

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗОН ОСЛАБЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ МАССИВА ПРИ ДРОБЛЕНИИ ГОРНЫХ ПОРОД ВЗРЫВОМ НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ

Ю.Д. Норов, И.Т. Мислибаев, Б.З. Солиев, О.М. Гиязов, Навоийский государственный горный институт, Республика Узбекистан

Рекомендован комплексный метод определения радиусов зон ослабления прочности горного массива, основанный на применении кернового и сейсмоакустического методов, а также экспресс-метода определения радиусов зон ослабления прочности горных пород с использованием водопоглощаемости массива. Разработан и экспериментально проверен способ производства буровзрывных работ путем определения эффективных расстояний между рядами скважин и между скважинами в ряду в зоне ослабления прочности массива горных пород. Разработан и экспериментально проверен способ производства буровзрывных работ, включающий разделение участков на отдельные блоки, бурение в них скважин, зарядание взрывчатым веществом и их забойку. Реализация разработанных способов позволяет уменьшить удельный объем бурения скважин и расход промышленных взрывчатых веществ.

Последние годы характеризуются развитием теоретических и экспериментальных исследований в области управления действием взрыва при разрушении горных пород. Значительный интерес представляет изыскание способов снижения энергоемкости процесса разрушения за счет изменения свойств породы взрывом. В настоящее время разработано достаточное количество методов управления действием энергии взрыва для достижения заданных результатов взрыва.

При расчетах параметров скважинных зарядов взрывчатых веществ необходимо учитывать зоны ослабления прочности горного массива, которые образуются в результате многоциклических взрывных нагрузок. Ослабление прочности горных пород происходит в виде макро- и микротрещин при действии динамических нагрузок тогда, когда предел их прочности на растяжение снижается. Учет этого эффекта вскрывает не использованные резервы повышения эффекта действия энергии взрыва. Аналитическое решение задачи об ослаблении горных пород при взрывных нагрузках затруднительно, поскольку до сих пор еще не разработана физическая модель подобного процесса.

Установление закономерностей протекания процесса ослабления прочности горных пород в глубине массива способствует разработке способов ведения взрывных работ с использованием эффекта ослабления и определению их рациональных параметров. В связи с этим проблема разработки ресурсосберегающей технологии ведения буровзрывных работ с использованием зон ослабления прочности массива горных пород приобретает в настоящее время исключительную важность.

На карьерах Навоийского-горно-металлургического комбината (Республика Узбекистан) проведены модельные исследования распространения различных типов волн напряжений в горном массиве и взаимодействии их с границами уступа путем физического моделирования методом динамической фотомеханики, созданы в модели и в натуре подобия динамического напряженного состояния и определены характеристики прочности и упругости модельных материалов из стекла (табл. 1) [1-3].

С учетом критериев подобия соответствующего оптически-чувствительного материала модели, осуществлялось его изготовление. Численные значения критериев подобия для реальных смоделированных горных пород представлены в табл. 2.

При моделировании методом динамической фотомеханики полей напряжений в плоской модели выполнены условия реализации в ней обобщенного плоского напряженного состояния.

Для изготовления моделей использовались стеклянные пластины размерами 200 x 350 мм и толщиной по 5 мм из различных сортов стекла. После изготовления каждой модели

специальной алмазной трубчатой фрезой в ней высверливались отверстия (диаметром 25 мм под шайбу с центральным отверстием 2,0 мм для заполнения микрочаряда азид свинца).

Таблица 1

Характеристика прочности и упругости горных пород и модельных материалов из стекла

Горные породы и моделирующие материалы		Критерии динамического подобия					
		$\frac{\rho_i C_p^2}{\delta_{i,j}}$	$\frac{\rho_i \lambda_{pi}^2}{E_0 t_p^2}$	$\frac{U_i}{L_i}$	$\frac{C_{pi} t_i}{\lambda_{pi}}$	$\frac{C_p}{C_{si}}$	ν_i^0
натура	Гранит сланцево-углефицированный	6522	1,120	0,011	11,03	1,408	0,21
	Сланец слюдисто-кварцевый	6217	1,083	0,023	10,28	1,286	0,27
	Руда кварцево-сульфидная	8150	1,056	0,012	10,67	1,424	0,23
	Граносиенит сланцево-серицитовый	8072	1,051	0,018	10,66	1,441	0,22
модель	Стекло крон 120	6464	1,05	0,012	10,25	1,421	0,221
	Стекло конфликт КФ1	5898	1,079	0,022	12,70	1,417	0,214
	Стекло баритофлинт БФ1	7380	1,081	0,013	1135	1,405	0,204
	Стекло легкий крон 1К-105	7537	1,045	0,020	10,88	1,408	0,21

