УДК 622.235

Г.П.ЗИЛЕЕВ
«Севуралбокситруда», Североуральск
А.Г.ЗИЛЕЕВ
Институт химии и химической технологии СО РАН, Новосибирск

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЗРЫВНОГО ИМПУЛЬСА НА ПАРАМЕТРЫ ВЗРЫВНОЙ ВОРОНКИ

Исследовано влияние длительности взрывного импульса на размеры образующейся воронки. Рассматриваются различные факторы, влияющие на ее размеры. Для этого на шахтах «Севуралбокситруда» были проведены эксперименты. Установлено, что радиус взрывной воронки равен радиусу распространения волны напряжений за продолжительность действия взрывной нагрузки, определяемой в зависимости от точки инициирования заряда, и не может превышать размера радиуса зоны трещинообразования при воздействии на монолитный скальный массив энергией взрыва удлиненного заряда. Минимальная длина заряда, обеспечивающая максимально возможный размер радиуса воронки взрыва, зависит от схемы инициирования, скорости детонации применяемого взрывчатого вещества (ВВ), физико-механических свойств пород взрываемого массива и определяется по полученным формулам.

Influencing duration of an explosive impulse on the sizes of the generatrix funnel is studied. The different factors influential on the sizes of the generatrix funnel are esteemed. For this purpose on mines «Sevuralboksitruda» series of experiments was conducted. Is established, that radius of the explosive funnel is alike to radius of extent of a surge of pressure for a duration of the effect of blast load instituted depending on a point of initiation of a charge, and can not exceed the size of radius of a fracturing zone at effect on a monolithic rocky massif by energy of explosion of a column charge. Minimum length of a charge ensuring the greatest possible size of radius of the funnel of explosion depends on the scheme of initiation, speed of detonation of used explosive, of physical-mechanical properties of rocks of blasted out massif and will be defined under the obtained formulas.

В настоящее время установлено, что радиус образующейся взрывной воронки (зоны трещинообразования) при воздействии на монолитный скальный массив энергией взрыва удлиненного заряда [1, 2]

$$R_p = 0{,}21 d_z g^{0,75} D^{1,5} \sigma^{-0,25} \tau^{-0,5}, \qquad (1)$$

где d_z – диаметр заряда, м; g – плотность заряжания, кг/м^3; D – скорость детонации применяемого ВВ, м/с; σ – предел прочности породы на сжатие, Па; τ – предел прочности породы на срез, Па.

В то же время многие исследователи установили, что на результаты взрыва удлиненных зарядов существенное влияние оказывает длина заряда, а именно: увеличение длины заряда до какой-то определенной величины улучшает качество дробления разрушаемого массива и увеличивает объем образующейся взрывной воронки. Дальнейшее увеличение длины заряда никакого влияния на результаты взрыва не оказывает [3, 5].

Э.И.Миндели [4] отмечает, что на результаты взрыва оказывает влияние не только длина колонкового заряда, но и место его инициирования – прямое, центральное, обратное. Место инициирования определяет продолжительность действия взрывного импульса и точку начала распространения волн напряжений в массиве. В зависимости от принятой схемы инициирования удлиненного заряда время действия взрывного импульса определяется по формулам [5]

$$t_p = \frac{l_z}{D}; \qquad (2)$$

$$t_c = 2\frac{0{,}5 l_z}{D}; \qquad (3)$$

$$t_o = 2\frac{l_z}{D}, \qquad (4)$$

где t_p, t_c, t_o – соответственно время действия взрывного импульса при прямом, центральном и обратном инициировании, с; l_z – длина заряда, м; D – скорость детонации применяемого ВВ, м/с.

Тогда, исходя из продолжительности действия взрывного импульса, волна напряжений в массиве распространяется по радиусу от точки инициирования на расстояние R_t:

$$R_{tp} = t_p c_p = \frac{l_z}{D} c_p; \qquad (5)$$

$$R_{tc} = t_c c_p = \frac{l_z}{D} c_p; \qquad (6)$$

$$R_{to} = t_o c_p = \frac{2l_z}{D} c_p, \qquad (7)$$

где R_{tp}, R_{tc}, R_{to} – соответственно радиусы распространения волн напряжений при прямом, центральном и обратном способах инициирования удлиненных зарядов, м; c_p – скорость распространения продольной волны в массиве, м/с.

Скорость распространения продольной волны в массиве можно определить из выражения:

$$c_p = [E(1-\mu)/\gamma(1+\mu)(1-2\mu)]^{0,5}, \qquad (8)$$

где E – модуль Юнга, Па; μ – коэффициент Пуассона; γ – плотность горной породы, кг/м^3.

Согласно принятой схеме:

- шпуры бурились перпендикулярно обнаженной плоскости;
- заряд формировался на всю глубину шпура (с целью исключения влияния длины недозаряда);
- при фиксированных значениях d_z, g, D, σ, τ радиус взрывной воронки должен равняться расчетному радиусу.

Однако, как показывают эксперименты и результаты исследований, радиус взрывной воронки зависит также от длины заряда.

С целью установления влияния длины заряда, способа инициирования (продолжительности действия взрывного импульса) и физико-механических свойств горных пород на размеры образующейся взрывной воронки на шахтах Североуральского бокситового рудника был поставлен ряд экспериментов.

