 2\sigma_1 \left[1 + \sin \gamma + \sin \gamma_1 \left(\frac{1-2\nu}{1-\nu} \right) + \sin \gamma_2 \left(\frac{1-3\nu}{1-\nu} \right) + \dots \right] = 2\sigma_1 \sum_{i=1}^n \sin \gamma_i \left[\frac{1-n\nu}{1-\nu} \right]. \quad (3)$$

Величину $\sin \gamma$, $\sin \gamma_1$, ... и так далее выразим через радиус зоны разрушения $R_{\alpha 1}$ и расстояние между зарядами a , и подставим в (3)

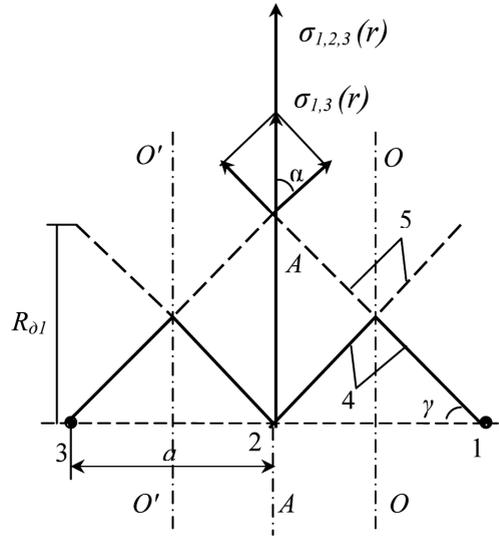


Рис. 1. Схема распределения напряжений перпендикулярно линии, соединяющей три заряда ВВ для определения радиуса зоны дробления $R_{\alpha 1}$: $\sigma_{1,3}(r)$, $\sigma_{1,2,3}(r)$ – напряжения в точке А от взрыва зарядов 1, 3 и 1, 2, 3 соответственно. 1, 2, 3 – заряды ВВ. Направление фронта прямых – 4 и отраженных – 5 волн деформаций

Тогда

$$\sigma_n = 2\sigma_1 \sum_{i=1}^n \frac{R_{a1}}{2 \left[R_{a1}^2 + \left(\frac{n-1}{2} \right)^2 a^2 \right]^{0.5}} \left(\frac{1-nv}{1-v} \right)_i \quad (4)$$

Применение формулы в таком виде вызывает трудности в получении конечных зависимостей, поэтому имеет смысл вычислить (4) интегрально, предварительно упростив выражение под суммой.

В результате решения данной математической задачи получено значение радиуса зоны дробления массива R_{a1} перпендикулярно плоскости одновременно взрывааемых зарядов ВВ в виде

$$R_{a1} = R_1 + \frac{a(n-1)}{2 \left(\exp \left[\frac{a(1-v)}{2R_1(1-2v)} \right] - 1 \right)} \quad (5)$$

Проверим достоверность полученной формулы при $v = 0,3$ и количестве скважин, участвующих в приращении размера разрушения $n = 3$. При $a = 0,1R_1$, $R_{a1} \approx 2R_1$ при $a = 2R_1$, $R_{a1} = 1,42R_1$. То есть при близком расположении скважин разрушение перпендикулярно линии зарядов будет больше, чем при расстоянии между скважинами $a \sim (1 \div 2)R_1$.

Изобразим разрушенную зону при взрывании, например, одного и четырех зарядов ВВ в трещиноватом массиве трахидацитов с параметрами трещиноватости, физическими свойствами отдельностей и параметрами зарядов, приведенными ниже. Радиус зоны дробления одиночного заряда определяется по формуле (6) и равен согласно расчетам 0,6 м.

Расстояние между четырьмя скважинами примем равным $a = 0,1$ м, 0,6 м, 1,2 м. Число скважин, участвующих в приращении размера зоны разрушения равно $n = 3$. Результаты расчетов по формуле (5) отражены на рис. 2.

При этом ранними расчетами [2] учитывалось, что радиус зоны дробления по линии зарядов менее радиуса зоны дробления по ЛНС в среднем на 20%.

Анализ рис. 2, построенного в масштабе, показывает, что при параллельно сближенном расположении скважин ($a = 0,1$ м) форма зоны разрушения имеет вид окружности. При удалении зарядов друг от друга зона дробления принимает эллиптическую форму.

Для доказательства достоверности полученной формулы на подземном урановом руднике № 1 ПАО «Приаргунское производственное горно-хими-

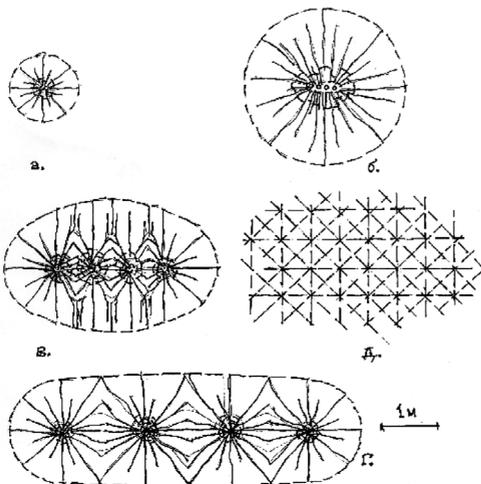


Рис. 2. Характер зоны дробления квазиизотропного трещиноватого массива при взрыве: а) одиночного заряда; б), в), г) сближенных зарядов на расстоянии 0,1; 0,6; 1,2 м соответственно; д) схема трещиноватости массива (средний размер отдельности – 0,2 м; количество систем трещин – 4)

ческое объединение» в блоке 4Д-809 проводились промышленные экспериментальные исследования.

