УДК 622.235

М.С.ШАЛАЕВ, Г.П.ПАРАМОНОВ
Санкт-Петербургский государственный горный институт (*технический университет*), *Россия*

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРА ПРИ КОНТУРНОМ ВЗРЫВАНИИ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕЛЕОБРАЗНЫХ ВВ

Повышение устойчивости бортов карьера при постановке их в конечное положение является одной из важнейших проблем при разработке глубоких карьеров. Как известно, для обеспечения сохранности законтурного массива применяют один из самых распространенных методов контурного взрывания – метод предварительного щелеобразования. Для качественного формирования экранирующей щели предлагается использовать гелевые ВВ гельпор ГП-2У на примере Костомукшинского ГОКа. Выполнен расчет основных параметров контурного взрывания с учетом применения этого ВВ и приведена сравнительная оценка результатов расчета с экспериментальными данными, используемыми на карьере при ведении контурного взрывания.

In exploitation of deep open-pit one of the main problems is increasing stability pit wall during making it in final position. As is generally known, to provide over contour massive in safety is used one of widespread blasting method – the pre-split blasting. In given work is proposed to use gel explosive Gelpor GP-2У to make a quality reflection crack for Kostomuksha ore open pit geological structure. Were made a calculation of basic parameters in pre-blasting method with using gel explosive Gelpor GP-2У and given estimation of calculation result with experimental data, using on Kostomuksha ore open pi in pre-split blasting.

При разработке глубоких карьеров одной из проблем является обеспечение устойчивости бортов при постановке их в конечное положение. Важнейшим фактором, влияющим на устойчивость бортов в скальных породах, является степень нарушенности массива в результате динамического воздействия взрыва. Для локализации этого воздействия на карьерах всего мира большое распространение получил один из разновидностей контурного взрывания – метод предварительного щелеобразования, применение которого позволяет в соответствующих горно-геологических условиях увеличить углы наклона уступов на 5-10°, а бортов – на 4-8°. Сущность этого метода – создание экранирующей щели, отсекающей взрываемый массив от охраняемой поверхности путем расположения сближенных оконтуривающих скважин по проектному контуру и взрывании в них зарядов ВВ специальных конструкций.

Среди возможных изменений параметров зарядов применительно к контурному взрыванию можно выделить два направления:

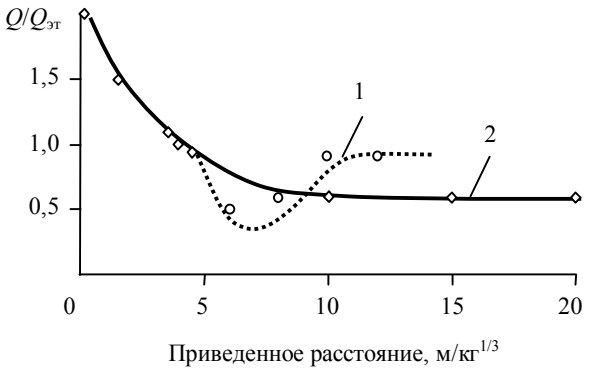
1) уменьшение общего действия импульса взрыва;

2) уменьшение разрушающего действия импульса взрыва путем перераспределения энергии между бризантной и фугасной формами работы взрыва.

Первое направление реализуется за счет применения при контурном взрывании скважин меньшего диаметра и более слабого ВВ при сохранении обычной конструкции колонкового заряда [5, 8].

Второе направление базируется на использовании зарядов различных конструкций: заряды с воздушными радиальными зазорами, рассредоточенные заряды, колонковые заряды уменьшенного диаметра [2, 7].

В данной работе рассматривается применение гелевого взрывчатого вещества типа гельпор ГП-2У для контурного взрыва-



Характер изменения относительной работоспособности гельпора с расстоянием
1 – ГУВ; 2 – ВУВ

ния, а именно при предварительном щелеобразовании для условий Костомукшского ГОКа, а также приводится сравнение расчетных данных контурного взрывания с экспериментальными, полученных на карьерах данного ГОКа.