Таблица 2

Численные значения критериев подобия для реальных смоделированных горных пород

Горные породы и их модели	Индикаторы подобия среды											
	$\frac{K_{\rho_i} K_{c_{pi}}^2}{K_{\delta_i}}$	Погрешность, %	$\frac{K_{\rho_i} K_{\lambda_{pi}}^2}{K_{E_i} K_{t_{pi}}}$	Погрешность, %	$\frac{K_{ui}}{K_{ei}}$	Погрешность, %	$\frac{K_{c_{pi}} K_{ti}}{K_{\lambda_i}}$	Погрешность, %	$\frac{K_{c_{pi}}}{K_{c_{si}}}$	Погрешность, %	$K_{\nu_i^0}$	Погрешность, в %
I	1,009	0,89	1,066	6,3	1,091	8,3	1,076	7,1	1,009	1,0	1,052	5,0
II	1,054	5,1	1,004	0,4	1,045	4,3	1,235	19,0	1,102	9,2	1,262	20,7
III	1,104	9,4	1,024	2,3	1,083	7,5	1,063	6,0	1,014	1,3	1,127	11,3
IV	1,071	6,6	1,0057	0,6	1,11	10	1,021	2,1	1,023	2,3	1,047	4,5

Готовая к испытаниям модель устанавливается в поле поляриционно-динамической установки и закрепляется на силовом стенде. Крепление модели осуществляется таким образом, чтобы динамическая картина изохром (полос), возникающая в зоне крепления от опорных реакций, не накладывалась и не искажала картину изохром, возникшую от динамических нагрузок в зоне ее регистрации.

При проведении экспериментов на моделях методом динамической фотомеханики применяли заряды азид свинца, расположенные в шайбе диаметром 25 мм с цилиндрическим центральным отверстием диаметром 2 мм, в котором помещался микрочаряд ВВ. После заполнения азидом свинца отверстия в шайбе, его заклеивали с обеих сторон тонкой токопроводной фольгой и шайбу помещали в заранее подготовленное отверстие в модели. Иницирование ВВ производилось высоковольтным разрядом с напряжением $U=20\text{кВ}$ через электроды, находящиеся с двух сторон модели в контакте с фольгой; зарядная шайба диаметром 25 мм при взрыве разрушается, сохраняя основную модель для повторных экспериментов. Для изучения волновых полей напряжений и интерференции волн при импульсной нагрузке микрочаряд ВВ одинаковой массы ($Q=50\text{ мг}$), располагали на разных расстояниях по длине модели.

По разработанной методике моделирования динамического напряженного состояния горного массива установлены закономерности затухания падающей, отраженных продольной и поперечной волн напряжений от расстояния и времени. Установлено, что под действием отраженных волн напряжений от свободных поверхностей уступа при производстве

взрывных нагрузок происходит ослабление прочности массива горных пород, зависящее от амплитуды напряжений, количества нагружений, прочностных свойств горных пород и расстояний от последнего ряда взрывааемых скважинных зарядов ВВ.

Исследованиями [4-6] определена амплитуда напряжений отраженных волн после взрыва скважинного заряда ВВ в глубине горного массива на расстоянии $200\bar{r}$, которая составляет 0,3-0,4 от предела статической прочности горных пород, при котором массив испытывает двукратное нагружение. Исследованиями установлено, что для исследованных горных пород предел усталостной прочности на сжатие составляет 35-50%, на растяжение – 75-80% от предела статической прочности.

Установлено, что процесс ослабления прочности массива горных пород происходит за счет многоциклических нагрузок под действием взрывных волн напряжений, отраженных от свободных поверхностей массива. Показано, что после взрыва одного заряда ВВ на расстоянии $200\bar{r}$ рассматриваемая точка получает как минимум двукратный импульс.

Для экспериментального установления закономерностей ослабления прочности горных пород под действием многоциклических пульсирующих нагрузок были подготовлены три серии образцов в виде кернов, полученных при бурении геологических скважин. Первая серия образцов предназначалась для определения прочностных свойств при статических нагрузках.

Во второй серии экспериментальные исследования состояли из двух циклов. В первом цикле исследовалось усталостное разрушение горных пород в режиме сжатия и растяжения под действием динамических пульсирующих нагрузок. Число нагружений N^* , приводящее к разрушению горных пород, было принято считать предельным. Опыты проводились при различных амплитудах напряжений, равных 0,7; 0,6; 0,5; 0,4; 0,3 и 0,2 предела статической прочности горных пород. В качестве критерия прочности горных пород был принят предел прочности на растяжение. Испытания проводились в режиме растяжения.

Во втором цикле исследований образцы горных пород предварительно нагружались N' раз импульсами напряжений с постоянной амплитудой (при $N' < N$). Затем образцы прозвучивались с помощью установки ДУК-20 и под действием статической нагрузки доводились до разрушения, что позволило количественно оценить эффект ослабления прочности горных пород при динамических пульсирующих нагрузках. Опыты повторялись на образцах пород с идентичными прочностными свойствами и амплитудами напряжений при предварительном нагружении N'' , N''' , ..., N^n раз до появления в образцах макротрещин.

