

УДК 622.236.4

К. Н. Лабинский, канд. техн. наук

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», Донецк, Украина

Расчет параметров паспорта БВР при короткозамедленном взрывании с учетом ударной адиабаты горных пород и их радиуса разрушения

В статье приведены результаты исследований влияния свободной поверхности на радиус разрушения горной породы от действия взрыва шпурового заряда ВВ. Получен коэффициент изменения относительного радиуса разрушения горного массива от акустической жесткости продуктов детонации. Сформулированы принципы построения схемы расположения шпуров при короткозамедленном взрывании с учетом вновь образуемой открытой поверхности.

Ключевые слова: открытая поверхность, радиус разрушения, схема расположения шпуров, акустическая жесткость продуктов детонации.

Актуальность работы. Практика проведения выработок по буровзрывной технологии для достижения максимальной эффективности предполагает использование короткозамедленного взрывания, позволяющего обеспечить постепенное разрушение породного массива от размеров врубовой полости, образуемой первоочередным взрыванием врубовых шпуров, до проектного сечения проводимой выработки. Однако в настоящий момент при проектировании схем расположения шпуров не учитывается последовательность их взрывания.

Анализ последних исследований и публикаций. Существует целый ряд работ, посвященных установлению оптимальных интервалов замедления между сериями взрываемых групп шпуров, систематизацию и подробный анализ которых в своих трудах провел Е.Г. Баранов [1]. Подавляющее большинство работ посвящено образованию системы трещин, отделяющих разрушенную породу от разрушаемого массива и образующих дополнительную открытую поверхность, что позволяет устанавливать время ее образования. Поэтому исследование влияния очередности взрывания на пространственное расположение шпуров при буровзрывной технологии проведения горных выработок с учетом образования дополнительной открытой поверхности является актуальной научно-прикладной задачей.

Целью работы является обоснование принципов построения схемы расположения шпуров с учетом их очередности взрывания и образования дополнительной открытой поверхности.

Материалы и результаты исследований. Проведенные ранее исследования по распространению ударной волны в некоторых образцах горной породы позволили установить, что относительный радиус разрушения горной породы от действия ударной волны можно определить по следующей зависимости:

$$\frac{R}{r} = \frac{12.748 \rho_{BB} D_{BB}}{\rho_n A}, \quad (1)$$

где R – радиус разрушения, м; r – приведенный радиус заряда ВВ, м; ρ_{BB} – плотность патронирования ВВ, кг/м³; D_{BB} – скорость детонации ВВ, м/с; ρ_n – плотность горной породы, кг/м³; A – скорость распространения продольной волны – первый коэффициент линейного представления ударной адиабаты, м/с.

Учитывая то, что в формировании сферической ударной волны принимает участие не весь удлиненный заряд, а только его часть $l = \frac{2}{3} R$ [2], можем определить радиус разрушения вокруг шпурового заряда ВВ в зависимости от диаметра патронов ВВ:

$$R = \sqrt{\frac{d^2}{8} \left(\frac{12,748 \rho_{BB} D_{BB}}{\rho_n A} \right)^3}, \quad (2)$$

где d – диаметр патрона, м;

Таким образом, получена зависимость (2), позволяющая определить максимальный радиус разрушения горной породы ударной волной в зависимости от массы заряда ВВ, плотности его патронирования и скорости детонации. Поскольку схему расположения шпуров при взрывных работах выбирают так, чтобы объемы разрушения пород вокруг соседних шпуров как минимум соприкасались, то для смежных шпуровых зарядов можно записать уравнение для расчета расстояния между шпурами:

$$a_{cp} = \sqrt{\frac{d^2}{2} \left(\frac{12,748 \rho_{BB} D_{BB}}{\rho_n A} \right)^3}. \quad (3)$$

Зная радиус разрушения горной породы, и учитывая, что в формировании сферической ударной волны принимает участие не весь удлиненный заряд, а только его часть $l = \frac{2}{3} R$, можно определить длину единичного заряда заданного диаметра, обеспечивающего заданное разрушение, а, следовательно, можно легко определить массу единичного заряда:

$$m_{e\partial} = \rho_{BB} \pi \frac{d^2}{4} \frac{2}{3} R. \quad (4)$$

Шпуровой заряд состоит из определенного числа единичных зарядов, поэтому для определения его массы необходимо определить то количество единичных зарядов, которого будет достаточно и необходимо для разрушения горного массива.