Гельпор ГП-2У представляет собой композицию из зерненных пироксилиновых порохов, гелеобразного раствора окислителей и гранулированной аммиачной селитры. Рецептура новых типов гелевых ВВ разработана в Российском химико-технологическом университете им. Д.И.Менделеева под руководством В.Э.Анникова (Вещества взрывчатые промышленные «Гельпор ГП-2У» – ТУ 7276-003-02066492-00). Отличительной чертой такого ВВ является высокая работоспособность (в 2 раза больше, чем у тротилсодержащих ВВ) (см. рисунок). В начале детонации гельпор ГП-2У ведет себя как обычное высокобризантное ВВ, затем работоспособность его резко снижается (тем самым локализует пиковое действие динамического нагружения вглубь массива), а затем набирает эталонную работоспособность (стадия дораскрытия экранирующей щели).

Данные зависимости (см. рисунок) получены на основе совместного анализа результатов измерений параметров местного действия: гидроударной волны (ГУВ), воздушной ударной волны (ВУВ) и результатов разделки негабарита. Результаты исследований специфических взрывчатых характеристик зарядов гелевых ПВВ изложены в работах [1, 3, 10].

Гельпор ГП-2У выпускается в патронах диаметром 90-200 мм, массой 2,5-21 кг. Следует отметить, что кислородный баланс данных ВВ около 0 %, что, как известно, означает максимальное энерговыделение и минимальное образование ядовитых газообразных продуктов взрыва. Это позволяет снизить уровень отрицательного воздействия взрыва на окружающую среду. Приведем основные взрывчатые характеристики гельпора ГП-2У:

Кислородный баланс, %	–0,5
Объемная энергия взрыва, МДж/л	5,68
Удельный объем ядовитых газов, л/кг	10-16
Скорость детонации, м/с	4900
Плотность заряжания, кг/м^3	1480
Теплота взрыва, МДж/кг	3,79
Критический диаметр детонации, мм	14-16
Инициирование	ЭД-8(КД-8), нонель, СИНВ, эделин ДШ-12

При контурном взрывании ($H_{уст}$ = 15 м) экспериментальным путем на Костомукшском ГОКе в зависимости от физико-механических свойств массива получены следующие параметры:

Крепость пород, f	6-9	10-12	13-16	17-20	6-9	10-12	13-16	17-20	6-9	10-12	13-16	17-20
Диаметр скважины, мм	102	102	102	102	127	127	127	127	250	250	250	250
Расстояние между скважинами, м	2,5	2,5	2,0	2,0	3,0	3,0	2,5	2,5	3,5	3,5	3,0	3,0
Линейная масса заряда, кг/м	0,8	1,0	1,2	1,4	1,2	1,5	2,0	2,0	2,2	2,5	3,2	3,8
Глубина скважины, м	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0
Длина заряда, м	13,0	13,0	14,0	14,0	13,0	13,0	14,0	14,0	13,0	13,0	14,0	14,0
Длина забойки, м	5,0	5,0	4,0	4,0	5,0	5,0	4,0	4,0	5,0	5,0	4,0	4,0
Общий вес заряда, кг	10,4	13,0	16,8	19,6	15,6	19,5	28,0	33,6	28,6	42,5	44,8	53,2

В качестве ВВ при контурном взрывании на карьере используется эмульсионное ВВ сибирит 1000 и патроны аммонита № 6 ЖВ.

Для расчета параметров контурного взрывания воспользуемся методикой [4], которая наиболее полно учитывает физико-механические свойства массива при нагружении его волнами сжатия. Другие работы [6] для расчета параметров контурного взрывания дают лишь приближенную картину взрывного нагружения массива, не учитывая ряд важных факторов, например, преобладающую систему трещин в массиве, конструкцию заряда ВВ.

Физико-механические свойства массива, слагающие породы Костомукшского ГОКа, следующие:

Крепость пород по шкале М.М. Протодьяконова	15
Категория трещиноватости	III
Скорость распространения упругих волн в массиве, м/с	5300
Прочность пород на сжатие, МПа	150
Средняя ширина раскрытия трещин, мм	6
Высота уступа, м	15
Глубина скважин рыхления, м	18
Плотность породы, т/м^3	3,4
Плотность ВВ (сибирит 1000)	1,25
Модуль Юнга, ГПа	52
Коэффициент изоэнтропы	1,8
Тип породы	Кварциты
Расстояние между трещинами, м	0,8
Угол наклона трещин (относительно вертикали), град.	0
Угол наклона трещин (относительно горизонтали), град.	80
Размер естественной отдельности в массиве, м	1
Коэффициент Пуассона	0,3
Диаметр скважин рыхления, мм	250

