

УДК 622.235

**М.Г. Менжулин, А.Ю. Казьмина, П.И. Афанасьев**

## **РАЗРАБОТКА МЕР ПО СНИЖЕНИЮ ВЫХОДА МЕЛКИХ ФРАКЦИЙ И НЕГАБАРИТОВ ПРИ ВЗРЫВНОМ РАЗРУШЕНИИ ГОРНЫХ ПОРОД**

*Существующие в настоящее время проекты буровзрывных работ основаны на эмпирических методах 30-40-летней давности. Они не учитывают характеристики современных ВВ, методов расчета диссипации энергии при распространении волн напряжений и физически обоснованных расчетах параметров буровзрывных работ. В результате значительная часть ресурсов уходит в отсев и негабарит. Поэтому необходимо создать новые ресурсосберегающие технологии взрывного разрушения горных пород.*

*Ключевые слова: негабарит, энергия диссипации, детонационные параметры, энергетическая эффективность.*

**П**роблема рационального дробления полезных ископаемых не является новой и решается многими исследователями десятки лет. К приоритетным направлениям следует отнести выбор рациональной конструкции скважинных зарядов ВВ (таких как рассредоточенный заряд или комбинированный заряд), использование низкобризантных ВВ, схем взрывания и т.д. И, тем не менее, проблема выхода мелких фракций и негабаритов остаётся важной и сегодня хотя бы потому, что меняются условия взрывания: увеличивается глубина карьеров и, соответственно, возрастает объём добычи крепких и обводнённых пород. Обводнённость пород не позволяет использовать низкобризантные ВВ типа игданит и отдельные конструкции скважинных зарядов, например с воздушными промежутками[3].

На открытых горных работах подготовка полезного ископаемого к выемке заключается в разрушении массива. Разрушение массива обычно осуществляется буровзрывным способом. К основному методу ведения

взрывных работ на карьерах следует отнести метод вертикальных скважинных зарядов.

К основным параметрам метода вертикальных скважинных зарядов относят удельный расход ВВ, сетку скважин, линию наименьшего сопротивления и тип ВВ.

Для учета реальных факторов, связанных со взрывом, на основе эталонного удельного расхода ВВ устанавливают проектный удельный расход ВВ:

$$q_{\Pi} = q_{\text{Э}} \cdot k_{\text{ВВ}} \cdot k_{\text{Д}} \cdot k_{\text{С.З}} \cdot k_{\text{V}} \cdot k_{\text{С.П}} \cdot K_{\text{ТР}},$$

где  $k_{\text{ВВ}}$  — переводной коэффициент от аммонита №6 ЖВ к практически используемому ВВ;  $k_{\text{Д}}$  — коэффициент, учитывающий требуемую в данных условиях степень дробления;  $k_{\text{С.З}}$  — коэффициент, учитывающий фактически принимаемую степень сосредоточения зарядов ВВ, то есть форму заряда в массиве, отличную от принятой при определении  $q_{\text{Э}}$ ;  $k_{\text{V}}$  — коэффициент, учитывающий влияние объёма взрывающей массы на проектный расход ВВ;  $k_{\text{С.П}}$  — коэффици-

ент, учитывающий число свободных поверхностей взрываваемой части массива;  $K_{тр}$  — коэффициент трещиноватости.

В основу расчётных методик принимается формула по определению удельного расхода, предложенная в МГИ проф. Б.Н. Кузузовым[4]. Данная методика расчёта основана на фундаментальных работах академика РАН В.В. Ржевского:

$$q = 0,13 \cdot \sqrt[4]{f} \cdot (0,6 + 3,3 \cdot 10^{-3} \cdot d_3 \cdot d_0) \times \left(\frac{0,5}{d_K}\right)^{2/5} \cdot e_{BB} \cdot \rho_{\Pi},$$

где  $\rho_{\Pi}$  — плотность породы, кг/см<sup>3</sup>;  $e_{BB}$  — коэффициент работоспособности ВВ;  $f$  — коэффициент крепости породы по проф. М.М. Протождяконову;  $d_3$  — диаметр заряда, м;  $d_0$  — средний размер отдельности во взрываемом массиве по МКВД, м;  $d_K$  — предельный кондиционный размер куска, м;