Исследования выполнялись при многоциклических динамических нагружениях образцов горных пород на установке с пульсатором типа ПДМ-100ПУ. Испытания проводились на шести типах горных пород с коэффициентом крепости f по шкале проф. М.М. Протоdjаконова от 7 до 16.

Установлены зависимости усталостного ослабления прочности горных пород от амплитуд напряжений, числа нагружений и прочностных свойств горных пород, на основе которых разработана методика их исследований. Усталостное ослабление прочности горных пород происходит в виде макро- и микротрещин при действии динамических нагрузок тогда, когда предел их прочности на растяжение снижается до $(0,3-0,45) \sigma_{\text{раст}}$.

Установлено, что предел усталостной прочности на сжатие для горных пород составляет 35-50%, а на растяжение – 75-80% от предела статической прочности.

Разработана номограмма для определения ослабления прочности горных пород в зависимости от амплитуд напряжения, числа нагружений и прочностных свойств горных пород, а также амплитуд затухания отраженных волн напряжений от свободной поверхности, позволяющей установить радиус зоны ослабления прочности горного массива (рис. 1) [7, 8].

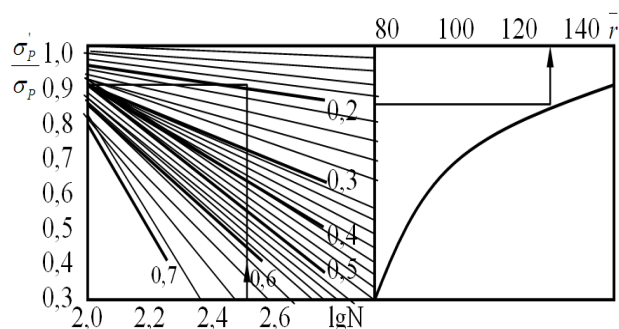


Рис. 1. Номограмма для определения радиусов зон ослабления прочности горного массива

Для определения размеров зон ослабления прочности массива горных пород при взрывании серии скважинных зарядов ВВ разработан комплексный метод, основанный на исследовании состояния горного массива при помощи кернового и сейсмоакустического методов, а также метода водопоглощаемости массива.

Для оценки ослабления прочности массива горных пород на различных расстояниях в зависимости от количества взрываемых скважинных зарядов ВВ до и после взрыва, брались керновые пробы из семи скважин, пробуренных через каждые 3 м от свободной поверхности вглубь массива глубиной по 20 м.

Выбуривание кернов осуществлялось самоходными буровыми установками типа УРБ-2А диаметром 93 мм с промывкой забоя водой и глинистым раствором. Применялась буровая коронка с армированными пластинками или штырями из твердого сплава ВК-15.

Отбирались керновые пробы, пригодные для приготовления образцов, с отметок $\pm 0,0$ м; $-5,0$ м; $-10,0$ м; $-15,0$ м; $-20,0$ м; изготавливались образцы и определялись прочностные свойства горных пород. По разности прочности образцов до и после взрыва судили о величине ослабления горного массива на различном расстоянии от свободной поверхности.

Для определения зоны ослабления прочности горных пород, был выбран сейсмоакустический метод. Для определения скорости упругих волн использовались те же скважины глубиной по 20 м, пробуренные через 3 м. Общая база исследования составляла 21-22 м. Сейсмоприемники типа СВ-30 закреплялись в устье скважины на расстоянии 1-3 м. Для возбуждения импульса в качестве ВВ применялись электродетонаторы марки ТЭД-200. Заряды ВВ взрывали последовательно, начиная от дна скважины на отметке 20 м. Шаг передвижки источника возмущения составлял 5 м. Регистрация моментов взрыва производилась способом «боевая линия».

Поступающие от сейсмоприемников сигналы записывались сеймостанцией. Скорость распространения упругих волн в горном массиве определялась по первому вступлению продольной волны, полученной при различной глубине профиля наблюдения.

Разработан экспресс-метод определения зон ослабления прочности горных пород с использованием метода водопоглощаемости массива. Для этого использовались скважины под керновое бурение диаметром 93 мм и глубиной 20 м. В скважины, расположенных на различных расстояниях от взрыва, заливали воду и по скорости опускания воды до и после взрывных нагрузок устанавливали размеры зоны ослабления прочности горного массива [9].