Расчет основных параметров контурного взрывания при применении ВВ типа гельпор ГП-2У для условий Костомукшского ГОКа проведем следующим образом:

• Максимально допустимый диаметр контурной скважины рассчитывается по формуле

$$d_{\text{c}} < \frac{6{,}5\sqrt[4]{d_{\text{e}}}\,h_{\text{í}}^{3/4}}{k_{\text{ã}}k_h k_{\text{á}}k_{\text{í.ò}}} = \frac{6{,}5\cdot\sqrt[4]{1}\cdot 0{,}2^{3/4}}{1{,}53\cdot 0{,}8\cdot 1\cdot 0{,}85} = 0{,}286\ \text{ì},$$

где $k_{\text{ã}}$ – коэффициент, характеризующий физико-механические свойства породы, $k_{\text{ã}} = 10$; k_h – поправка на заданную ширину раскрытия контурной щели, $k_h = 0{,}8$; $k_{\text{á}}$ – поправка на ширину взрываемого предконтурного блока, $k_{\text{á}} = 1$; $k_{\text{í.ò}}$ – поправка на направление основной системы естественной трещиноватости относительно плоскости контурной щели, $k_{\text{í.ò}} = 0{,}85$; d_{e} – размер естественной отдельности в массиве, $d_{\text{e}} = 1$ м; $h_{\text{í}}$ – средний размер неровности, $h_{\text{í}} = 0{,}2$ м (III категория массива по трещиноватости).

С учетом естественной системы трещин рассматриваемого массива угол наклона контурных скважин принимается равным 90 град.

• Конструкция заряда: скважины диаметром 250 мм заряжаются патронами ГП-2У, диаметр 150 мм. Заряд формируется в виде гирлянды патронов, соединенных ДШ. При заряжании патроны массой 18 кг опускаются в обводненную скважину. При высокой плотности 1,486 т/м^3 патроны ГП-2У достаточно быстро потопляются в воде даже в зимнее время. Инициирование двухстороннее – от двух шашек Т-400Г.

• Глубина контурных скважин

$$L_{\text{ñêâ}} = \bar{L}_{\text{c}} + \frac{\bar{h}\,d_{\text{p}}}{\sin y_0} = 16{,}5 + \frac{6{,}7\cdot 0{,}25}{\sin 90^\circ} \approx 18\ \text{ì},$$

где $\bar{L}_{\text{ñ}}$ – глубина скважин рыхления, м; $\bar{h}$ – мощность зоны трещинообразования, получаем исходя из класса пород по сопротивляемости трещинообразованию (Ia) и категории массива по трещиноватости (III), а также при ширине раскрытия щели ($\Delta = 5$ мм), $\bar{h} = 6{,}7$ м; d_{p} – диаметр зарядов рыхления, $d_{\text{p}} = 0{,}25$ м; y_0 – угол наклона контурных скважин, $y_0 = 90°$.

• Линейная масса контурных зарядов рассчитывается по формулам для принятого диаметра контурных скважин, буримых на карьере с учетом взрывных свойств гельпора ГП-2У:

$$P_{\hat{e}} = \frac{\pi}{4}\left[\frac{2(\eta_{\hat{A}\hat{A}}+1)}{D_{\ddot{a}}^{\,2}}\right]\rho_{\hat{A}\hat{A}}^{\,1/3}\left(\frac{\sigma_{\tilde{n}\ae}}{k_{\ddot{i}.\ddot{a}}\,k_{\grave{o}.\hat{i}}}\right)^{2/3} d_{\tilde{n}}^{2} =$$

$$= 1{,}46 \text{ кг/м},$$

где $\eta_{\hat{A}\hat{A}}$ – показатель политропы ВВ, $\eta_{\hat{A}\hat{A}} = 1{,}8$; $D_{\ddot{a}}$ – скорость детонации ВВ, $D_{\ddot{a}} = 4900$ м/с; $\rho_{\hat{A}\hat{A}}$ – плотность заряжания ВВ, $\rho_{\hat{A}\hat{A}} = 1{,}48$ т/м^3; $\sigma_{\tilde{n}\ae}$ – предел прочности на одноосное сжатие, $\sigma_{\tilde{n}\ae} = 150$ МПа; $k_{\ddot{i}.\ddot{a}}$ – коэффициент преломления давления в породу, с учетом категории пород к сопротивлению трещинообразования, $k_{\ddot{i}.\ddot{a}} = 2{,}0$; $d_{\tilde{n}}$ – диаметры контурной скважины; $k_{\grave{o}.\hat{i}}$ – коэффициент трещинного ослабления, $k_{\grave{o}.\hat{i}} = 2{,}0$.