Радиус зоны регулируемого дробления $R_{д1}$ при взрыве группы зарядов определяли по формуле (5). R_1 в (5) – радиус зоны регулируемого дробления при взрывании одного заряда равен [2]

$$R_1 = \frac{\sqrt{\pi} D \rho_b d_3 c v \left(1 - \frac{\mu v}{1 - v}\right)}{8 (\sigma_p + \mu P) \Phi (1 - v)} \sqrt{2 d_c} \quad (6)$$

где D , ρ_b , d_3 – соответственно скорость детонации, плотность заряжения, диаметр заряда ВВ; c , v , σ_p – соответственно скорость продольной волны, коэффициент Пуассона, предел прочности на разрыв отдельности; μ , Φ , d_c – соответственно коэффициент трения между отдельностями, показатель трещиноватости массива, размер отдельности; d_c – средний размер куска после взрыва; P – величина горного давления.

Величину ЛНС из геометрических построений определяли по формуле [2]

$$W = \sqrt{2} R_{д1} = 1,4 R_{д1} \quad (7)$$

Численные расчеты параметров $R_{д1}$ и W проводили для горно-геологических и горнотехнических условий блока 4Д-809 и сравнивали с результатами фактической отбойки руд в этом же блоке.

Горно-технические условия: диаметр скважин $d_3 = 0,065$ м, тип ВВ – граммонит М-21 с $D = 3,6 \cdot 10^3$ м/с, $\rho_b = 10^3$ кг/м³. Число скважин в веере $n = 2-3$. Расстояние между скважинами $a = 0,6-0,8$ м (0,70 м в среднем).

Таблица 1

Фактические данные по среднему размеру куска и ЛНС при взрывной отбойке в блоке 4д-809

№ п/п	Даты взрывов	Номер бурового штрека	ЛНС	Средний размер куска, d_c , мм	
				по факту	усредненный по ЛНС
1	22.04.14	–	1,0	67	67
2	01.05.14	–	1,4	112	100,8
	29.05.14	–	1,4	71	
	06.06.14	–	1,4	120	
	09.06.14	–	1,4	103	
	15.06.14	–	1,4	98	
3	02.12.14	1/2	1,5	150	114,5
	06.12.14	1/2	1,5	112	
	08.12.14	2/3	1,5	116	
	14.12.14	2/3	1,5	154	
	20.12.14	1/2	1,5	138	
	20.12.14	2/3	1,5	87	
	15.01.15	1/2	1,5	91	
	04.12.14	2/3	1,5–1,6	101	
	04.12.14	2/3	1,5–1,6	82	
	4	13.03.15	1/2	1,5	
24.04.15		1/2	1,5	192	
25.03.15		1/2	1,5	93	
25.03.15		1/2	1,5	107	

Таблица 2

Результаты расчета ЛНС по формулам при заданном d_c с фактическими параметрами ЛНС и d_c

Расчетные параметры				Фактические параметры	
d_c , м	R_1 , м	R_{a1} , м	W , м	$W_{ф}$, м	$d_{сф}$, м
0,05	0,45	0,64	0,90	1,0	0,067
0,08	0,56	0,84	1,17	1,4	0,10
0,1	0,63	0,97	1,35	1,5	0,11–0,13
0,13	0,72	1,13	1,58		
0,15	0,76	1,20	1,69		

Краткие геологические сведения: породы представлены трахидациитами нижнего покрова. В зонах оруденения (тектонические швы) размер отдельностей равен $d_c = 0,05\text{--}0,3$ м (0,175 м в среднем), во вмещающих трахидациитах $d_c = 0,15\text{--}0,3$ м (0,225 м в среднем). Мощностъ рудного тела 1,0...2,5 м.

Физико-технические свойства трахидациитов нижнего покрова [2]: скорость продольной волны $c = 4,35 \cdot 10^3$ м/с, коэффициент Пуассона $\nu = 0,29$, предел прочности на разрыв $\sigma_p = 1,39 \cdot 10^7$ Па, коэффициент крепости в зоне оруденения $f = 8\text{--}12$, размер отдельности $d_c = 0,175$ м, $\Phi = 9$, $\mu = 0,3$, $P = 9,8 \cdot 10^6$ Па.

Анализ фактических данных по грансоставу взорванной горной массы в блоке 4Д-809, полученному в результате обработки фотопланограмм, приведен в табл. 1.