Исследованиями установлено, что наличие забойки во взрывной скважины увеличивает время действия газов на массив, тем самым разрушаем горным породам передается большая доля энергии, выделяемой при взрыве заряда ВВ, что способствует повышению качества дробления горных пород, а также увеличивается размер зон ослабления прочности горных пород в глубине горного массива. Поэтому в следующем этапе измерялись параметры волн напряжения при взрыве различной конструкции забоек скважинных зарядов ВВ. Исследовались пассивная, активная и компенсационная забойки скважинного заряда ВВ.

Для измерения параметров волн напряжения в промышленных условиях производились взрывы по следующей схеме. В массиве горных пород буровым станком СБШ 250МН бурились одиночные скважины диаметром 250 мм и глубиной 15-20 м. В нижней части

скважины закладывали основной заряд из промышленного ВВ по паспорту БВР для данного карьера. Далее над зарядом ВВ закладывали пассивную забойку из буровой мелочи. Способ регистрации выходных сигналов и установку датчиков на уступе при взрыве скважинного заряда ВВ производили по известным методикам. Электродинамические датчики типа СПЭД для регистрации параметров волн напряжения на уступе устанавливали и закрепляли на различных расстояниях от устья взрывных скважин, равных $50\bar{r}$; $100\bar{r}$; и $150\bar{r}$ (\bar{r} – приведенное расстояние от очага взрыва).

Регистрация выходных сигналов при взрыве скважинных зарядов ВВ с установленных датчиков производили на портативном магнитофоне, расположенном в специальном укрытии.

По аналогичной схеме эксперименты проводились для компенсационной и активной забоек скважинных зарядов ВВ.

Установлено изменение длительности воздействия импульса волн напряжений горных пород в зависимости от их положительной и отрицательной фаз амплитуды при взрыве скважинных зарядов ВВ с различной конструкцией забойки. Полученные закономерности характеризуются зависимостью параболического типа. Сравнение величин импульсов, передаваемых в среду, показывает, что у конструкции с активной забойкой величина импульса больше в 10 раз, чем у конструкции с инертной забойкой, и в 1,1 раза – с компенсационной забойкой.

На следующем этапе в промышленных условиях определялись размеры зон ослабления прочности массива горных пород взрывами различной конструкции забоек скважинных зарядов ВВ.

Для определения размеров зон ослабления прочности горного массива был использован экспресс-метод с применением метода водопоглощаемости массива. Для этого использовали скважины под керновое бурение диаметром 93 мм и глубиной 20 м. В скважины, расположенных на различных расстояниях от взрыва, заливали воду и по скорости опускания воды до и после взрывных нагрузок устанавливали зоны ослабления массива.

Разработан комплексный метод исследования ослабления прочности массива горных пород, позволяющий установить как размеры зон ослабления, так и степень ослабления горных пород в любой точке массива [10, 11].

Применение комплексного метода исследований массива горных пород при действии взрыва вглубь массива позволило определить границы зоны его ослабления (рис. 2). Было установлено пять характерных точек этой границы: А, Б, С, Д, Е и радиусы ослабления по направляющей этих точек ($R^П$, R_T^B , R_u , R_T^H , R_0).

Исследованиями установлено, что зона ослабления прочности в глубине горного массива, характеризующаяся появлением макро- и микротрещин под действием многоциклического нагружения, возникает при снижении предела прочности горных пород на растяжение на 60-70%.

Установлено, что с увеличением количества взрывааемых скважинных зарядов ВВ от 20 до 178 радиусы зон ослабления прочности горного массива в алевротизированных сланцах возрастают в 1,2-1,3 раза, а в породах из граносиенита – в 1,1-1,2 раза. Установлено критическое количество зарядов ВВ в алевротизированных сланцах, которое составляет 20 ед., в породах из граносиенита – 70 ед., после взрыва которых радиусы зон ослабления прочности горного массива не изменяются. Также установлено, что с увеличением диаметра скважинного заряда во взрывааемой серии от 125 до 214 мм радиусы зон ослабления прочности горного массива в алевротизированных сланцах возрастают в 1,2-1,5 раза, а в породах из граносиенита – в 1,1-1,3 раза.

Статистический анализ полученных результатов показывает, что радиус зон ослабления массива зависит от количества взрывааемых скважинных зарядов ВВ, их диаметра и прочностных свойств массивов и характеризуется эмпирическим уравнением вида

$$R_{осл} = 140 \left[1 - \frac{142,85(1 - \delta'_p / \delta_p)}{n + 60} \right]^{-1} r, \quad (1)$$

где n – количество взрываваемых скважинных зарядов ВВ.

Коэффициент корреляции данного уравнения составляет $R = 0,71 \pm 0,072$.

Рекомендован комплексный метод определения радиусов зон ослабления прочности горного массива, основанный на применении кернового и сейсмоакустического методов, а также экспресс-метода определения радиусов зон ослабления прочности горных пород с использованием водопоглощаемости массива.

