С.К.РУБЦОВ
ВНИПИпромтехнологии, Москва, Россия

РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ ЩАДЯЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ ПРИ СОВМЕСТНОЙ РАЗРАБОТКЕ В КОНТУРАХ ЕДИНОГО КАРЬЕРА ОСНОВНОГО РУДНОГО СЫРЬЯ И ДЕКОРАТИВНЫХ ГРАНИТОВ

Повышение эффективности горного производства непосредственно связано с увеличением степени использования извлекаемых из недр как основного, так и совместно или попутно разрабатываемого полезного ископаемого. Применение массовых взрывов на открытых разработках обусловливает необходимость защиты участков совместно разрабатываемых или близ расположенных месторождений от вредного сейсмовзрывного воздействия.

Технология и методы буровзрывных работ (БВР) по добыче основного приоритетного полезного ископаемого не должны существенно меняться и усложняться при вовлечении в разработку совместно или попутно разрабатываемых. Качество и сохранность последних обеспечиваются специальными методами щадящей технологии БВР путем экранирования сейсмовзрывных волн напряжений массовых взрывов и изменением соотношения дробящего и сейсмического действия взрывов. Такая проблема возникла при разработке танталового месторождения «Этыка» Забайкальского ГОКа, где в границах единого карьера совместно разрабатывались основное полезное ископаемое и участки декоративных гранитов.

Сохранность защищаемых участков в карьере при щадящей технологии БВР обеспечивается, если сейсмовзрывное воздействие, оцениваемое скоростью колебаний пород, не превышает значений, при которых деформация среды не выходит за пределы упругости пород. С учетом этого критерия условие сохранности прочностных свойств массива от сейсмовзрывного воздействия характеризуется известным аналитическим выражением, предложенным М.А.Садовским. На его основе прогнозировались сейсмобезопасные массы зарядов ВВ на одно замедление и условия взрывания.

Был выполнен комплекс исследований по установлению закономерностей влияния сейсмовзрывных волн напряжений на массив охраняемых участков, включающий следующие основные этапы:

- моделирование на образцах пород закономерностей изменения их прочностных свойств под воздействием многократных нагрузок в динамическом режиме нагружения;
- сейсмологические исследования в условиях карьера для изучения закономерностей воздействия сейсмовзрывных волн на массивы пород карьера и охраняемые участки;
- разработка алгоритма расчета элементов сейсмовзрывного воздействия при совместной разработке приоритетного и попутно извлекаемых полезных ископаемых в геолого-технологических условиях месторождений.

Исследованиями методом динамической фотоупругости установлено следующее:

• при глубине экрана, вдвое превышающей высоту уступа ($h_э \geq 2H_у$), эффект экранирования в наибольшей степени проявляется при расположении источника взрыва перед экраном на расстоянии $l_1 \leq (0{,}5 \div 1{,}0)\lambda_o$ (здесь λ_o – длина фазы сжатия продольной волны напряжений), когда волны взаимодействуют с экраном совместно в виде объемных продольных волн, наиболее опасных для сохранения прочностных свойств защищаемых участков;

• эффективная зона экранирования в горизонтальном направлении на поверхности и внутри среды за экраном ограничивается расстоянием $L_э = (3 \div 5)h_э$, а по глубине – высотой экрана $h_э$. Напряжения на поверхности среды за экраном снижаются с 70 до 45 % по мере удаления от экрана; экранирование на глубине, равной $h_э$, в 1,5-2 раза выше по сравнению с экранированием на глубине $2h_э$. Это позволило сделать вывод о рациональной глубине экрана: $2h_э \geq 2H_у$. Рекомендации использованы в техническом задании на создание бурового станка глубокого бурения наклонных скважин СБШ-190/250-60;

• в случае, когда $H_у \leq h_э \leq 1{,}5H_у$, наблюдалось увеличение напряжений за экраном на расстояниях $L_э < (0{,}5 \div 1)h_э$. Это явление обусловлено возникновением в среде дифрагированных волн, генерируемых оголовком экрана, что не позволяет размещать экран на расстояниях $L_э \leq h_э \leq 0{,}5h_э$ от защищаемого участка;

