

1. Прокопенко В.С. Обгрунтування ефективності вибуху свердловинних зарядів у полімерних оболонках // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія "Гірництво". Збірник наукових праць. – Київ: НТУУ "КПІ": ЗАТ "Техновибух", 1999. – Вип. 1. – С. 56–67.

2. Прокопенко В.С. Деформирование горных пород при взрывах скважинных зарядов в водных оболочках с учетом дилатансии // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія "Гірництво". Збірник наукових праць. – Київ: НТУУ "КПІ": ЗАТ "Техновибух", 2000. – Вип. 3. – С. 3–13.

3. Баум Ф.А., Орленко Л.П., Станкович К.П. и др. Физика взрыва. – М.: Наука, 1975. – 704 с.

4. Капустянский С.М., Николаевский В.Н. Количественная формулировка упругопластической дилатансионной модели (на примере песчаника) // Известия АН СССР. МТТ. – 1984. – С. 113–124.

5. Капустянский С.М., Николаевский В.Н. Параметры упругопластической дилатансионной модели для геоматериалов // ПМТФ. – 1985. – № 6. – С. 145–150.

6. Уилкинс М.Л. Расчет упругопластических течений // Вычислительные методы в гидродинамике. – М.: Мир. – 1967. – С. 212–263.

7. Друкованый М.Ф., Дубнов Л.В., Миндели Э.О. Справочник по буровзрывным работам. – М.: Недра, 1976. – 631 с.

УДК 622.235

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО НАПРАВЛЕНИЯ ОТБОЙКИ ПОРОД ПРИ ВЗРЫВАХ В КАРЬЕРАХ

*И.В. Косьмин, инж. (ЗАО «Техновзрыв»)*

*Викладено методику вибору раціонального напрямку відбійки трищинуватих порід та рекомендації щодо її вдосконалення. Основні висновки за результатами досліджень підтверджені в промислових умовах.*

Требуемое качество дробления горных пород при их отбойке в карьерах обеспечивается при условии максимального использования полезной энергии взрыва. Выполнение этого условия зависит от правильного выбора технологических параметров и направления отбойки одиночными и групповыми зарядами взрывчатого вещества (ВВ). Направление отбойки, при котором обеспечивается интенсивное и равномерное дробление пород, в практике принято называть рациональным. Согласно [1] при дроблении средне- и крупноблочных массивов пород направление отбойки играет существенную роль и должно выбираться с учетом ориентировки и формы естественных отдельностей массива. Забой карьера (откос уступа) должен располагаться

параллельно основной системе трещин, а направление отбойки – перпендикулярно ей (то есть линия фронта волны напряжений от взрыва зарядов ВВ должна быть параллельной системе трещин и линии откоса уступа). В мелкоблочных массивах пород ориентировка фронта отбойки не имеет значения.

Следует отметить, что на практике очень трудно обеспечить параллельность основной системы трещин и линии забоя. Для этого необходимо «развернуть» забои в карьерах, то есть изменить направление развития фронта работ при отработке добычных уступов. Поэтому рациональное направление отбойки достигается применением порядно-диагональных схем взрывания (рис. 1). В последние годы эти схемы являются преобладающими на карьерах вследствие широкого диапазона условий их применения [2]. Варианты таких схем взрывания весьма разнообразны и отличаются, в основном, формой и местом расположения зарядов ВВ.

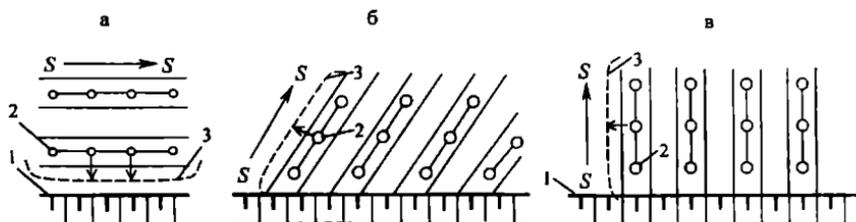


Рис. 1. Варианты направлений отбойки пород с применением порядно-диагональных схем взрывания при ориентировке основной системы трещин к линии забоя под углами: а – 0°; б – 45°; в – 90°; 1 – линия забоя; 2 – заряд ВВ; 3 – линия фронта отбойки пород; S → S – направление основной системы трещин; → направление отбойки

Максимальная степень реализации энергии взрыва на дробление применением порядно-диагональных схем взрывания достигается за счет направления падения фронта волны напряжений перпендикулярно широкой грани естественной отдельности пород. Непроизводительные потери энергии взрыва в этом случае меньше на 18...20 % по сравнению с падением волны напряжений на узкую естественную отдельность.