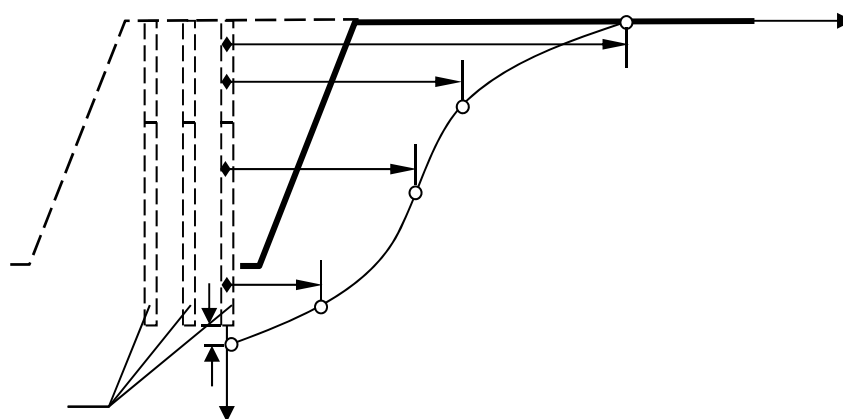


Рис. 2. Схема определения зон ослабления горного массива под действием взрыва, определенных комплексным методом

1 – взорванные скважинные заряды ВВ; 2 – исследуемая зона ослабления; 3 – эквиповерхность, ограничивающая ненарушенную зону массива, ослабленную взрывом скважинного заряда ВВ; 4 – ненарушенная зона; $R^П$, R_T^B , $R_ч$, R_T^H – соответственно, радиус ослабления массива поверхности уступа из верхней, средней и нижней частей торца заряда ВВ по направлению к оси X ; R_0 – радиус, исходящий из нижней части заряда ВВ по направлению к оси X

В результате установления радиусов зон ослабления прочности горного массива в зависимости от количества взрываваемых скважинных зарядов ВВ, их диаметра, конструкции забойки и прочностных свойств породных массивов разработан экспресс-метод определения размеров зон ослабления прочности горного массива.

Разработана методика определения размеров зон ослабления прочности горного массива при взрыве скважинных зарядов ВВ в промышленных условиях.

Первая серия опытно-промышленных испытаний по определению размеров зон ослабления прочности в глубине горного массива в зависимости от технологических параметров БВР проведена на неглубоких карьерах Зиадинского месторождения АО «Ўзбекистон темир йўллари» в различных по трещиноватости горных породах. К промышленным испытаниям подвергались известняк, граносиенит и гранит, относящиеся, соответственно, к II, III и IV категориям по степени взрываемости – средневзрываемым, трудновзрываемым и весьма трудновзрываемым породам.

На взрываемом блоке размещались скважинные заряды ВВ по типовому проекту данного рудника. Взрывные скважины бурились буровыми станками шарошечного бурения марок СБШ-200 и СБШ-250 диаметром 215 и 250 мм. При этом высота уступа составляла 10-20 м. Для взрывания горных пород использовались промышленные ВВ, выпускаемые на заводах Республики Узбекистан. Плотность заряжания промышленных ВВ в скважинных зарядах составляла 0,8-1,6 т/м³.

В качестве забойки скважинных зарядов ВВ использовались следующие типы: активная, компенсационная и пассивная. При этом учитывался коэффициент конструкции забойки скважинного заряда ВВ, равный 0,6-0,9 – отношение размеров зон ослабления прочности горных пород при применении пассивной и активной забоек.

Экспериментальные исследования проводились в породах I, II, III категории трещиноватости на основе ведения их коэффициента ($k_t=1-1,2$), зависящего от объемного веса взрывааемых горных пород. Также экспериментальные исследования проводились в II, III, IV категориях горных пород по их взрываемости. Размеры зон ослабления прочности горного массива устанавливались после каждой серии взрывов скважинных зарядов ВВ по переработке подошвы уступа, определяемых маркшейдерскими замерами.

Опытно-промышленными испытаниями исследовано изменение размеров зон ослабления прочности горного массива при малой высоте уступа в зависимости от технологических параметров БВР (диаметр скважины, плотность заряжения ВВ, коэффициент, учитывающий конструкцию забойки, коэффициент, учитывающий степени взрываемости) в различных по трещиноватости массивах горных пород в условиях карьера Зиадинского месторождения АО «Ўзбекистон темир йўллари».

Размеры зон ослабления прочности массива в различных категориях по степени взрываемости горных пород зависят от плотности заряжения ВВ и диаметра взрывных скважин. Установлены линейные зависимости изменения размеров зон ослабления прочности горного массива в зависимости от коэффициента, учитывающего конструкцию забойки скважинного заряда ВВ и трещиноватость массива при различных категориях горных пород по их взрываемости.