• при расположении источника взрыва перед экраном на расстояниях $l_2 \geq 2\lambda_o$, когда волны напряжений уже разделились во времени и каждая группа волн самостоятельно взаимодействует с экраном, экранирование менее эффективно. В этом случае сейсмобезопасные параметры БВР определяются методом безопасных расстояний путем варьирования типом и массой ВВ, направлением инициирования, конструкцией заряда и др.;

• при увеличении глубины экрана до 3-5-кратной высоты $h_э = 2H_у$ напряжения внутри среды за экраном на глубинах, равных $0{,}5h_э$,и конечной глубине экрана $h_э$ снижаются в 2 раза и более. Относительные напряжения в среде за экраном на расстоянии $L_э \leq h_э \leq 0{,}5h_э$ не превышают 0,6-0,75, что дает возможность располагать экран достаточно близко от охраняемых участков. Эффективно влияние экрана также при расположении источника взрыва на расстоянии $l_2 \geq 2\lambda_o$. В этом случае экранируются как продольные (первая группа разделившихся волн), так и поверхностные (вторая группа волн напряжений) волны; напряжения по поверхности среды за экраном на расстояниях $L_э = (3 \div 4)h_э$ снижаются в среднем на 60 %;

• экран сложной формы,в котором верхняя часть экрана представляет собой разрезную траншею глубиной $h_э = 2H_у$ и шириной по дну, равной $H_у$, а нижняя – взорванный слой горной массы толщиной $\sigma = 2$ м и глубиной $h_э = 4{,}5H_у$, при соотношении акустических жесткостей экрана и среды $\rho / \overline{C}_p = 0{,}3$ (здесь ρ – плотность пород; C_p – скорость распространения продольных волн), обусловливает наибольший эффект экранирования по сравнению с экраном глубиной $h_э = (2 \div 5)H_у$ (рис.1). Особенно сильно эффект экранирования сказывается при расположении источника взрыва перед экраном на расстояниях $l_1 \leq (0{,}5 \div 1{,}0)\lambda_o$, причем в наибольшей степени гасятся наиболее опасные объемные продольные волны. Область интенсивного экранирования как по поверхности, так и внутри среды на расстояниях за экраном $l_3 = (3 \div 4)h_э$ увеличивается, максимальная величина напряжений в среднем не превышает 20 % от напряжений при взрывании без экранирования;

• на изменение напряжений в среде за экраном наибольшее влияние оказывает уменьшение соотношения акустических жесткостей экрана и среды: уменьшение этого соотношения в 2 раза снижает относительные напряжения в 2 раза и более, т.е. чем меньше это соотношение, тем выше поглощающие свойства экрана. Увеличение толщины экранирующего слоя не приводит к существенному снижению напряжений за экраном, относительные напряжения снижаются на 15-20 %. В то же время одновременное снижение акустической жесткости экрана и увеличение его толщины обуславливают снижение относительных напряжений за экраном в 3,5 раза.

С учетом полученных результатов разработана методология определения допустимой скорости колебаний охраняемых участков в карьере под воздействием многократных взрывных воздействий, исходя из условия, что нарушения целостности и существенного снижения проч-

