

3. Справочник. Открытые горные работы./ К.Н. Трубецкой, М.Г. Потапов, К.Е. Виницкий, Н.Н. Мельников и др. - М.: Горное бюро, 1994. - 590 с.: ил.
4. Бирюков А.В. Статистические модели в процессах горного производства./ А.В. Бирюков, В.И. Кузнецов, А.С. Ташкинов. Кемерово: Кузбассвуиздат, 1996. - 228 с.

УДК 635.232.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНОЙ ПОРОДЫ ВО ВРУБЕ

Масаев Ю.А., Мильбергер Н.В.

КузГТУ имени Т. Ф. Горбачева

Рассмотрены закономерности формирования врубовой полости при различных схемах расположения шпуровых зарядов ВВ по результатам производственных и лабораторных исследований на моделях с использованием сверхскоростной фото-регистрацией процессов.

Важной частью буровзрывного комплекса является обеспечение качества взрыва комплекта шпуровых зарядов ВВ. При этом особое внимание следует уделять правильному выбору схем врубовых шпуров, которые должны заранее планировать и формировать качество взрыва.

Эффективность взрывных работ зависит от глубины, объема и степени «очистки» врубовой полости, а также степени нарушенности заврубового массива после взрыва. Исследования показали, что общая нарушенность заврубового породного массива проявляется в образовании двух зон: зоны трещиноватости, непосредственно прилегающей к врубовой полости, и зоны волновой микронарушенности, распространяющейся в глубь массива на значительно большее расстояние за зоной трещиноватости. В свою очередь, развитие указанных зон нарушенности зависит от напряженного состояния породного массива впереди горной выработки. Породы, прилегающие к забою выработки, после взрыва становятся частично разгруженными от горного давления. При этом впереди забоя создаются условия для более эффективного использования энергии взрыва на разрушение породного массива в объеме врубовой полости, если врубовые шпуровые расположены в этой зоне.

Нами был проведен анализ по литературным источникам около 70 схем врубовых шпуров, применяемых в отечественной и зарубежной практике производства взрывных работ при сооружении горных выработок. Кроме того, были проведены производственные исследования технологии сооружения и, в частности, применяемых паспортов БВР и схем врубовых шпуров в 40 выработках шахт Кузбасса.

Исследования показали, что все схемы врубов представлены клиновыми и призматическими врубами и их различными модификациями. От-

рицательным фактором является то, что выбор той или иной схемы вруба производится чисто интуитивно, чаще всего из-за удобства бурения врубовых шпуров без учета иных факторов, влияющих на формирование врубовой полости, что и приводит к получению КИШ в пределах 0,80-0,85.

Исследования проводились в горных породах различной крепости при различной глубине шпуров и весе зарядов ВВ с призматическими и клиновыми врубами. Критерием оценки служила продолжительность разрушения породы в системе вруба. За продолжительность разрушения принято суммарное время откола системой трещин разрушаемой части массива и смещения ее на величину, обеспечивающую падение давления газообразных ПВ до момента сопротивления породы отрыву.

При этом установлено, что продолжительность отдельных фаз разрушения (продолжительность откола породы трещинами, отход породы, формирование откольной воронки на обнаженной поверхности) в породах в зависимости от их прочности и состояния трещиноватости неодинакова.

Результаты исследований показали, что при одинаковом заполнении шпуров взрывчатým веществом продолжительность разрушения породы в призматических врубах возрастает по сравнению с клиновыми врубами. Причем, в породах слабых и средней крепости интенсивность возрастания проявляется больше, чем в крепких породах.

Применение более бризантных ВВ II класса (детонит М) по сравнению с менее бризантными ВВ III класса приводит к снижению продолжительности процесса разрушения породы в системе вруба. В крепких породах ($f = 8-12$) снижение достигает 10-20 %, в породах с $f = 6-8$ снижение составляет 8-15 %, а в породах с $f = 4 - 6$ снижение продолжительности разрушения можно считать несущественным, не превышающим 5 %.

Снижение продолжительности разрушения крепких пород с переходом на более бризантные ВВ объясняется тем, что возбуждаемые при этом волны напряжения обладают более высокой интенсивностью и за счет этого при их прохождении создается более объемная предварительная микронарушенность породного массива, что значительно снижает сопротивляемость породы разрушающему действию расширяющихся газообразных ПВ.