В результате статистической обработки проведенных исследований по определению размеров зон ослабления прочности горного массива в зависимости от технологических параметров БВР в различных по трещиноватости массивах горных пород, разработана формула их расчета:

$$W_{осл.} = 2000k_t k_3 d \sqrt{\frac{\Delta}{\gamma}}, \quad (2)$$

где k_t – коэффициент трещиноватости горных пород; k_3 – коэффициент, учитывающий конструкцию забойки скважинного заряда ВВ; d – диаметр взрывных скважин, м; Δ – плотность заряжения, кг/м³; γ – объемный вес породы, кг/м³.

Коэффициент корреляции для данного уравнения составляет $0,90 \pm 0,015$.

Для определения размеров зон ослабления прочности горного массива на высоких уступах проводились опытно-промышленные исследования на карьере Мурунтау в породах с категорией крепости $f=8-12$ по шкале проф. М.М. Протождяконова.

Опытно-промышленными испытаниями определены размеры зон ослабления прочности горного массива на высоких уступах в глубоких карьерах в зависимости от технологических параметров БВР (количества ВВ, размещенной в 1 м скважины, диаметра скважины, плотности заряжения, расхода промышленных ВВ, коэффициента, учитывающего конструкцию забойки скважинного заряда ВВ, глубины скважины), высоты уступа и коэффициента трещиноватости массива горных пород. Установлены степенные закономерности с показателем $1/2$ изменения размеров зон ослабления прочности массива горных пород в зависимости от расхода промышленных ВВ при различной высоте уступа.

Также установлены линейные зависимости изменения размеров зон ослабления прочности горного массива в зависимости от коэффициента, учитывающего конструкцию забойки скважинного заряда ВВ, при различном коэффициенте трещиноватости массива горных пород. Размеры зон ослабления прочности горного массива в зависимости от глубины взрывных скважин и высоты уступа при различном коэффициенте трещиноватости горных пород имеют степенную закономерность с показателями, равными $3/2$ и $1/2$ соответственно.

В результате проведенных исследований получено формула расчета размеров зон ослабления прочности горного массива в зависимости от технологических параметров БВР и высоты уступа при различных коэффициентах трещиноватости массива горных пород:

$$W_{осл} = \frac{k_T k_3 m q h l^2}{30 \sqrt{0,56 p^2 + 4 m p q H l}}, \text{ м}, \quad (3)$$

где p – количество ВВ, размещенное в 1 м скважины, кг, $p=7,85d^2\Delta$, кг; d – диаметр скважины, дм; Δ – плотность заряжения, кг/дм³; q – удельный расход ВВ, кг/дм³; H – высота уступа, м; l – глубина скважины, м; k_T – коэффициент трещиноватости горных пород; k_3 – коэффициент, учитывающий конструкцию забойки скважинного заряда ВВ.

Коэффициент корреляции для данного уравнения составляет $0,92 \pm 0,015$.

Для установления эффективных параметров БВР в зоне ослабления прочности горного массива в зависимости от их технологических параметров в различных по трещиноватости массивах горных пород были проведены серии опытно-промышленных взрывов на карьерах Зиадинского месторождения АО «Ўзбекистон темир йўллари».

На блоке размещались скважинные заряды ВВ по типовому проекту данного рудника. Для установления между рядами скважин в зоне ослабления прочности горного массива размещались 5 экспериментальных скважинных зарядов ВВ того же диаметра на различных расстояниях от последнего ряда взрывающей серии скважинных зарядов ВВ.

Эффективное расстояние между рядами скважин в зоне ослабления прочности массива устанавливалось путем проработки подошвы уступа, определяемой маркшейдерскими замерами. Эти эксперименты повторялись в зависимости от технологических параметров БВР в различных по трещиноватости массивах горных пород.

В результате обработки данных получены формулы определения эффективного расстояния между рядами скважин в зоне ослабления прочности массива при малой высоте уступа:

– для трудновзрываемых пород из граносиенитов:

$$b_{осл.} = 1800 k_T k_3 d \sqrt{\frac{\Delta}{\gamma}}, \quad (4)$$

– для весьма трудновзрываемых пород из гранитов:

$$b_{осл.} = 1600 k_T k_3 d \sqrt{\frac{\Delta}{\gamma}}. \quad (5)$$

Для установления расстояния между скважинами в ряду в предполагаемой зоне ослабления прочности массива на различных расстояниях друг от друга в один ряд размещались экспериментальные заряды ВВ того же диаметра.

Эффективное расстояние между скважинами в ряду в предполагаемой зоне ослабления прочности массива устанавливалось по проработке подошвы уступа, определяемой по маркшейдерскому замеру.