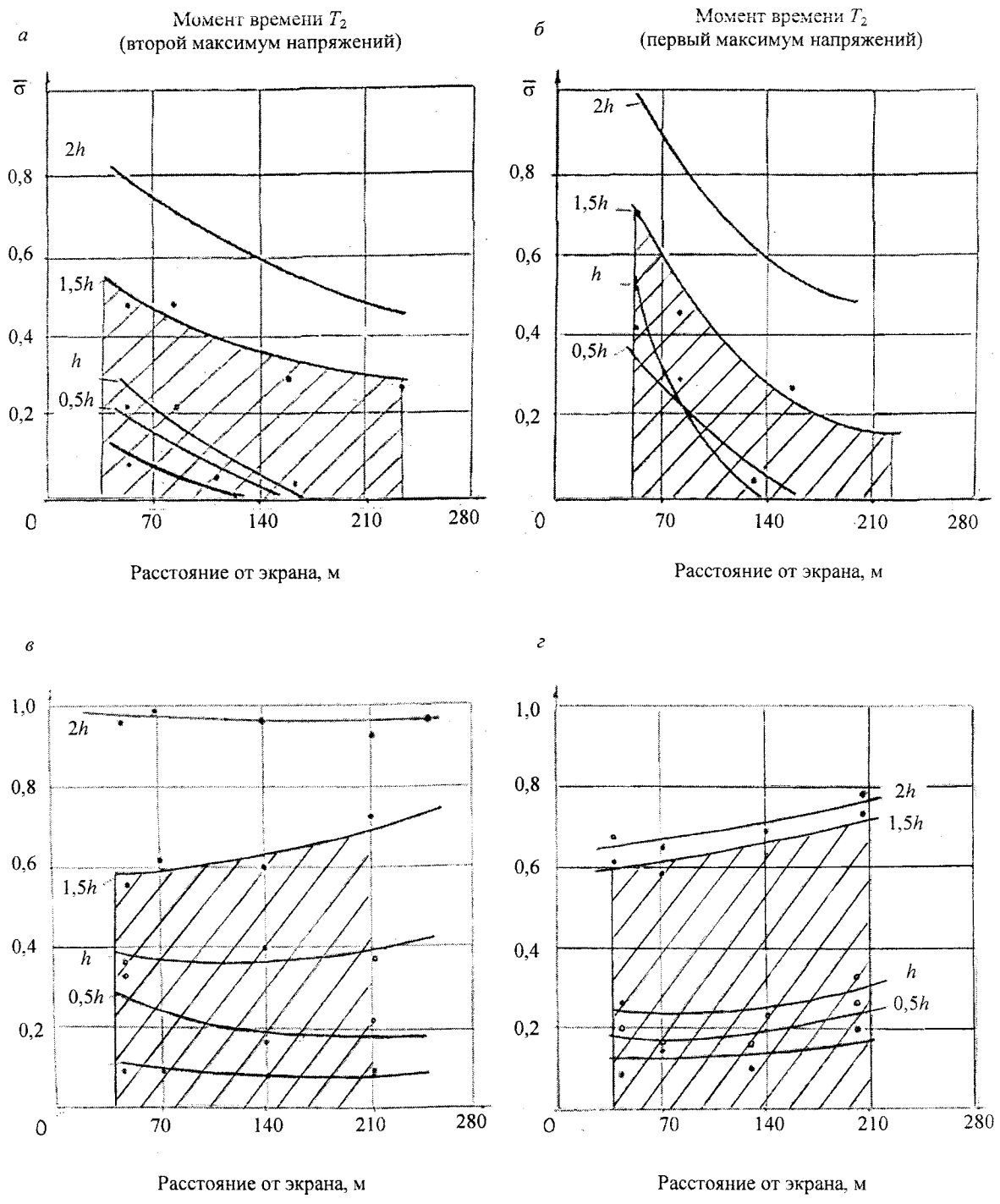


Рис.1. Изменение относительных напряжений σ при расположении источника взрыва перед экраном сложной формы высотой $h_э$ = 70 м на расстоянии $l_1 \le (0{,}5\text{-}1{,}0)\lambda_o$ (*а* и *б*) и $l_2 \ge 2\lambda_o$ (*в* и *г*)

ности массива при этом не происходит. На образцах пород совместно разрабатываемых полезных ископаемых изучались закономерности накапливания техногенной нарушенности и снижения прочностных характеристик под воздействием динамических взрывных нагрузок в следующей последовательности:

• определялись исходные физико-механические свойства пород как объекта воздействия взрывными работами при статических режимах нагружения;

• экспериментально оценивалась степень воздействия многократных динамических нагрузок, имитирующих на специальном стенде взрывное воздействие амплитуды нагружающего (сжимающего) импульса и длительности (скорости) его воздействия на прочностные свойства пород. В качестве специального стенда использовалась установка, работающая по принципу мерных стержней Гопкинсона, предложенного Г.Кольским;

• устанавливались аналитические зависимости, характеризующие закономерности влияния динамических взрывных нагрузок на прочностные свойства пород.

