

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШПУРОВОГО ЗАРЯДА ВВ НА РАЗРУШАЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ВЗРЫВА

Лабинский К.Н., Калякин С.А.

Донецкий национальный технический университет

Проблема повышения эффективности взрывных работ остается актуальной до настоящего времени. Это связано с тем, что до последнего времени нет достаточно четких представлений о механизме разрушения горных пород продуктами детонации заряда взрывчатого вещества (ВВ), и недостаточно выяснена взаимосвязь между параметрами шпурового заряда и параметрами разрушения пород при взрыве.

Анализ последних исследований механизма разрушения горных пород взрывом показал, что он взаимосвязан с разрушающим действием факторов взрыва заряда ВВ - действием продуктов детонации и ударных волн, которые в свою очередь функционально зависят от параметров детонации ВВ шпуровых зарядов. Поэтому необходимо установить взаимосвязь между параметрами шпурового заряда ВВ и разрушающими факторами взрыва.

Целью статьи является исследование действия взрыва шпурового заряда ВВ на горные породы и установление взаимосвязи между параметрами шпурового заряда и факторами, определяющими разрушение горных пород.

Рассмотрим основные соотношения обобщенной квазиупругопластичной модели разрушения горных пород [1]. При взрыве заряда ВВ критерий сдвигового разрушения породы, который представляет собой обобщенное условие Мизеса, имеет вид:

$$\frac{1}{2} S_{ij} \cdot S_{ij} = \frac{1}{3} [\sigma]_p^2, \quad (1)$$

где S_{ij} - компоненты девиатора тензора напряжений. Значение прочности пород $[\sigma]_p$ изменяется в соответствии с уравнением:

$$\frac{d\sigma}{dt} = \varphi(\sigma, \sigma_1^p, \sigma_2^p), \quad (2)$$

при $t < t_s$, $\sigma = \sigma_1^p$, а при $t = t_s + t_p$, $\sigma = \sigma_2^p$,

где t_s - момент времени начала разрушения пород;

t_p - время разрушения,

$$\sigma_1^p = \sigma_{01} + \frac{\mu_1 P}{1 + \frac{\mu_1 P}{\sigma_{p1} - \sigma_{01}}}, \quad (3)$$

$$\sigma_2^p = \sigma_{02} + \frac{\mu_2 P}{1 + \frac{\mu_2 P}{\sigma_{p2} - \sigma_{02}}}$$

где σ_1^p - предел прочности породы;

σ_2^p - предел текучести разрушенной породы;

σ_{01}, σ_{02} - предельные значения сил сцепления и сдвиговой прочности породы;

σ_{p1}, σ_{p2} – текущие значения напряжений, возникающие при взрывном разрушении горных пород;

μ_i - коэффициент трения дилатансирующей породы;

P - характерное давление в местах действия продуктов детонации или ударной волны на горные породы.

Уравнения (1)-(3) показывают, что разрушение горной породы определяется с одной стороны ее пределами прочности, а с другой – силой действия на нее продуктов детонации шпурового заряда ВВ и давлением во фронте ударной волны, возникающей в горной породе.

Сила действия продуктов детонации ВВ на горные породы - F_D полностью определяется условиями детонации шпурового заряда ВВ. Очевидно что сила F_D зависит от массового секундного расхода компонентов во время реакции при детонации ВВ dm/dt и средней скорости движения детонационного фронта D по заряду:

$$F_D = \frac{dm}{dt} D = m_3 D,$$

или

$$F_D = \frac{\pi d_3^2}{4} l_3 \rho_{BB} \frac{D}{D} = \frac{\pi d_3^2}{4} \rho_{BB} D^2, \quad (4)$$

где d_3 - диаметр заряда ВВ;

ρ_{BB} - плотность ВВ в заряде.