• Длина забойки для наших условий

$$l_{\c{c}\grave{a}\acute{a}} = 0{,}3\bar{h}\sqrt{P_{\hat{e}}} = 0{,}3 \cdot 6{,}7 \cdot \sqrt{P_{\hat{e}}} = 2{,}5 \text{ м}.$$

Для расчета расстояния между контурными зарядами воспользуемся формулами Б.Н. Кутузова [9]:

$$a = 22 d_{\c{c}} k_{\c{c}} k_{y} d_{\c{c}\grave{a}\eth} = 3 \text{ м},$$

где $k_{\c{c}}$ – коэффициент зажима при контурной отбойке, $k_{\c{c}} = 1$; $k_{\acute{o}}$ – коэффициент геологических условий при угле откола 90°, $k_{\acute{o}} = 0{,}9$; $d_{\c{c}\grave{a}\eth}$ – диаметр заряда, $d_{\c{c}\grave{a}\eth} = 0{,}150$ м.

Приведем расчетные и экспериментальные данные для контурного взрывания для условий Костомукшского ГОКа:

Показатели	Расчеты	Эксперимент
Крепость пород, *f*	13-16	13-16
Диаметр скважины, мм	250	250
Расстояние между рядами, м	3,0	3,0
Линейная масса заряда, кг/м	1,46	3,2
Длина скважины, м	18	18
Длина заряда, м	15,5	14,0
Длина забойки, м	2,5	4,0
Масса заряда, кг	22,63	44,8

Таким образом, сравнение полученных результатов расчета с экспериментальными данными свидетельствует о том, что при одинаковых параметрах контурного взрывания линейная масса заряда ВВ гельпор ГП-2У намного меньше. Это позволяет сделать вывод о том, что динамическое воздействие на массив будет значительно меньше, и как следствие, приведет к повышению устойчивости бортов карьера. Кроме того, стоимость ВВ гельпор ГП-2У эквивалентна стоимости штатных тротиловых ВВ, поэтому экономический эффект от внедрения такого ВВ очевиден.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Азоркович А.Е.* Взрывные работы вблизи охраняемых объектов / А.Е.Азоркович, М.И.Шуйфер, А.П.Тихомиров. М.: Недра, 1984. 213 с.

2. *Боровиков В.А.* Влияние воздушного кольцевого зазора между зарядами и стенкой шпура на волну напряжений // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. Новосибирск, 1975. № 5. С.31-32.

3. *Бротанек И.* Контурное взрывание в горном деле и строительстве: Пер. с чеш. / И.Бротанек, Й.Вода / Под ред. Б.Н. Кутузова. М.: Недра, 1983. 144 с.

4. *Бригадин И.В.* Гельпор – мечта горняка?! Некоторые результаты испытаний: Сборник труд. 4-й Междунар. науч. конфер. «Физические проблемы разрушения горных пород» / ИПКОН РАН. М., 2005. С.391-394.

5. *Густафссон Р.* Шведская техника взрывных работ / Под. ред. Г.П.Демидюка. М.: Недра, 1977. 264 с.

6. *Дорошенко С.И.* Некоторые особенности параметров подводных взрывов ПВМ на гелевой основе: Сборник труд. 4-й Междунар. науч. конфер. «Физические проблемы разрушения горных пород» / ИПКОН РАН. М., 2005. С.394-397.

7. *Мельников Н.В.* Заряды с воздушными полостями при взрывах на выброс / Н.В.Мельников, Л.Н.Марченко // Взрывное дело. 1972. № 71/28. С.5-16.

8. Особенности производства буровзрывных работ в условиях глубоких карьеров / В.А.Фокин, И.В.Мелик-Гайказов, Г.Е.Тарасов и др. // Взрывное дело. 2006. № 96/53. С.42-48.

9. Проектирование взрывных работ в промышленности / Э.Б.Башкуев, А.М.Бейсебаев, В.Ф.Богацкий и др. М.: Недра, 1983. 359 с.

10. *Яшкин А.З.* Контурное взрывание в горном деле и перспективы применения его на горно-разведочных работах. М.: Недра, 1989. 43 с.