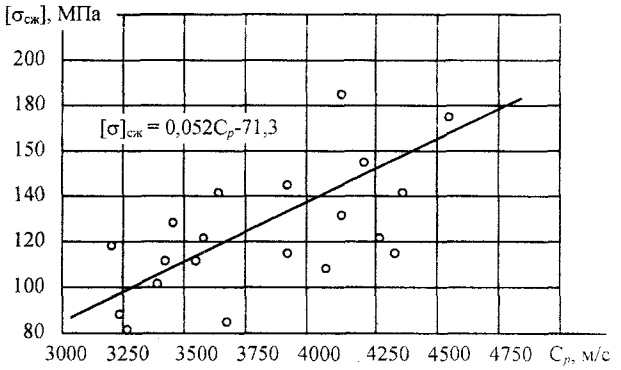


Рис.2. Корреляционная зависимость между скоростью продольной волны C_p и пределом прочности на одноосное сжатие $[\sigma]_{сж}$

По результатам испытаний образцов блочного камня выявлена корреляционная зависимость между скоростью распространения продольных волн и пределом прочности на сжатие (рис.2), позволяющая оценивать техногенную нарушенность пород при взрывных нагрузках.

Установлена зависимость – «кривая долговечности», характеризующая уровень разрушающего динамического воздействия и количество таких нагружений при различных значениях коэффициента динамичности $K_д$ – отношение динамической прочности пород к статической, т.е. $K_д = \sigma_д/\sigma_{сж}$. Минимальная величина динамического воздействия, при котором происходило разрушение образцов, $\sigma_д = 0{,}63\sigma_{сж}$.

Установлены также зависимости снижения прочности декоративных гранитов в зависимости от уровня динамической нагрузки и количества таких нагружений. Уровень динамической нагрузки, при которой образцы блочного камня не разрушаются при любом числе воздействий и при этом не теряют своей прочности, составил $0{,}35\sigma_{сж}$. С учетом этого допустимая скорость колебаний охраняемых участков в карьере не должна превышать $u_{доп} = 15$ см/с.

В условиях месторождения выполнены исследования параметров сейсмовзрывных волн опытно-промышленных взрывов, распространяющихся по массиву гранитов, расположенных в контурах единого карьера по добыче приоритетного рудного сырья. Установлены экспериментальные зависимости скорости колебаний пород гранитов от массы ВВ на одно замедление и расстояний от взрыва до охраняемых участков вдоль сейсмопрофилей по простиранию и вкрест простирания основных геологических структур. Установлены аналогичные зависимости (рис.3), характеризующие снижение скорости колебаний для следующих случаев:

• применения экранирующего слоя взорванной горной массы от взрыва одного и двух рядов сближенных (до 3 м в ряду и с расстоянием между рядами 4 м) скважинных зарядов диаметром 250 мм с повышенным на 20-30 % удельным расходом;

• устройства экранирующей щели, образованной взрыванием сближенных на 2,5 м скважинных зарядов шланговых ВВ с линейной плотностью заряжания 3 кг/м;

• совместного применения экранной щели и слоя взорванной горной массы удвоенной толщины.

По экспериментальным зависимостям и при $u_{доп} \leq 15$ см/с определены основные элементы щадящей технологии БВР: безопасные массы ВВ и расстояния от взрыва до охраняемых участков гранитов при взрывании без экранирования и с экранами различной конструкции (см. таблицу).

Безопасная масса ВВ на одно замедление без экранирования следующая:

Расстояние от центра взрыва до охраняемых участков, м	110	220	330	440	550	760	870	980	190	1100
Масса ВВ при взрывании, кг:										
по простиранию	7	55	118	443	884	1144	2229	3342	4486	6667
вкрест простирания	22	117	557	1136	2265	4459	7727	11090	11100	11460