Одним из факторов, влияющих на качество разрушения породного массива является объем образованной врубовой полости. Традиционные клиновые врубы из 6 шпуров и призматические врубы из 4 шпуров не всегда создают необходимый объем врубовой полости. В наших исследованиях, кроме указанных врубов были применены следующие варианты: клиновой вруб с короткими вспомогательными шпурами; клиновой с длинными центральными вспомогательными шпурами; клиновой с опережающими шпурами; двойной клиновой; призматический с опережающими шпурами; двойной призматический вруб.

При сравнении эффективности перечисленных схем врубовых шпуров глубина основных шпуров составляли 2,5-2,7 м, а глубина центральных вспомогательных шпуров принимались равной глубине непропорциональных главных нормальных напряжений впереди забоя выработки (0,6-1,5 м). Исследования показали, что с увеличением крепости породы снижается объем обуриваемого вруба, но значительно возрастает удельный расход ВВ на единицу объема обуренной во врубе породы. В породах с $f = 4-6$ при объемах обуриваемых врубов от 2,15 до 2,9 м³ и насыщенности ВВ до 3,6 кг/м³ достигаемый коэффициент использования шпуров (КИШ) находился в пределах от 0,85 до 0,94, а в породах с $f = 6-8$ при обуриваемом объеме вруба от 1,42 до 2,65 м³ величина КИШ изменяется в пределах от 0,83 до 0,92 при удельном заряде во врубе до 4,45 кг/м³. В более крепких породах с $f = 8-12$ при удельном заряде во врубе до 6,5 кг/м³ и при обуренном объеме вруба от 1,1 до 2,25 м³ величина КИШ находилась в пределах от 0,8 до 0,91.

В свою очередь меньший объем вруба, но большой удельный заряд ВВ требует большего количества бурения шпуров во врубе. Так, если в породах с $f = 4-6$ удельный расход бурения в объеме вруба составил 7,6 м/м³ обуренной породы, то в породах с $f = 6-8$ эта величина возрастает до 9,3 м/м³, а в породах с $f = 8-12$ – до 12,6 м/м³, что достигается применением в крепких породах сложных врубов с системой длинных или коротких вспомогательных шпуров.

На рис. 1 и 2 приведены зависимости расхода шпурометров и удельного расхода ВВ от объемов призматического и клинового вруба, которые показывают, что для всех схем врубов и условий взрывания существует оптимальный объем вруба. Так, при клиновых врубах в породах с $f = 4-6$ оптимальным является объем порядка 2,7 м³ при удельном объеме, отнесенном к 1 м шпура 1,05 м³, обеспечивающим при величине КИШ = 0,94 удельный расход ВВ по всему забою 1,35 кг/м³ и расход бурения 2,9 м/м³. В породах с $f = 4-6$ и $f = 8-12$, соответственно, оптимальным является объем вруба 2,4 м³ и 2,0 м³ при удельном объеме вруба на 1 м длины шпуров 0,92 и 0,75 м³, которые обеспечивают при величине КИШ = 0,92 и 0,91 удельный расход ВВ по всему забою 1,41 кг/м³ и 1,97 кг/м³, а расход бурения 3,30 и 4,17 м/м³, оптимальный объем призматических врубов в породах с $f = 4-6$ составил около 0,68 м³ при удельном объеме на 1 м длины шпура 0,34 м³, а удельный расход ВВ при величине КИШ = 0,96 составил по всему забою 1,1 кг/м³ и расход бурения 2,8 м/м³. При взрываниях пород с $f = 6-8$ и $f = 8-12$ оптимальные объемы врубов, соответственно, 0,45 м³ и 0,35 м³ при удельном объеме вруба на 1 м длины шпура 0,20 м³ и 0,14 м³. В этих условиях удельный объем бурения при КИШ = 0,94 и 0,92 составил 3,05 и 3,2 м, а удельный расход ВВ, соответственно, 1,23 кг/м³ и 1,33 кг/м³.