Для случая детонации высокоплотных конденсированных зарядов ВВ, которые имеют показатель политропы $n=3$ уравнение (4) примет вид:

$$F_D = \frac{\pi d_3^2}{4} \rho_{BB} D^2 = \pi d_3^2 P_H = \pi d_3^2 \rho_{BB} Q_v, \quad (5)$$

где P_H - давление во фронте детонационной волны;

Q_v - удельная теплота экзотермической химической реакции при детонации ВВ.

Согласно данным работы [2], зависимости скорости детонации индивидуальных ВВ от их плотности и диаметра заряда могут быть представлены уравнениями степенного вида. Учитывая возможность неидеального режима детонации смесевых промышленных ВВ, обобщенная зависимость скорости детонации от плотности (ρ_{BB}) и диаметра заряда (d_{BB}) может иметь существенные отличия от обобщенной зависимости, полученной в работе [2]:

$$D = A \rho_{BB}^\alpha d_{BB}^\beta,$$

где A, α, β – экспериментальные величины, полученные в опытах.

Поэтому для промышленных ВВ вид функции можно установить только с помощью многофакторного эксперимента с учетом аномального возрастания критического диаметра детонации в зависимости от увеличения плотности заряда. В этом случае зависимость скорости детонации промышленных ВВ представляет собой сложную функцию нескольких взаимосвязанных величин:

$$D = \varphi_1 [A_1(d_{BB}); A_2(\rho_{BB}); A_3(d_{кр.})],$$

где $d_{кр}$ – критический диаметр детонации ВВ, как известно, являющийся функцией от плотности ВВ.

В работе [3] проведено исследование влияния параметров шпурового заряда на скорость и полноту детонации шпуровых зарядов промышленных ВВ и показано, что наряду с плотностью патронирования ВВ и диаметром заряда важную роль играет коэффициент заряжения шпуров. Наибольшая полнота детонации, а следовательно и максимально возможное выделение энергии шпурового заряда обеспечивается при коэффициенте заряжения шпура, равном 0,638.

Давление во фронте ударной волны $P_{УВ}$ на границе контакта горной породы и ВВ определяется давлением детонации ВВ и акустической жесткостью породы:

$$P_{У.В.} = \frac{2P_H}{1 + \frac{\rho_{ВВ} \cdot D_{ВВ}}{\rho_n \cdot D_n}}, \quad (6)$$

где $\rho_n \cdot D_n$ - акустическая жесткость горной породы;

Скорость движения ударного фронта в горной породе определяется его ударной адиабатой вида:

$$D_n = A + Bu,$$

где A и B – эмпирические коэффициенты, полученные в результате эксперимента;

u – массовая скорость вещества за ударным фронтом.

Таким образом, механизм разрушения горной породы при взрыве полностью определяется силой, с которой продукты детонации действуют на них, и давлением, возникающим в ударном фронте волны. Оба этих параметра определяются давлением детонации ВВ - P_H или плотностью заряжения и удельной теплотой взрывной реакции - Q_v . Вместе с тем очень часто энергетические параметры ВВ связывают с его работоспособностью (фугасностью) и мощностью, то есть способностью разрушать среду в местах ее контакта с ВВ (бризантностью).

Согласно первого закона термодинамики работа взрыва заряда ВВ - A , совершенная продуктами взрыва ВВ при адиабатическом процессе расширения равна:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV . \quad (7)$$

Согласно уравнения (2) при взрыве важно время действия взрыва на горные породы. Тогда с учетом времени протекания процесса разрушения породы, уравнение (7) примет вид:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV = \int_0^t F_D \cdot D dt . \quad (8)$$

В том случае когда $t=t_3+t_p$ равно времени действия разрушающих факторов взрыва заряда ВВ на горные породы - t_2 , уравнение (8) с учетом уравнения (4) примет вид:

$$A = N_D \cdot t_2 = \frac{\pi d_3^2}{2} \cdot \rho_{BB} \cdot D^3 \cdot t_D \left(\frac{t_2}{t_D} - 1 \right), \quad (9)$$

где t_D - время детонации заряда;

N_D – мощность ВВ.

