

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДРОБЛЕНИЯ НЕГАБАРИТНЫХ КУСКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШТАТНОЙ И КОНВЕРСИОННОЙ ВЗРЫВНОЙ ТЕХНИКИ

В практике отбойки горных пород скважинными и шпуровыми зарядами образуются негабаритные куски горной массы, выход которых обусловлен: физико-механическими свойствами горных пород, блочностью массивов слагаемых горных пород, параметрами буровзрывных работ и другими факторами [7, 9]. Наличие негабаритных кусков горных пород на рабочих площадках карьеров усложняет технологические процессы экскавации и транспорта, снижает эффективность действия погрузочно-транспортного оборудования. На подземных горных работах дробление негабаритных кусков горной массы производится на скреперных дорожках, в дучках и рудоспусках, при производстве работ в которых наиболее сложными являются случаи заклинивания и сводообразования [4].

Распространенным способом дробления негабаритных кусков является взрывание шпуровыми (в том числе гидровзрывание), наружными (с породной или водяной оболочной) и кумулятивными зарядами. На основе рекомендуемых значений удельных расходов ВВ на дробление негабаритных кусков, полученных из практических данных [1], нами произведен расчет расхода энергии на дробление негабаритных кусков при различных способах взрывания, где в качестве эталонного ВВ принят тротил (табл.1).

Таблица 1

Затраты энергии на дробление негабаритных кусков, кДж/м<sup>3</sup>

Порода (крепость породы)	Способ взрывания			
	Гидровзрывание	Шпуровыми зарядами	Кумулятивными зарядами	Накладными зарядами
Песчаники (3-5)	35-70	70-180	700-3600	3700-11000
Доломиты (5-8)	55-180	145-360	1400-4300	7500-14500
Известняки (8-10)	70-290	180-540	18000-5500	11000-22000
Граниты (10-12)	110-360	220-720	3600-9000	14500-25500
Кварциты (12-14)	180-540	360-900	7300-11000	18000-36500

Представленные данные показывают, что удельные затраты энергии на вторичное дробление негабаритных кусков изменяются в широком диапазоне. Соотношение энергоемкостей разрушения при различных способах взрывания определяется в первом приближении коэффициентом использования энергии взрыва на полезные формы работы.

В работе [6] предложена эмпирическая зависимость удельной энергоемкости дробления горных пород взрывом:

$$A_y = \frac{0,12\sigma_{сж}^2 K_d^2 \lg n}{2Ej},$$

где  $A_y$  – удельная энергоемкость дробления горных пород взрывом;  $\sigma_{сж}$  – предел прочности пород на сжатие;  $E$  – модуль упругости;  $K_d$  – коэффициент динамичности;  $n$  – степень дробления горных пород;  $j$  – коэффициент полезного использования энергии взрыва.

На основании приведенной формулы построены графики зависимости удельной энергоемкости дробления взрывом от линейного размера куска для известняков разреза Ангренский, известняков карьера Гурьевского рудоуправления и диабазы карьера «Каменный карьер». Анализ показывает, что при осуществлении перечисленных выше способов дробления коэффици-

ент использования энергии взрыва на полезные формы работы различен. Данные табл.1 хорошо согласуются со значениями, полученными по указанной зависимости только для гидровзрывания, для взрывания шпуровыми, кумулятивными и накладными зарядами они различаются в 10, 25-30 и 40-70 раз соответственно.

Помимо энергетических оценок эффективности дробления негабаритных кусков следует учитывать технологические факторы: при шпуровом способе дробления – трудоемкость доставки бурового оборудования к месту производства работ и затраты времени на бурение, при ликвидации зависаний в рудоспусках – необходимость доставки зарядов непосредственно на место образования зависания, что увеличивает трудоемкость ликвидации зависания во много раз.

На наш взгляд, наиболее оптимальным, с точки зрения затрат энергии и технологичности выполнения операций, является использование кумулятивных зарядов. Кумулятивные заряды имеют разнообразное конструктивное исполнение (с конической, полусферической или биконической кумулятивной выемками), соответственно различна эффективность их применения. Зарубежные фирмы выпускают более сложные конструкции кумулятивных зарядов, имеющих или две конические выемки: Плюраджет [11] или кумулятивный заряд, объединенный с электродетонатором [2].

Эффективность действия кумулятивного заряда с облицовкой зависит от используемого материала, толщины и массы облицовки [11] (табл.2).