Особенностью диагональных схем короткозамедленного взрывания (КЗВ) является то, что при монтаже взрывной сети заряды ВВ можно соединить по короткой или длинной диагонали квадрата, прямоугольника или ромба, образуемых четырьмя зарядами (рис. 2). С помощью этих схем, в зависимости от условий взрывания, можно изменять направление фронта отбойки и расстояние между зарядами.

В работе [3] показано расположение зарядов по квадратной, прямоугольной и треугольной сеткам ( $a = b < b$ ;  $a > b$ ), для которых:  $\alpha_{\alpha_1} = 36...75^\circ$ ;  $\alpha_{\alpha_2} = 20...45^\circ$ ;  $m_1 = 0,9...1,7$ ;  $m_2 = 2,7...6,1$ ;  $a_1 = 3...12,3$ ;  $a_2 = 5...19,7$  м;  $b_1 = 2,1...8,4$  м;  $b_2 = 1,3...5,6$  м. По результатам бурения

расстояния между зарядами  $a$  и  $b$  изменялись от 3 до 9 м, а  $m$  – от 0,8 до 1,3. Согласно [4] рациональная величина  $m$  не должна превышать 3,5, поскольку увеличение этого параметра приводит к ухудшению качества откоса уступа после взрыва. При независимой работе взрыва зарядов с помощью диагональных схем КЗВ наилучшие результаты дробления пород достигнуты при  $m$ , равном 8 [5].

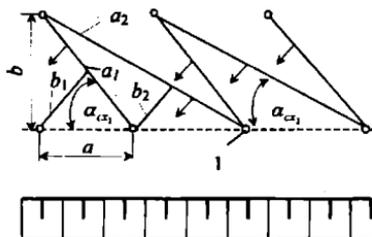


Рис. 2. Характерный вариант диагональной схемы КЗВ зарядов:  $a_1$  – диагональ короткая;  $a_2$  – диагональ длинная;  $l$  – заряд ВВ;  $a$  – расстояние между зарядами в ряду;  $b$  – расстояние между рядами зарядов;  $m = a/b$  – коэффициент сближения зарядов (в данном случае  $a = b$ );  $\alpha_{cx}$  – угол между диагональю и линией, соединяющей заряды в ряду;  $m_1 = a_1/b_1$ ;  $m_2 = a_2/b_2$ . На рисунке  $\alpha_{cx1} = 45^\circ$ ,  $\alpha_{cx2} = 26^\circ$ .

Как показывает анализ результатов промышленных взрывов, широкий диапазон изменения расстояний  $a$  и  $b$  не всегда обеспечивает требуемое качество дробления горной породы. Это объясняется влиянием многих факторов, в том числе и отсутствием методики выбора рационального направления отбойки пород на стадии проектирования взрывных работ.

На рис. 3 показаны основные варианты сеток расположения зарядов ВВ и их соединение по диагональной схеме с различной ориентировкой трещин системы  $S$  к линии забоя уступа  $KL$ . Фронт отбойки зарядов ВВ в каждом случае параллелен трещинам системы  $S$ . Выполнение данного условия достигается тем, что нормали от центров зарядов ВВ к фронту отбойки последующих рядов зарядов пересекают середину расстояния между центрами смежных зарядов предыдущих смежных рядов (см. рис. 3, точка  $M$ ), причем формируемые ряды зарядов и линия фронта отбойки параллельны трещинам массива и совпадают с одной из диагоналей квадрата или ромба, образованных двумя смежными равносторонними треугольниками. На взрывном блоке уступа горных пород определяют направление (азимут простирания) основной системы вертикальных трещин  $l$  ( $S$ ), а также угол между направлением трещин этой системы и линией откоса уступа  $2$  ( $\alpha_T$ ). Полученные результаты, а также данные последующих расчетов наносятся на план, прилагаемый к проекту производства массового взрыва. Затем определяют расстояния между зарядами по известной методике [3]. В данном случае линия фронта отбойки  $3$  должна быть параллельной направлению трещин, то есть при условии  $\alpha = \alpha_T$  (где  $\alpha_T$  – угол между линией фронта отбойки и линией откоса уступа).