Определим достоверность полученных теоретических формул расчета, сравнив рассчитанную величину ЛНС при заданном размере куска с фактической ЛНС и замеренным средним размером куска после взрывов в блоке 4Д-809. По формуле (6) определим R_1 по выше приведенным параметрам, изменяя d_c от 0,05 до 0,15 м.

Результаты расчета величины R_1 приведены в табл. 2. Далее по формулам (5), (7) определялась величина R_{a1} и W при $a = 0,7$ м, $n = 2\text{--}3$ (в среднем 2,5), $\nu = 0,29$. Результаты приведены в табл. 2.

Анализ табл. 2 указывает на удовлетворительную сходимость результатов расчетной и фактической величин W при обеспечении одинаковой степени дробления массива. Отклонения составляют 5...19% и не превышают допустимых при горнотехнических расчетах и опытах.

Заключение

В статье рассмотрено действие трех и более параллельно сближенных зарядов ВВ на основе энергетической теории действия взрыва на напряженный трещиноватый массив горных пород. Получена теоретическая формула расчета радиуса зоны регулируемого дробления при одновременном взрыве серии зарядов перпендикулярно их плоскости и определена величина ЛНС.

В условиях подземного уранового рудника № 1 ПАО «ППГХО» проведена серия промышленных экспериментальных взрывов при поэтажной отбойке маломощных рудных тел с оценкой гранулометрического состава фотопланометрическим методом.

Сравнение результатов экспериментальных исследований и теоретических расчетов (по параметрам БВР и среднему размеру куска) указывают на удовлетворительную их сходимость.

1. Кутузов Б.Н., Тюпин В.Н. Определение размера зоны регулируемого дробления при взрыве заряда в трещиноватом массиве // Известия вузов. Горный журнал. – 1974, № 8. – С. 30–35.

2. Тюпин В.Н. Повышение эффективности геотехнологии с использованием энергии взрыва при деформировании напряженных трещиноватых массивов горных пород. Дисс. на соискание уч. степени докт. тех. наук. – М.: ВНИПИпромтехнологии, 2002. – 267 с. **ЦИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Тюпин Владимир Николаевич – доктор технических наук, профессор, Забайкальский институт железнодорожного транспорта, филиал Иркутского государственного университета путей сообщения, e-mail: tyupinvn@mail.ru,

Лизункин Михаил Владимирович¹ – кандидат технических наук, доцент, e-mail: LMV1972@mail.ru,

Лизункин Владимир Михайлович¹ – доктор технических наук, профессор, e-mail: prmpi.zabgu@mail.ru,

¹ Забайкальский государственный университет.

UDC 622.235:622.274.36.063.23

DETERMINATION OF BREAKING ZONE OF STRAINED FRACTURED ARRAY DURING SIMULTANEOUS EXPLOSION OF SEVERAL PARALLEL CONTIGUOUS CHARGES OF BLASTING COMPOUNDS

Tyupin V.N., Doctor of Technical Sciences, Professor, Transbaikalian Railway Transport Institute, a branch of Irkutsk State Railway Transport Engineering University, 672040, Chita, Russia, e-mail: tyupinvn@mail.ru, Lizunkin M.V.¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: LMV1972@mail.ru, Lizunkin V.M.¹, Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: prmpi.zabgu@mail.ru, ¹ Transbaikal State University, 672039, Chita, Russia.

During extraction of low powered ore bodies (power to 3,0 m.) using cross options of mining method, selective breakage of flat deposits and ore preparation for underground leaching, we use breaking method of parallel contiguous charges of blasting compounds more often. At explosion of several contiguous holes the most important parameter is a radius of controlled crushing zone of fractured array transversely to line, which connects the charges of blasting compounds. This article considers an action of 3 and more parallel contiguous charges of blasting compounds on the basis of energy theory of explosive attack on strained fractured rock array. Theoretical formula for calculating radius of zone of controlled crushing during simultaneous blasting of series of charges transversely to flats was formed, the line of the least resistance was determined as well. We conducted a series of technical experimental explosions at sublevel breaking of low powered ores with assessment of coarseness of grading by photo planimetric method in conditions of underground uranium mine № 1 PJSC PIMCU. Comparison of experimental researching results and theoretical calculations (on the basis of parameters of drilling and blasting works and a middle size of a piece) points on their favorable similarity.

Key words: low powered ore bodies, parallel contiguous charges of blasting compounds, zone of controlled crushing, theoretical formulas, coarseness of grading, the accuracy of formulas.

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was carried out in the framework of the integrated high-technology production project «Development of Integrated Technology for Mining Low-Economic Uranium Ore using Geotechnological Methods» under financial support by the Government of the Russian Federation (RF Ministry of Education and Science).

REFERENCES

1. Kutuzov B.N., Tyupin V.N. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal*. 1974, no 8, pp. 30–35.

2. Tyupin V.N. *Povyshenie effektivnosti geotekhnologii s ispol'zovaniem energii vzryva pri deformirovani napryazhennykh treshchinovatykh massivov gornyykh porod* (The increase of geotechnological efficiency by using explosion energy during deformation of strained fractured massifs of mineral resources), Doctor's thesis, Moscow, VNIPIpromtekhologii, 2002, 267 p.