Таблица 2

Глубина пробития, мм

Материал облицовки	Толщина облицовки, мм				
	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1
Сталь листовая холодного проката марки 08КП	75	140	110	85	
Медь листовая	-	-	90	155	122
Серый чугун	90	127	134	122	-

Увеличение эффективности действия кумулятивных зарядов достигается установкой на их торцевой поверхности металлической пластины, которая метается с высокой скоростью продуктами детонации. В этом случае мы имеем воздействие на разрушаемый объект нескольких факторов: кумулятивной струи, высокоскоростного удара металлической пластины и продуктов детонации [3].

Для повышения эффективности работ при дроблении негабаритных кусков горных пород в труднодоступных местах (рудоспусках, дучках, при ликвидации нависаний в карьерах) нашли применение динамореактивные системы (ДРС), способные доставить кумулятивный или фугасный заряд непосредственно к месту зависания (табл.3). К недостаткам данных изделий следует отнести сложность конструкции (наличие порохов маршевого двигателя, сложных инерционных систем взведения и самоликвидации зарядов, направляющих стволов) и недостаточную эффективность действия кумулятивного заряда для разрушения негабаритных кусков большого объема.

Дальнейшим направлением совершенствования кумулятивных зарядов, объединяющих преимущества обычного кумулятивного заряда и системы ДРС, явилось создание зарядов взрывного бурения (ЗВБ) и зарядов дистанционного действия (ЗДД) [5, 8,10].

Заряд ЗВБ диаметром от 50 до 300 мм и массой от 0,5 до 20 кг представляет собой цилиндрическое тело, на одной из торцевых поверхностей которого установлена толстостенная стальная или чугунная облицовка в форме шарового сегмента или конуса. Облицовка не профилированная, толщиной 2-10 мм, ее масса составляет 20-33 % от массы заряда.

При отработке конструкции зарядов ЗДД внимание было сосредоточено на подборе материала и конструктивных параметров облицовки. В процессе исследований установлено, что в качестве заменителя медной облицовки с успехом может использоваться облицовка из Ст.3. В качестве основного критерия эффективности облицовки принята ее сохранность в полете. По этому показателю наилучшими характеристиками обладают отожженные стальные облицовки.

В качестве взрывчатого вещества для изготовления этих зарядов использовался конверсионный состав ТГА, получаемый при раснаряжении реактивных глубинных бомб [10].

Таблица 3

**Характеристики зарядов для дробления негабаритных кусков пород**

Устройство для разрушения негабаритных кусков и ликвидации завесаний	Энергия рабочего тела, кДж	Оптимальный объем разрушаемого объекта или размеры образуемой полости, м <sup>3</sup> или см	Размеры устройства	
			Габариты, см	Масса заряда, кг
Заряды, устанавливаемые на объекте				
ЗКП- 200	730	0,35-0,8	106 x 58	0,245
ЗКН-1000	3640	1,3-4,0	—	1,0
ЗКП-1000	3640	1,3-4,0	—	1,0
ЗКНКЗ-400	1460	—	—	0,4
ЗКНКЗ-2000	7300	—	—	2,0
ЗКНКЗ-4000	14600	—	—	4,0
Плюраджет (США)	860	0,3-0,65	—	0,215
Заряды, метаемые к объекту				
ДРС -130 (К)	7300	1,4-3,2	Калибр 132, длина 680	1,4
ДРС- 260 (К)	60100	7-20	Калибр 263, длина 990	11,5
ДРС-160(Ф)	17200	2-4,5	Калибр 62, длина 750	3,3
ДРС-260 (Ф)	63050	7-18	Калибр 263, длина 990	12,1
ЗВБ-60	2060/567	400 x 25	60 x 60	0,6
ЗВБ-120	8710/3372	700 x 45	120 x 120	2,6
ЗВБ-180	22170/6730	1300 x 65	180 x 180	7,1
ЗВБ-240	36432/11404	1500 x 75	240 x 240	12,8
ЗВБ-300	57420/17704	1700 x 80	300 x 300	19,2

*Примечание.* В числителе – энергия заряда ВВ; в знаменателе – кинетическая энергия заряда.

Расчетные начальные скорости метания оболочки зарядами различной массы следующие, м/с: ЗВБ-60Ст – 3550; ЗВБ-120Ст – 3630; ЗВБ-180Ст – 3000; ЗВБ-240Ст – 2590; ЗВБ-300Ст – 2870. Исследованиями установлено, что на расстоянии 100 м от места взрыва скорость метаемой оболочки уменьшается на 30 %.