Выполнить условие рациональной отбойки при изменении  $\alpha_T$  от 0 до  $180^\circ$  для реального массива при открытом способе добычи возможно

одновременным изменением геометрии сетки скважинных зарядов и схем взрывания. В противном случае монтаж взрывной сетки не реализуется, поскольку сетка скважин на уступе карьера забуривается заранее без учета схемы взрывания. Это не исключает образования изотропных (недробимых) зон массива в процессе его взрывного разрушения.

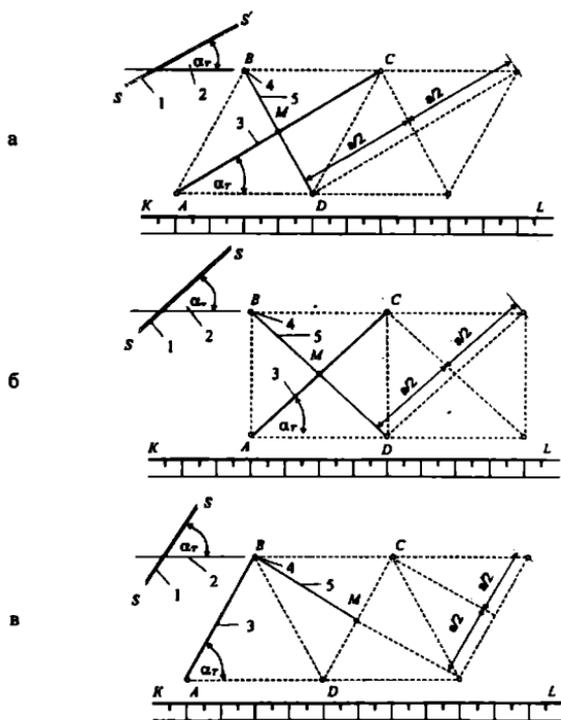


Рис. 3. Варианты сеток расположения скважинных зарядов ВВ по диагональной схеме взрывания с ориентировкой трещин системы  $S$  к линии забоя уступа под углами: а –  $\alpha_r = 30^\circ$ ; б –  $\alpha_r = 45^\circ$ ; в –  $\alpha_r = 60^\circ$

Таким образом, путем одновременного изменения геометрии сетки скважин и схемы взрывания определяется место для бурения скважин 4. Затем от центров крайних скважин взрываваемой серии проводят нормали  $S$  к линии фронта отбойки последующих рядов через середину расстояния между центрами смежных зарядов этих рядов. Так повторяют процесс размещения зарядов до их необходимого количества. После разметки скважин на уступе производят их бурение и выполняют все необходимые технологические операции согласно проекту.

При правильном выполнении указанных выше рекомендаций исключается возможность образования изотропных зон. При этом линия формирования рядов взрывааемых зарядов совпадает с одной из диагоналей квадрата или ромба ABCD, образованного смежными зарядами.

Рациональные соотношения азимута простираения трещин массива, геометрии сетки скважин и типа схемы взрывания зарядов в серии следующие: при  $\alpha_T = 41 \dots 52^\circ$  сетка скважин квадратная, линия фронта отбойки зарядов проходит по диагонали квадрата; при  $\alpha_T = 53 \dots 65^\circ$  сетка скважин треугольная, линия фронта отбойки зарядов проходит по малой диагонали ромба; при  $\alpha_T = 26 \dots 40^\circ$  и  $66 \dots 90^\circ$  сетка скважин треугольная, линия фронта отбойки проходит по большой диагонали ромба, образованного двумя смежными равно-сторонними треугольниками. Учет направления трещин при  $\alpha_T = 0 \dots 25^\circ$  не имеет смысла, поскольку ориентировка производится в пределах  $\alpha_T = 66 \dots 90^\circ$  (вторая система трещин Q).