Тогда уравнение (9) с учетом того, что произведение $D \cdot t_D = l_{zap}$, равно длине детонировавшего заряда окончательно примет вид:

$$A = \frac{\pi d_3^2}{2} \cdot \rho_{BB} \cdot l_{zap} \cdot D^2 \cdot \left(\frac{t_2}{t_D} - 1 \right) = m D^2 \left(\frac{t_2}{t_D} - 1 \right), \quad (10)$$

где m – масса ВВ, которая характеризует полноту детонации заряда.

Мощность заряда ВВ в зависимости от диаметра заряда, плотности ВВ и его скорости детонации равна:

$$N_D = \frac{A}{t_D} = 0,758 d_3^2 \cdot \rho_{вв} \cdot D^3 . \quad (11)$$

Согласно работе Ф.А. Баума [4], время действия продуктов взрыва заряда ВВ на горные породы прямо пропорционально времени расширения камуфлетной полости до максимального радиуса:

$$t_2 \approx \tau_k = \frac{R_k - r_{BB}}{v_{cp}} . \quad (12)$$

где R_k , r_{BB} - соответственно радиусы камуфлетной полости и радиуса заряда;

v_{cp} - средняя скорость расширения продуктов детонации ВВ и границ камуфлетной полости.

Тогда максимальное время τ_k по Ф.А. Бауму должно быть не менее:

$$\tau_k = \frac{d_3}{D} \left(\frac{\rho_n}{\beta \rho_{BB}} \right)^{1/2} \left[\left(\frac{P_H}{P_K} \right)^{1/3} \cdot \left(\frac{P_K}{[\sigma]_p} \right)^{2/3} - 1 \right], \quad (13)$$

где ρ_n - плотность породы в массиве;

P_H , P_K - соответственно давления детонации ВВ и давления газообразных продуктов взрыва в точке сопряжения ударных адиабат;

$$\beta = 1 - \left(\frac{P}{B} + 1 \right)^{-1/4};$$

$$B = \frac{E}{4};$$

E – модуль Юнга для породы.

Таким образом, в соответствии с уравнениями (9), (11), (13), мощность заряда определяется только параметрами детонации ВВ и временем действия продуктов взрыва на горные породы, а совершаемая им работа при взрыве еще и условиями образования камуфлетной полости. Поэтому работа взрыва заряда ВВ зависит от свойств породы, времени ее расширения вокруг зарядной камеры ВВ, а также скорости детонации ВВ и давления во фронте детонационной волны.

Выводы.

Установлена взаимосвязь между параметрами шпурового заряда ВВ, которые полностью определяют его работоспособность, бризантность и полноту детонации при взрыве, и факторами характеризующими прочностные свойства горных пород.

Список литературы

1. Механическое действие ядерного взрыва / [Архинов В.Н., Борисов В.А., Будков А.М. и др.].-М.: Физматлит, 2003.-384 с.
2. Калякин С.А. Исследование режимов нестационарной детонации зарядов конечного диаметра и их зависимость от критического диаметра ВВ: Сб. Импульсная обработка материалов / Калякин С.А., Терентьева Е.В. – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2005.– С. 75-82.
3. Лабинский К.Н.. Исследование влияния канального эффекта в шпуре на скорость и полноту детонации заряда взрывчатого вещества / К.Н.Лабинский, С.А. Калякин // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва.– Науково-виробничий збірник: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського.– Кременчук: КДПУ, 2012.– Вип. 1/2012(9).– С. 29-41.
4. Баум Ф.А. определение импульса взрыва вдоль образующей скважины и оптимальных параметров скважинного заряда. Управление действием взрыва / Баум Ф.А., Григорян С.С., Санасарян Н.С. - М.: Недра, 1964. - с 53-102. (сб. Взрывное дело № 54/11).