Определение ЛНС осуществляется с помощью различных формул:

1) Формула С.А. Давыдова — для определения ЛНС одиночных зарядов

$$W = 53 \cdot k_T \cdot d \cdot \sqrt{\frac{\rho_{BB} \cdot e_{BB}}{\rho_{\Pi}}} \cdot F(I_{зар}),$$

где  $k_T$  — коэффициент трещиноватости пород ( $k_T = 1,0-1,2$ );  $d$  — диаметр заряда ВВ, м;  $\rho_{BB}$  — плотность ВВ в скважине, кг/см<sup>3</sup>;  $\rho_{\Pi}$  — плотность породы, кг/см<sup>3</sup>;  $e_{BB}$  — коэффициент работоспособности ВВ;  $F(I_{зар})$  — поправка, учитывающая отношение длины заряда к его диаметру.

2) Формула, предложенная сотрудниками «Союзвзрывпрома» при длине забойки  $0,75W$ :

$$W = \frac{\sqrt{0,56p^2 + 4qpHLm} - 0,75p}{2qHm} \approx 0,9 \cdot \sqrt{\frac{p}{q}},$$

где  $p$  — вместимость 1-ого погонного метра скважины, кг/м;  $q$  — удельный расход ВВ, кг/м<sup>3</sup>;  $H$  — высота уступа, м;  $L$  — глубина скважины, м;  $m$  — коэффициент сближения скважин.

Данное многообразие мнений основано на разных предпосылках моделирования и сравнения взрывов с фактически различными параметрами детонационных волн, создаваемых ВВ, а также различной структурой горного массива. В горных породах из-за сильных диссипативных потерь при ударном нагружении закон подобия взрывных волн изменяется, хотя



Рис. 1. Совмещение зон трещинообразования

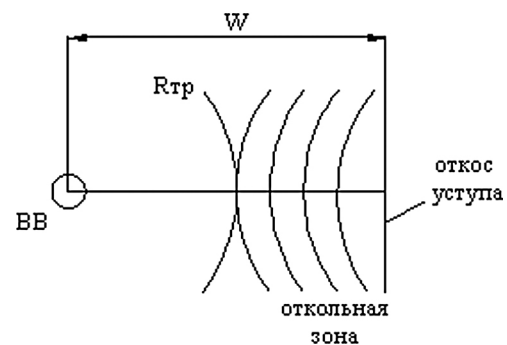
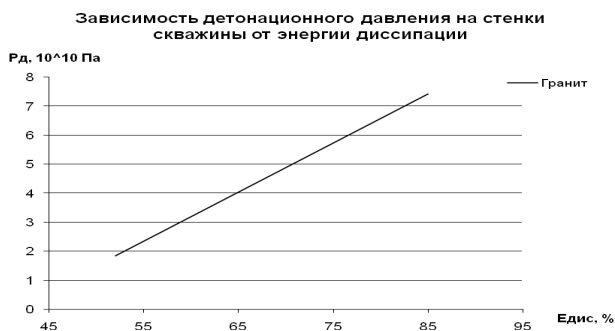
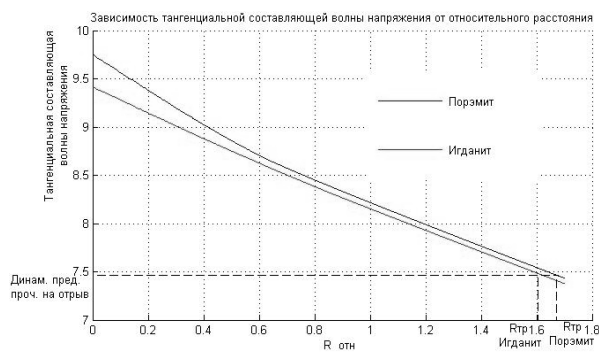


Рис. 2. Определение линии наименьшего сопротивления



**Рис. 3. Зависимость детонационного давления на стенке скважины от энергии диссипации**



**Рис. 4. Зависимость тангенциальной составляющей волны напряжения от относительного расстояния**

сохраняются некоторые общие зависимости параметров волн напряжения от массы заряда и расстояния. Но на эту зависимость накладывается влияние параметров детонационной волны. Таким образом существующие методы необходимо улучшать.