В результате опытно-промышленных взрывов установлены зависимости изменения расстояния между скважинными зарядами ВВ в зоне ослабления прочности массива от технологических параметров БВР в различных по трещиноватости массивах горных пород:

– для трудновзрываемых пород из граносиенитов:

$$a_{осл.} = 1600 k_T k_3 d \sqrt{\frac{\Delta}{\gamma}}, \quad (6)$$

– для весьма трудновзрываемых пород из гранитов:

$$a_{осл.} = 1400 k_T k_3 d \sqrt{\frac{\Delta}{\gamma}}. \quad (7)$$

В результате обработки данных получены зависимости эффективного расстояния между рядами скважин в зоне ослабления прочности массива на высоких уступах от технологических параметров БВР в различных по трещиноватости массивах горных пород:

– для трудновзрывааемых пород:

$$b_{осл.} = \frac{0,03k_T k_3 m q h l^2}{\sqrt{0,56p^2 + 4mpqHl}} ; \quad (8)$$

– для весьма трудновзрывааемых пород:

$$b_{осл.} = \frac{0,027k_T k_3 m q h l^2}{\sqrt{0,56p^2 + 4mpqHl}} . \quad (9)$$

Также в результате опытно-промышленных взрывов установлены зависимости изменения расстояния между скважинными зарядами ВВ в зоне ослабления прочности массива от технологических параметров БВР в различных по трещиноватости массивах горных пород:

– для трудновзрывааемых пород:

$$a_{осл.} = \frac{0,026k_T k_3 m q h l^2}{\sqrt{0,56p^2 + 4mpqHl}} ; \quad (10)$$

– для весьма трудновзрывааемых пород:

$$a_{осл.} = \frac{0,023k_T k_3 m q h l^2}{\sqrt{0,56p^2 + 4mpqHl}} . \quad (11)$$

Проведенные исследования позволили установить изменение размеров зон ослабления прочности горного массива на малых и высоких уступах в зависимости от технологических параметров БВР в различных по трещиноватости горных породах. Исходя из этого разработаны два способа ведения БВР, позволяющие использовать эффект ослабления прочности горных пород в глубине горного массива с целью уменьшения удельного объема бурения взрывных скважин и расхода промышленных ВВ.

Первый способ может быть использован также при строительстве котлованов и траншей в открытых горных работах, а также в тех условиях, когда необходимо применение специальных мер защиты сооружения от разлетающихся при взрыве осколков горных пород. В предлагаемом способе взрываемый блок по ширине заходки делится на две части. Первая (большая часть), начиная от свободной поверхности уступа, обуривается согласно проекту БВР для данного карьера, вторая часть (последний ряд скважин) обуривается по увеличенной сетке, а время замедления взрывания для этого ряда увеличивается на 10-15 мс.

Расстояние между скважинными зарядами в ряду и между рядами скважин определяется по разработанным формулам.

Разработанный способ ведения БВР на основе использования размеров зон ослабления прочности горного массива позволяет уменьшить удельный объем бурения скважин и расход промышленных ВВ [12, 13].

Согласно второму способу ведения БВР бурение взрывных скважин производят последовательно и поблочно – сначала в нечетных блоках, а затем в четных после взрывания скважин в примыкающих к ним нечетных блоках. На рис. 3 и 4 приведен план участка взрывания скважинных зарядов ВВ, соответственно, в нечетных и четных блоках.

Бурение взрывных скважин начинают с нечетных блоков – 1 по паспорту буровзрывных работ данного карьера, а четные блоки – 2 обуривают в ослабленной зоне согласно рекомендации по увеличенной сетке скважин на 15-20%.

Конструкция скважинных зарядов в четных и нечетных блоках принимается по паспорту БВР для данного карьера. Далее производят забойку скважинных зарядов ВВ и взрывание. Взрывание четных блоков производят с замедлением 10 – 15 мс относительно нечетных блоков.

Использование предлагаемого способа позволяет сократить затраты при производстве буровзрывных работ вблизи охраняемых объектов.