Разработанные заряды прошли испытания в производственных условиях и показали высокую эффективность. Заряды ЗВБ-60 использовались при ликвидации аварии в чугунолитейном производстве ВАЗ. После аварийного сброса расплава чугуна в приямок раздаточной печи там образовалась монолитная смесь чугуна со шлаком и другими инородными включениями. Для удаления этой смеси необходимо было раздробить ее взрывом шпуровых зарядов. Однако бурение шпуров традиционными методами оказалось неэффективным, так как в приграничном слое алмазный и твердосплавный инструмент ломался, а кислородному копыю мешал шлак. В этих условиях указанными зарядами без остановки основного производства было пробурено около 150 шпуров диаметром 30 мм и глубиной 300-400 мм. Взрывом было раздроблено около 200 т материала.

Заряды ЗВБ-120, ЗВБ-180, ЗВБ-300, ЗВБ-500 использовались при ликвидации навесей и дроблении негабарита в карьере, а также при обрушении завесания в рудоспуске подземного рудника ОАО «Учалинский ГОК». При ликвидации навесей было получено обрушение 12-15 м<sup>3</sup> горных пород при срабатывании изделий с расстояния 150 м, в карьере произведено дробление кусков объемом от 2 до 5 м<sup>3</sup>, а в подземном руднике получено частичное обрушение завесания.

Заряды ЗДД использовались при дистанционном воздействии на объекты, при формировании откосов горных дорог, ликвидации заколов горных пород и обрушении неустойчивых или сильно трещиноватых массивов горных пород, которые могут обрушиться на полотно до-

роги. При этом заряды ЗДД устанавливались в удобном месте на расстоянии до 100 м от разрушаемого объекта метаемой облицовкой в сторону массива. Отклонение от точки прицеливания на расстоянии 100 м не превышает 1 м. Заряды ЗДД в производственных условиях испытаны при строительстве дороги на трассе Куляб – Хорог в республике Таджикистан и показали высокую эффективность.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов Е.Г. Взрывные работы на подземных рудниках / Е.Г.Баранов, О.Н.Оберемок. М.: Недра, 1992.
2. Барон В.Л. Техника и технология взрывных работ в США / В.Л.Барон, В.Х.Кантор. М.: Недра, 1989.
3. Баум Ф.А. Физика взрыва / Ф.А.Баум, Л.П.Орленко, К.П.Станкокович и др. М.: Наука, 1975.
4. Безопасность взрывных работ в промышленности / Под ред. Б.Н.Кутузова. М.: Недра, 1992.
5. Желунецкий Ю.П. Конверсионное использование принципа «ударного ядра». Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов / Ю.П.Желунецкий, В.В.Калашников, А.В.Иванов, С.В.Драчев // Труды II Всероссийской науч.-техн. конф. / ЦНИИИТИКПК. М., 1997.
6. Кулагин Р.А. Сравнение энергоемкости при взрывном и высокоэнергетическом ударном дроблении негабарита: Сб. докладов // IV Международная конференция по буровзрывным работам. М., 1999.
7. Медведев Н.Ф. Ликвидация завесаний и вторичное дробление руды / Н.Ф.Медведев, А.В.Абрамов, А.П.Нефедов. М.: Недра, 1975.
8. Сагидуллин Г.Г. Образование скважин в горных породах высокой категории крепости зарядами направленного действия / Г.Г.Сагидуллин, В.М.Клевлеев, А.В.Макаров, Г.М.Щеткин, А.В.Иванов, С.В.Драчев // Взрывчатое бурение и рыхление: Сб. науч. трудов / ВНИИСТ. М., 1990.
9. Суханов А.Ф. Разрушение горных пород взрывом / А.Ф.Суханов, Б.Н.Кутузов. М.: Недра, 1983.
10. Щукин Ю.Г. Промышленные взрывчатые вещества на основе утилизированных боеприпасов / Ю.Г.Щукин, Б.Н.Кутузов, Б.В.Мацеевич, Ю.А.Татищев. М.: Недра, 1998.
11. Щукин Ю.Г. Интенсификация отбойки и выпуска завесней руды / Ю.Г.Щукин, А.В.Софронов. М.: Недра, 1981.