Поскольку на границах линейного заряда формируется сферическая ударная волна, то и разрушение вдоль оси заряда с двух сторон будет больше длины шпурового заряда $l_{ш}$ на два радиуса разрушения горной породы от действия единичного заряда ВВ. Это позволит определить число единичных зарядов в шпуре, задавшись минимальной длиной забойки по ПБ $l_{заб}$ и учитывая глубину заложения заряда:

$$n = \frac{l_{ш} - 2R - l_{заб}}{l_{e\partial}}.$$

Следовательно, зная число единичных зарядов ВВ, можно определить массу шпурового заряда ВВ как произведение количества единичных зарядов на массу единичного заряда ВВ:

$$m_{ш} = m_{e\partial} * n.$$

Полученную массу шпурового заряда необходимо округлить до массы, кратной массе одного патрона ВВ, и пересчитать длину забойки с учетом длины шпурового заряда ВВ для проверки ее на соответствие требованиям ПБ.

Как было показано в работе [3], относительный радиус разрушения горного массива зависит от акустической жесткости продуктов детонации ВВ и описывается уравнением:

$$\frac{R}{r} = 0.7164 (\rho_{BB} D_{BB})^{0,3333}, \quad (5)$$

где R – радиус разрушения массива, м; r – приведенный радиус сосредоточенного заряда ВВ, м; ρ_{BB} – плотность патронирования ВВ, кг/м³; D_{BB} – скорость детонации ВВ, км/с.

Однако, при наличии свободной поверхности за счет отражения ударных волн от границы раздела сред и возникновения ударных волн разрежения относительный радиус разрушения увеличивается и может быть определен по следующей зависимости:

$$\frac{R}{r} = 0.3104 (\rho_{BB} D_{BB})^{0,4679}. \quad (6)$$

Это позволяет определить зависимость изменения относительного радиуса разрушения при наличии свободной поверхности вблизи зоны действия заряда ВВ:

$$K_{своб} = \frac{0.3104(\rho_{BB} D_{BB})^{0,4679}}{0.7164(\rho_{BB} D_{BB})^{0,3333}} = 0,4369(\rho_{BB} D_{BB})^{0,1346} \quad (7)$$

Это позволяет сформулировать принципы проектирования сетки расположения шпуров в забое выработки с учетом образования дополнительной открытой поверхности:

- врубовые шпуры должны обеспечивать создание второй открытой поверхности для облегчения работы вспомогательных и оконтуривающих шпуров;
- вспомогательные и оконтуривающие шпуры, взрывающиеся в одну серию, должны по отношению друг к другу располагаться на расстоянии двойного расчетного радиуса разрушения:

$$a_{cp} = 2R = \sqrt{\frac{d^2}{2} \left(\frac{12,748 \rho_{BB} D_{BB}}{\rho_n A} \right)^3};$$

- расстояние между рядами шпуров, взрывающимися в смежных сериях замедления, должно определяться как сумма радиуса разрушения породного массива с учетом влияния открытой поверхности и расчетного радиуса разрушения:

$$a_p = R(K_{своб} + 1) = (0,4369(\rho_{BB} D_{BB})^{0,1346} + 1) \sqrt{\frac{d^2}{8} \left(\frac{12,748 \rho_{BB} D_{BB}}{\rho_n A} \right)^3}$$

Рассмотрим принцип составления схемы расположения шпуров для выработки арочной формы.

Максимальная эффективность короткозамедленного взрывания обеспечивается при постепенном расширении полости, созданной взрывом врубовых шпуров, при этом необходимо обеспечить проектный контур выработки. Для этого первыми располагаем шпуры по контуру выработки – по арке с шириной у основания B и высотой H . Учитывая напряженное состояние массива, определяем радиус разрушения от взрыва шпурового заряда и среднее расстояние между шпурами в ряду. Это позволит определить количество шпуров по почве выработки:

$$N_n = B/a_{cp} + 1,$$

при этом полученное число необходимо округлить в большую сторону, чтобы обеспечить пересечение зон разрушения массива от взрыва соседних шпуров. Аналогично рассчитываем расстояние между шпурами по контуру выработки, также округляя число шпуров в большую сторону:

$$N_k = P_k/a_{cp} - 1.$$

где P_k – периметр контура выработки, м.