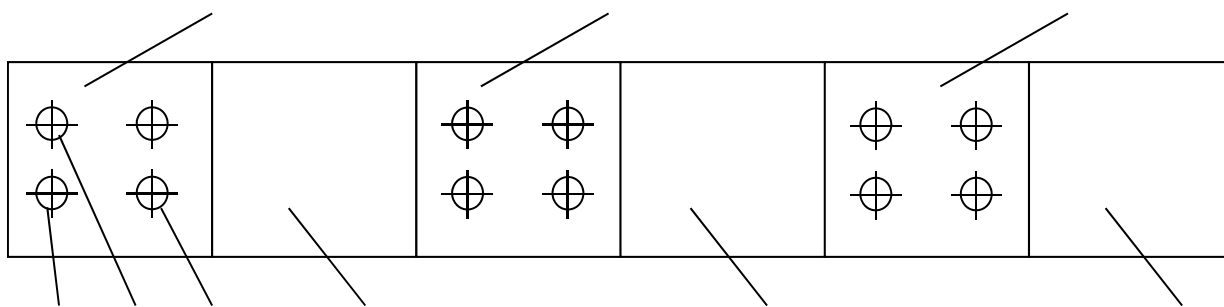


Рис. 3. План участка взрывания скважинных зарядов ВВ в нечетных блоках

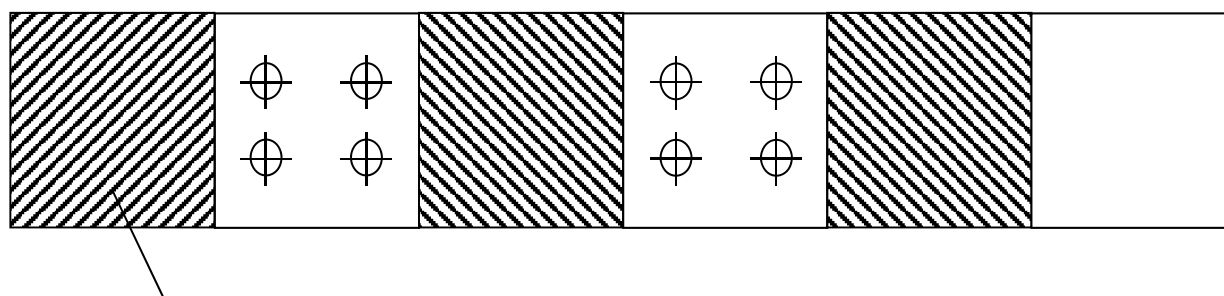


Рис. 4. План участка взрывания скважинных зарядов ВВ в четных блоках

Таким образом, выполненные теоретические и экспериментальные исследования по определению радиусов зон ослабления прочности горных пород в глубине горного массива позволили разработать ресурсосберегающую технологию ведения буровзрывных работ.

Список литературы

1. Мислибаев И.Т., Уринов Ш.Р. Исследование размеров зон ослабления прочности горных пород взрывом скважинных зарядов // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2012. – №2. – С. 28-29.
2. Мислибаев И.Т., Фурсов А.И. Исследование ослабления прочности горных пород при многоциклических динамических нагрузках в режиме сжатия и растяжения // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2013. – №2. – С. 50-53.
3. Мислибаев И.Т., Зоирова Ф.Ю., Жиянов А.Б. Анализ исследований усталостного разрушения горных пород при многоциклических нагрузках // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2014. – №1. – С. 20-22.
4. Норов Ю.Д., Носиров У.Ф., Мислибаев И.Т., Жиянов А.Б. Методика исследования ослабления прочности пород при многократных нагрузках // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2014. – №3. – С. 19-21.
5. Мислибаев И.Т., Тошов О.Э., Зоирова Ф.Ю. Методика исследования размеров зон ослабления прочности горного массива при массовых взрывах // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2015. – №1. – С. 32-34.
6. Мислибаев И.Т. Экспериментальные исследования действия многоциклических пульсирующих нагрузок на процесс ослабления прочности горных пород // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – Екатеринбург, 2015. – №7. – С. 68-73.
7. Бибик И.П., Мислибаев И.Т., Жумаева Х.Ю., Бекназаров Ж.Н. Разработка параметров взрывных работ с использованием зон ослабления массива горных пород // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2013. – №2. – С. 57-59.

8. Мислибаев И.Т., Джабборов М.Н., Зоирова Ф.Ю., Жиянов А.Б. Методы исследования ослабления прочности горного массива при производстве массовых взрывов // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2014. – № 2. – С. 58-61.
9. Мислибаев И.Т. Определение эффективных параметров буровзрывных работ в зоне ослабления прочности массива при взрыве скважинных зарядов взрывчатых веществ // Горный вестник Узбекистана. – Навои, – 2016. – №1. – С. 20-21.
10. Мислибаев И.Т. Определение размеров зон ослабления прочности в глубине горного массива при массовых взрывах в промышленных условиях // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2015. – №4. – С. 11-18.
11. Снитка Н.П., Мислибаев И.Т. Экспериментальное обоснование параметров сетки скважин на карьерах в зоне взрывного ослабления породного массива // Горный журнал. – Москва, 2016. – №2. – С. 13-15.
12. Назаров З.С., Ивановский Д.С., Мислибаев И.Т., Уринов Ш.К. Влияние конструкции скважинных зарядов взрывчатых веществ на размеры зон ослабления прочности горного массива // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2013. – №1. – С. 36-39.
13. Снитка Н.П., Мислибаев И.Т., Каримов Ё.Л. Разработка энергосберегающей технологии ведения буровзрывных работ в зоне ослабления прочности горного массива на глубоких карьерах // Горный вестник Узбекистана. – Навои, – 2015. – №2. – С. 7-11.