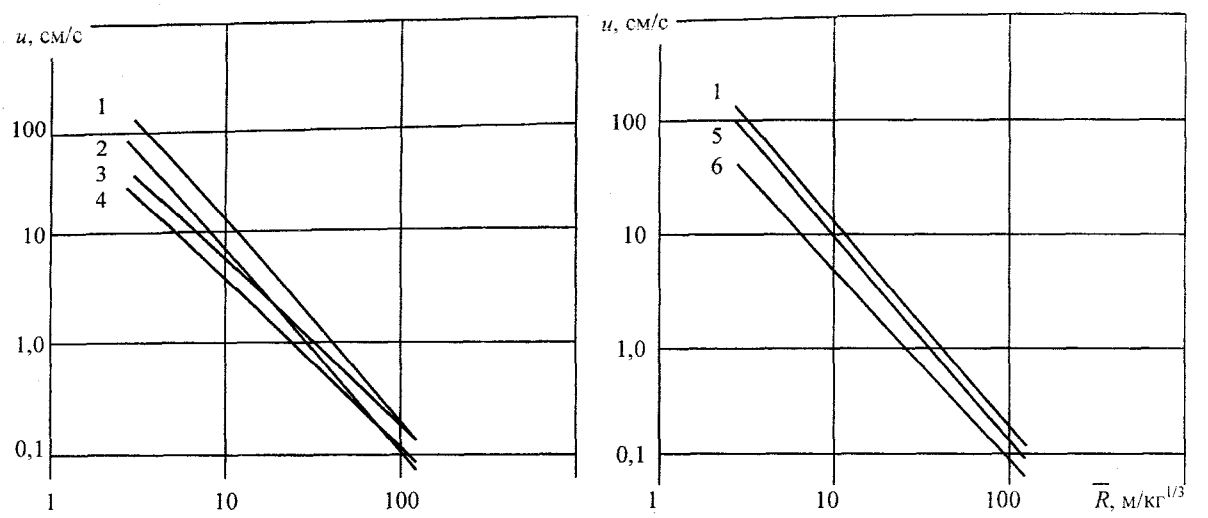


Рис.3. Зависимость скорости колебаний массива гранитов u от массы ВВ на замедления приведенных расстояний от взрыва до охраняемых участков
1 – по профилю простирания ($u = 850\overline{R}^{-1,78}$ см/с); 2 – по профилю вкрест простирания ($u = 570\overline{R}^{-1,38}$ см/с); 3 – через первый экранирующий слой ($u = 180\overline{R}^{-1,52}$ см/с); 4 – через удвоенный экранирующий слой ($u = 150\overline{R}^{-1,55}$ см/с); 5 – через щель ($u = 640\overline{R}^{-1,85}$ см/с); 6 – через щель и удвоенный экранирующий слой ($u = 190\overline{R}^{-1,65}$ см/с)

Безопасная масса ВВ на одно замедление при выполнении взрывов с экранами различной конструкции, кг

Конструкция экрана	Расстояние от центра взрыва до охраняемого объекта, м						
	110	220	330	440	550	660	770
Слой разрушенной горной массы:							
от одного ряда скважин	55	541	1138	3322	6630	11090	11100
от двух рядов скважин	77	555	1185	4439	8854	11470	11470
Экранирующая щель	11,5	112	442	998	1140	1191	3330
Слой разрушенной горной массы от двух рядов скважин с экранирующей щелью	77	660	1190	4445	8860	11500	11600

Сравнительный анализ данных показал, что безопасные расстояния при использовании экранирующего слоя взорванной породы в 2 раза меньше, чем при взрывах без экранирования. Безопасная для сохранности гранитов масса ВВ на замедление увеличивается в среднем в 7,5 раз при использовании взорванного слоя от одного ряда скважинных зарядов и в 10 раз – от двух рядов зарядов. Вклад второго ряда в эффект экранирующего слоя составил 30 %, а вклад первого ряда 70 %.

При использовании в качестве экранирующих преград природных геологических структур в виде геологических разломов, литологических разностей и структур величина опасной зоны действия взрыва для участков гранитов уменьшается в 1,4 раза, а величина безопасной массы ВВ на одно замедление возрастает в среднем в 3 раза.

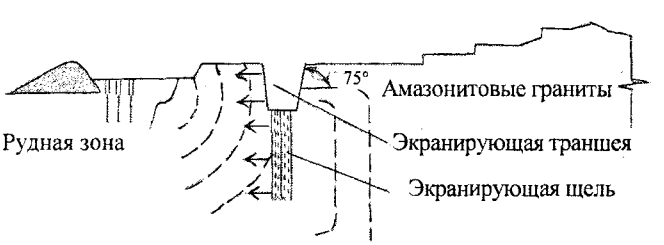


Рис.4. Технологическая схема размещения экранов при совместной разработке рудного сырья и гранитов

Наиболее рациональным и эффективным экраном является экранная зона, т.е. взорванный слой горной мас-

сы от одного ряда скважинных зарядов и щели. В этом случае увеличивается надежность экранирующего эффекта в той части, что отсекается распространением заколов в направлении охраняемых участков блочного камня.

С учетом результатов выполненных исследований разработана технологическая схема размещения экранов и совместной отработки основного рудного сырья и гранитов в контурах единого карьера (рис.4).