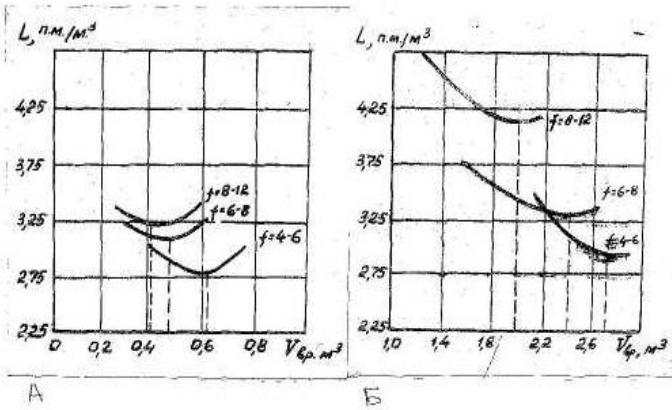


Рис. 1. Зависимость расхода шпурометров на 1 m^3 породы по забою от объема: А – призматического вруба; Б – клинового вруба.

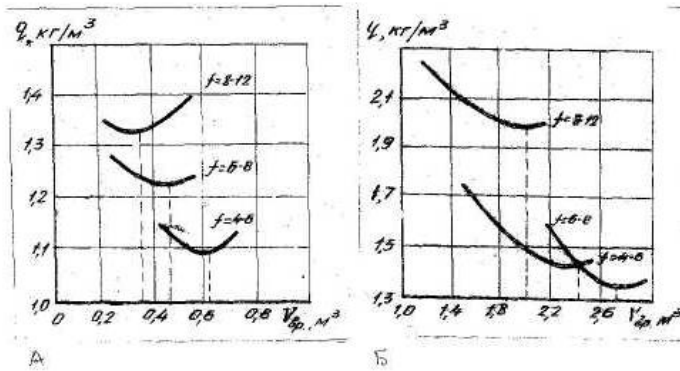


Рис. 2. Зависимость удельного расхода ВВ по забою от объема: А – призматического вруба; Б – клинового вруба

При формировании врубовой полости важное значение имеет длительность разрушения и смещения разрушенной массы породы.

Общее время разрушения породы взрывом условно подразделяется на три фазы и выражается, как

$$t_p = t_1 + t_2 + t_3, \quad (1)$$

где t_1 – время образования трещин в разрушаемом объеме;
 t_2 – время раскрытия трещин до начала выброса породы; t_3 – продолжительность разлета разрушенного объема породы.

Наибольший интерес в данном случае представляют процессы, происходящие во времена t_1 и t_2 . За время t_1 порода должна быть пронизана системой микротрещин и отрезана от массива этой системой. В этот период увеличения объема нарушенной породы не происходит.

За время t_2 в породе происходит дальнейшее развитие и раскрытие трещин до величины, пока давление расширяющихся ПВ придет в соответствие с величиной временного сопротивления породы разрушению.

Время формирования сквозной трещины между зарядами определяется из выражения:

$$t_1 = \frac{A\varphi}{2E \delta \dot{\alpha} \zeta}, \quad (2)$$

где $E \delta \dot{\alpha} \zeta$ – скорость развития трещиноватости по линии зарядов; φ – коэффициент углового схождения трещиноватости по линии зарядов ВВ ($\varphi = 1 \div 1,3$); A – расстояние между зарядами ВВ.

Время раскрытия трещин определяется из выражения

$$t_2 = K \sqrt{\frac{M}{m}}, \quad (3)$$

где M – масса разрушаемой породы; m – масса зарядов ВВ; K – коэффициент пропорциональности, зависящий от свойств разрушаемой породы (при $f > 10$, $K = 0,18$; при $f = 6-10$, $K = 0,31$; при $f = 4-6$, $K = 0,41$).

Величина смещения породы за время t_2 определяется из выражения

$$Zt_2 = 0,01 + 0,185 \frac{m}{M} t_2^2. \quad (4)$$

Для различных по крепости пород эта величина составляет, как указано в таблице.