По результатам статистической обработки результатов замеров гранулометрического состава взорванной горной породы на гранитных карьерах Ровенской области установлена корреляционная зависимость между средним размером кусков взорванной горной породы  $d_{cp}$  и углом направления отбойки  $\alpha_T$  (рис. 4):

$$d_{cp} = 7,5 \cdot 10^{-5} \alpha_T^2 - 4,4 \cdot 10^{-3} \alpha_T + 0,24 \quad (5)$$

для интервала  $30^\circ \leq \alpha_T \leq 90^\circ$  с коэффициентом корреляции 0,75.

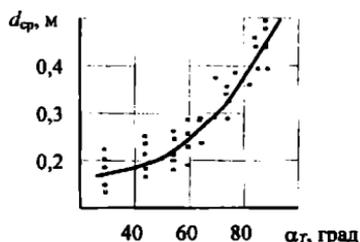


Рис. 4. Зависимость среднего диаметра кусков взорванной горной породы  $d_{cp}$  от угла между фронтом отбойки пород и линией забоя уступа  $\alpha_T$

Рассматривая влияние направления отбойки на процесс разрушения пород, следует отметить, что степень дробления породы зависит от многих факторов, характеризующих как процесс взрыва, так и объект разрушения. В этом случае основное влияние на полноту использования энергии взрыва в процессе дробления пород оказывают конструкция заряда ВВ и условия трансформации энергии взрыва в разрушаемый массив пород. Последнее реализуется через угол падения детонационной волны  $\alpha$  на границу ВВ-горная порода, величина которого определяется по формуле [6]

$$\alpha = \arcsin(D_{ВВ} / D_{ДПТ}),$$

где  $D_{ВВ}$  и  $D_{ДШ}$  – скорость детонации соответственно ВВ и детонирующего шнура.

С уменьшением угла падения детонационной волны от 90 до 0° давление волны напряжений возрастает более чем в 2 раза, а массовая скорость смещения частиц среды – в 1,8...1,9 раза. При этом доля энергии, перешедшей в разрушаемую среду, возрастает на 40 % [6, 7]. Влияние угла падения детонационной волны на передачу энергии в разрушаемую среду теоретически показано в работе [8] и подтверждено экспериментальными исследованиями [9]. Для промышленных ВВ расчетная величина  $\alpha$  изменяется в пределах 31...59° [3]: алюмотол – 55; аммонит БЖВ – 37; граммонит 9/21 – 31; гранулотол – 59; ифзанит Т-20 – 37; ГЛТ-20 – 45°.

Таким образом, для обеспечения рационального направления отбойки пород необходимо в первую очередь учитывать ориентировку фронта детонационной волны относительно границы раздела ВВ–горная порода и фронта волны напряжений при взрыве групповых зарядов по отношению к основной системе трещин массива пород.

1. *Кучерявый Ф.И., Олейников А.С., Волов А.Т.* Многорядное короткозамедленное взрывание на карьерах строительных материалов. – К.: Будівельник, 1975. – 84 с.

2. *Клевцов И.В., Федоренко П.И.* Схема взрывания на карьерах и качество дробления горной массы. – К.: Техника, 1981. – 104 с.

3. *Воробьев В.Д.* Методы дробления анизотропных пород на основе регулирования параметров импульса взрыва комбинированных зарядов: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.15.01 / Ин-т гидромеханики НАН Украины. – К., 1995. – 34 с.

4. *Ефремов Э.И., Петренко В.Д., Рева Н.Н.* Влияние динамических нагрузок на рост произвольно ориентированной трещины // Проблемы разрушения горных пород. – К.: Наук. думка. – 1979. – С. 105–109.

5. *Сенук В.М.* Разработка эффективной технологии взрывного дробления крупноблочных пород на железорудных карьерах: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.15.09 / ИПКОН АН СССР. – М., 1983. – 33 с.

6. *Бершвили Г.А., Элизбарашвили Т.Ш.* Об эффективности низкочувствительных ВВ при инициировании их боевиками различной конструкции // Взрыв. дело. – М.: Недра. – 1976. – № 76/33. – С. 164–178.

7. *Комплексные исследования действия взрыва в горных породах / Э.О. Миндели, Н.Ф. Кусов, А.А. Корнеев, Г.И. Марцинкевич.* – М.: Недра, 1978. – 253 с.

8. *Станюкович К.П.* Неустановившиеся движения сплошной среды. – М.: Наука, 1971. – 854 с.

9. *Райнхардт Д., Пирсон Д.* Взрывная обработка металлов. – М.: Мир, 1966. – 391 с.