Так как контурные шпуры должны взрываться на предварительно созданную открытую поверхность, то оптимальным расстоянием до нее будет радиус разрушения, скорректированный с учетом наличия открытой поверхности. Таким образом, ширину и высоту уменьшенной арки, на которой будет располагаться первый предконтурный ряд шпуров, определяем по следующей зависимости:

$$B_{нк} = B - 2a_p;$$

$$H_{нк} = H - 2a_p.$$

Количество шпуров по почве и контуру уменьшенной арки рассчитывается аналогично расчету числа шпуров по контуру выработки.

С точки зрения минимизации влияния выброса породы от взрыва врубовых шпуров на крепь выработки целесообразно вруб располагать непосредственно над рядом шпуров по почве выработки. Поэтому ширина последующих уменьшенных арок будет определяться по следующей зависимости:

$$B_{нк} = B - 2a_p;$$

а высота – по следующей:

$$H_{нк} = H - a_p.$$

Расчет уменьшенных арок и шпуров, располагаемых на них, продолжаем, пока размер очередной уменьшенной арки (и ширина, и высота) будет больше минимально допустимого расстояния по ПБ для данных горно-геологических условий и применяемого ВВ. Последняя, самая маленькая, арка будет площадью, образуемой взрывом врубовых шпуров.

Пример составления схемы расположения шпуров с учетом влияния открытой поверхности представлен на рис. 1.

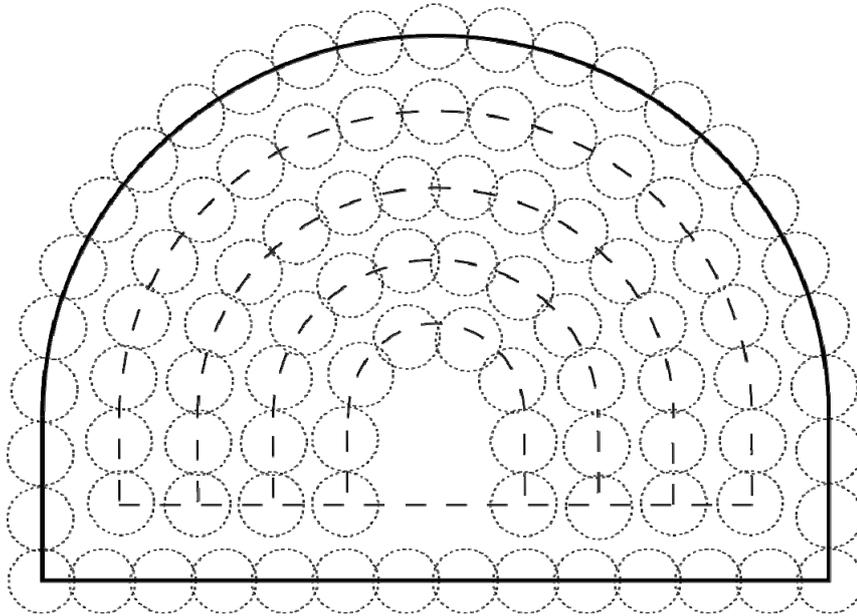


Рис. 1. Схема расположения вспомогательных и оконтуривающих шпуров по забою выработки с учетом влияния вновь создаваемой открытой поверхности
Пунктирными окружностями показаны расчетные радиусы разрушения породного массива без учета влияния открытой поверхности

В соответствии с формой и размерами минимальной арки в центре выработки, выбирается вруб и обосновываются его параметры.

При выборе вруба возможно два варианта формы врубовой полости, образованной после построения схемы расположения шпуров:

- высота и ширина врубовой полости примерно одинаковы;
- высота и ширина врубовой полости существенно различаются в размерах.

В первом случае целесообразно использование пирамидальных, прямых, шагающих и прочих врубов, обеспечивающих примерно равные ширину и высоту разрушенной полости. Во втором случае целесообразно использование клиновых, щелевых и прочих врубов, образующих врубовую полость овальной или прямоугольной формы.