Полная продолжительность разрушения породы (до момента ее разлета) определится из выражения

Таблица - Величина смещения породы после взрыва

Коэффициент крепости породы, f	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	> 14
Величина смещения породы, Zt_2	0,21	0,19	0,17	0,16	0,15	0,13

$$t_2 = \frac{A\varphi}{2\dot{E} \dot{\delta} \dot{a} \dot{c}} + K \sqrt{\frac{M}{m}}. \quad (5)$$

Отсюда можно сделать заключение, что управлять продолжительностью процессов разрушения породы во врубе возможно изменением массы породы, заключенной в объеме вруба, величины зарядов ВВ во врубовых шпурах и расстоянием между шпуровыми зарядами.

Исследования механизма взаимодействия зарядов ВВ и формирования врубовой полости при различных схемах врубов проводились на моделях из органического стекла толщиной 10, 20 и 40 мм в прямом и поляризованном свете. Глубина шпуров составляла 70 мм, диаметр 3 мм. В качестве зарядов применялся ТЭН с насыпной плотностью 0,5-0,6 г/см³. Съемка процессов производилась сверхскоростной фоторегистрирующей установкой (СФР), позволяющей вести съемку со скоростью до 2,5 млн. кадров/с.

При исследовании призматических врубов расстояние между шпурами на моделях составляло 26 мм, длина заряда ВВ – 40 мм, а остальная часть шпуров оставалась свободной, инициирование зарядов ВВ прямое.

При этом фиксировалось начало процесса детонации зарядов ВВ, движение фронта волны напряжения и расширение газового пузыря в процессе разрушения модели. Было установлено, что через 5,2 мкс в межшпуровом пространстве происходит взаимное наложение волн напряжения от соседних зарядов ВВ, что способствует усилению их воздействия на разрушаемую среду. Увеличение объема газовых пузырей происходит более интенсивно, а через 15-16 мкс происходит соединение газовых пузырей нарушение сплошности среды в межврубовом пространстве.

Недостатком данной схемы вруба является то, что зона между устьями шпуров у плоскости обнажения не охватывается действием газового пузыря, а разрушается лишь за счет откольных явлений от действия отраженной волны напряжения, за счет этого происходит образование крупных фракций. Образованная при этом врубовая полость имеет неправильную форму, расширенную в глубине массива и зауженную к устьям шпуров, выброс разрушенной породы при этом затруднен.

Лучший эффект образования врубовой полости достигается в ступенчатом призматическом врубе, отличающемся тем, что в центре призмы пробурен короткий шпур (0,5 от основных шпуров) и заряжается он на всю длину его.

Взрывание всех врубовых шпуров производится одновременно. Наличие центрального короткого шпура обеспечивает формирование системы трещин в устьевой незаряженной части основных врубовых шпуров, в процессе детонации расширяющийся газовый пузырь через 12 мкс соединяется с газовыми пузырями основных врубовых шпуров, и их совместное развитие обеспечивает более эффективную проработку врубовой полости и выброс разрушенной породы.

При исследовании клиновых врубов на моделях глубина шпуров составляла 60 мм, угол наклона к плоскости забоя – 70° , заряд ВВ занимая всю длину шпура. Условия работы взрыва шпуровых зарядов в этом случае несколько отличаются от призматических врубов.

В связи с тем, что развитие зон разрушения в шпурах имеет форму конусов с вершинами в направлении дна шпуров, в межшпуровом пространстве смежные границы зон разрушения располагаются параллельно друг другу, занимая такое положение сразу же после начала детонации зарядов ВВ. Через 20 мкс после начала детонации зоны нарушенности соединяются и происходит их взаимное воздействие на разрушение всего межшпурового пространства.

Но в угольных шахтах шпуры никогда не заполняют на всю длину и в этом случае проработка устьевой части врубовой полости происходит еще хуже, чем в призматических врубах. Более качественное формирование врубовой полости происходит в комбинированных врубах с укороченными шпурами в устьевой части вруба.

На основе проведенных исследований основными направлениями разработки новых схем врубов были приняты следующие:

1. Наилучшие результаты взрыва способны обеспечить комбинированные врубы.
2. Проектирование комбинированных врубов должно быть основано на взаимодействии волн напряжения с вновь образованной поверхностью обнажения.
3. Конструкция вруба должна обеспечивать создание зоны предразрушения (микронарушенности) после взрыва первой серии зарядов ВВ для облегчения работы последующих серий.