В настоящей работе предлагается метод взрывного разрушения горных пород обеспечивающий снижение выхода мелкой фракции и негабаритов, основанный на рассмотрении физических процессов взрывного разрушения.

При взрывании зарядов различных ВВ характер разрушения в ближней зоне неодинаков. Уменьшение энергии диссипации, затрачиваемой на переизмельчение, про-

исходит в среде при взрыве тех ВВ, у которых меньше скорость детонации. А увеличение скорости детонации сопровождается резким увеличением объемной энергии диссипации разрушения в непосредственной близости от заряда [2].

Скорость детонации ВВ определяет начальное давление продуктов детонации; от величины последнего зависит сильное измельчение породы на границе с зарядом, не только не полезное, но и во многих случаях вредное. Разрушение значительных объемов среды, находящихся в отдалении от границы заряда, определяется параметрами волны, распространяющейся по среде, а также движением среды, возникшей при взрыве. В свою очередь, параметры волны на некотором расстоянии от заряда зависят от полной энергии, выделившейся при взрыве.

Заряд ВВ, выделяющий некоторое количество энергии, создает волну напряжений, даже если скорость детонации его невелика и, следовательно, невелико начальное давление продуктов детонации. При снижении начального давления продуктов детонации, сопровождающегося уменьшением начального напряжённого состояния на стенке взрывной полости, происходит уменьшение диссипативных потерь, уменьшение наведенной трещиноватости в ближней зоне и увеличение доли полезной энергии на более дальних расстояниях и, как следствие, к увеличению объёмов разрушенной горной

массы. Тем самым большая часть энергии расходуется на механическую работу.

В настоящей работе предлагается метод расчёта параметров волны напряжений, распространяющейся по среде, после преломления в нее детонационной волны. Метод основан на расчетах энергии диссипации и использовании законов подобия.

Зная энергию диссипации, можно определить энергию, участвующую в механической работе[1], оценить радиальные и тангенциальные составляющие волн напряжения и на их основе рассчитать зоны разрушения. На основе совмещения зон трещинообразования (рис. 1), получаемых при

взрыве двух смежных скважинных зарядов, можно оценить расстояние между ними, а также другие параметры буровзрывных работ. В частности, линия наименьшего сопротивления (ЛНС) определяется по совмещению зон трещинообразования и откольной (рис. 2). Кроме того, зная связь между энергией диссипации и средними размерами кусков на различных расстояниях от заряда, можно получить гранулометрический состав горной породы после взрывного воздействия. Тем самым можно уменьшить выход мелких фракций, негабарита и осуществить выбор нужного типа ВВ. На рис. 3, 4 представлены результаты расчетов, выполненных в настоящей работе.

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Менжулин М.Г., Бровин В.Е. Энергетическая эффективность разрушения горных пород при взрыве ВВ с различными детонационными характеристиками / Записки Горного Института. 2007. Т.171. С.121-125.

2. Менжулин М.Г., Афанасьев П.И., Трофимов А.В. Влияние детонационных параметров взрывчатых веществ на энергетическую эффективность взрывного разрушения

горных пород / Записки Горного Института. 2010. Т.186. С.63-70.

3. Ефремов Э.И., Пономарев А.В. Технология формирования скважинных зарядов ВВ и отбойки обводненных горных пород / Взрывное дело. 2007. Вып.5. С.33-40.

4. Кутузов Б.Н. Методы ведения взрывных работ. Ч.1. Разрушение горных пород взрывом: Учебник для вузов. –М.: «Горная книга», 2007 – с. 352-353 **ГИАС**

---

#### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Менжулин М.Г. — доктор технических наук, профессор, тел. 8-981-743-1501,

Казмина А.Ю. — аспирант, e-mail: kazmina.anna@gmail.com,

Афанасьев П.И. — аспирант, e-mail: afan\_@mail.ru,

Санкт-Петербургский государственный горный университет.