Окончательный выбор вруба должен основываться на конкретных условиях и размерах необходимой врубовой полости.

По результатам исследований, с учетом разработанного и запатентованного способа взрывания на выбросоопасных пластах [4], был составлен паспорт проведения уклона ЦП ш. им. А.А. Скочинского, схема расположения шпуров которого учитывает очередность их взрывания. Расчетное расстояние между одновременно взрываемыми шпурами составило 0,43 м, а расстояние между группами взрываемых шпуров составило 0,51 м.

Шахтный вариант проведения выработки предполагает отдельную разработку центральной части выработки с последующим ее расширением до проектного сечения. Продолжительность цикла составляет 12 часов, трудоемкость работ цикла составляет 10,06 чел.-см.

Предлагаемый паспорт за счет особенностей пространственного расположения шпуров и очередности их взрывания позволяет получить проектную эффективность взрывных работ, обеспечивая подвигание забоя за один шестичасовой цикл. При этом трудоемкость работ цикла снижается до 9,81 чел.-см., а продолжительность проведения выработки сокращается в 2 раза.

Выводы

1. Обоснована масса шпурового заряда в зависимости от его детонационных характеристик и ударной адиабаты разрушаемой горной породы.
2. Наличие дополнительной открытой поверхности приводит к увеличению радиуса разрушения породного массива, при этом коэффициент увеличения радиуса разрушения является степенной функцией от акустической жесткости продуктов детонации ВВ.
3. Проектирование пространственного расположения шпуров в зависимости от очередности их взрывания позволяет повысить эффективность взрывных работ и сократить удельный расход ВВ на заходку.

Библиографический список

1. Баранов Е.Г. Короткозамедленное взрывание / Е.Г. Баранов. – Фрунзе: «ИЛИМ», 1971. – 148 с.
2. Покровский Г.И. Зависимость формы зоны действия взрыва от формы и расположения зарядов / Г.И. Покровский // Взрывное дело. – 1964. – № 54/11. – С. 235-240.
3. Калякин С.А. Современные проблемы разрушения горных пород взрывом / С.А. Калякин, К.Н. Лабинский; Шахтинский ин-т ЮРГТУ (НПИ) // Перспективы развития Восточного Донбасса: сб. науч. тр. Ч. 1. - Новочеркасск, 2008. – С. 348-361.
4. Спосіб висадження на викиднебезпечних пластах і шпуровий заряд для його реалізації: Пат. 78078 С2 Україна, МПК Е 21 С 37/00, Е 21 F 5/00, F 42 D 1/00 / Рубінський О. О., Калякін С. О., Шевцов М. Р., Лабінський К. М. – № а200501295; заявл. 14.02.05; надр. 15.02.07, Бюл. № 2.

Надійшла до редакції 22.06.2013

К. М. Лабінський

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Донецьк, Україна

Розрахунок параметрів паспорту БПР при короткоуповільненому підриванні з урахуванням ударної адиабати гірських порід та їх радіусу руйнування

У статті наведені результати дослідження впливу вільної поверхні на радіус руйнування гірської породи від дії вибуху шпурового заряду ВР. Отриманий коефіцієнт зміни відносного радіусу руйнування гірського масиву в залежності від акустичної жорсткості продуктів детонації. Сформульовані принципи побудування схеми розташування шпурів при короткоуповільненому підриванні з урахуванням відкритої поверхні, що утворюється.

Ключові слова: відкрита поверхня, радіус руйнування, схема розташування шпурів, акустична жорсткість продуктів детонації.

K. Labinskiy

Donetsk National Technical University, Donetsk, Ukraine

Calculation of the parameters of passport of explosive works during short-delayed explosion with taking into account the shock adiabat of mine rocks and radius of it destruction

The results of researching of free surface influence on the radius of destruction of mine rocks from explosion of blast-hole charge are shown in this article. The coefficient of change of relative radius of destruction which depends on acoustic hardness of explosive is obtained. The principles of creation of the scheme of blast-holes positioning during the short-delayed explosion with taking into account the new free surface are formulated in this article.

Keywords: free surface, radius of destruction, scheme of blast-holes positioning, acoustic hardness of detonation products.