В процессе экспериментов:

1) изменялись:

- длина заряда l_z (200, 400, 600, 800, 1000 мм);
- диаметр заряда d_z (38, 42 мм);
- плотность заряжания g = 800÷1100 кг/м^3;
- тип применяемого ВВ (скорость детонации D: аммонит, аммонал);

2) определялся:

- радиус взрывной воронки R_p по формуле (1);
- радиусы распространения волн напряжения R_{tp}, R_{tc}, R_{to} по формулам (5)-(7);
- радиус распространения волны напряжений на поверхность обнажения R_{t1}, R_{t2}, R_{t3}, исходя из значений R_{tp}, R_{tc}, R_{to} и точки инициирования заряда:

$$R_{t1} = R_{tp}; \qquad (9)$$

$$R_{t2} = \sqrt{R_{tc}^2 - (0,5l_z)^2}; \qquad (10)$$

$$R_{t3} = \sqrt{R_{to}^2 - l_z^2}; \qquad (11)$$

3) измерялся фактический радиус образующейся взрывной воронки R_f.

Для определения физико-механических свойств пород в выработках, где проводились эксперименты, выбуривали керны и их исследовали в лаборатории института «СУБР-проект» (предел прочности пород на сжатие изменялся от 70 до 110 МПа).

Результаты экспериментов показали следующее:

1. В случаях, когда $R_{t1} \geq R_p$, $R_{t2} \geq R_p$, $R_{t3} \geq R_p$, образующиеся радиусы взрывных

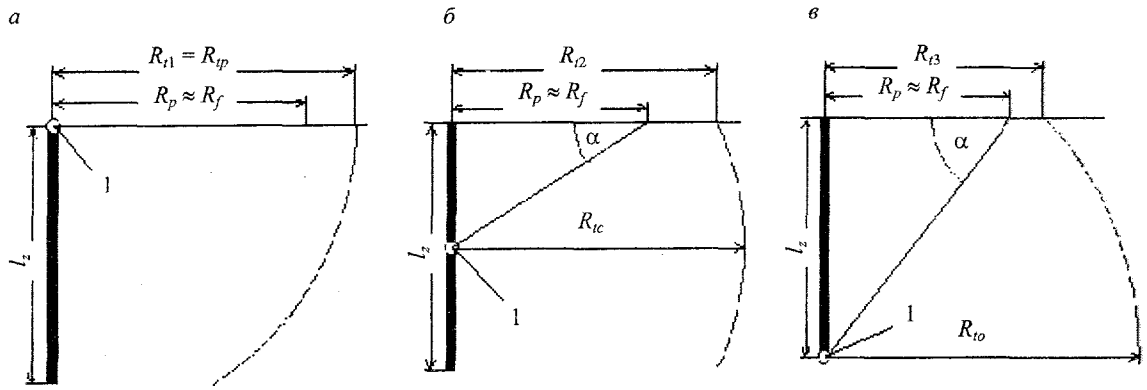


Рис.1. Схема образования воронки взрыва для случаев, когда $R_{ti} > R_p$ при прямом (*а*), центральном (*б*), обратном инициировании зарядов (*в*); 1 – точка инициирования заряда

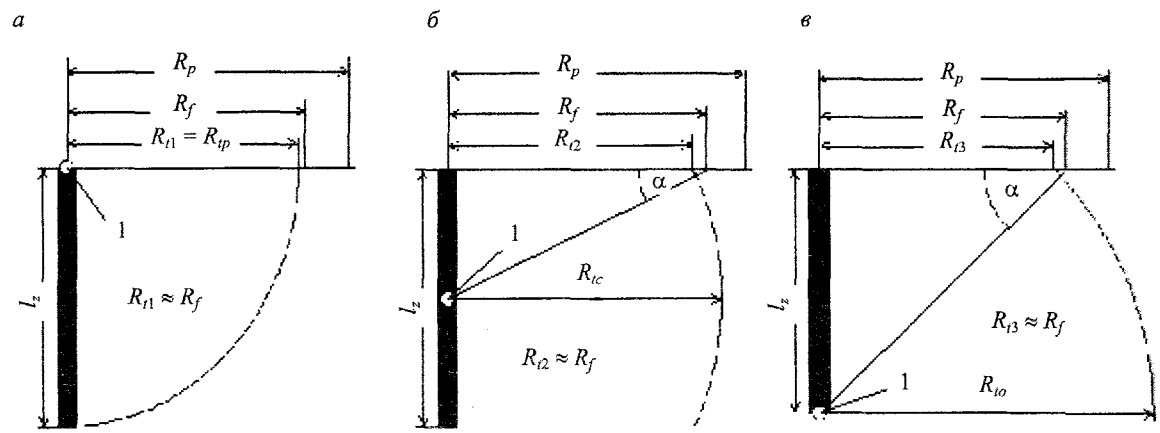


Рис.2. Схема образования воронки взрыва для случаев, когда $R_{ti} < R_p$ при прямом (*а*), центральном (*б*), обратном инициировании зарядов (*в*); 1 – точка инициирования заряда

воронок R_f оказались равными расчетному радиусу R_p, т.е. $R_p \cong R_f$ (рис.1).

2. В случаях, когда $R_{t1} \le R_p$, $R_{t2} \le R_p$, $R_{t3} \le R_p$, образующиеся радиусы взрывных воронок R_f оказались меньше расчетных и равными R_{t1}, R_{t2}, R_{t3} соответственно, в зависимости от способа инициирования удлиненного заряда, т.е. $R_{ti} \cong R_f$ (рис.2).

Из 132 взрывов 117 (87 %) совпало с описанными случаями (в пределах точности измерения радиуса взрывной воронки).

Согласно проведенным расчетам следует, что минимальная длина заряда, обеспечивающая максимально возможный радиус воронки взрыва в зависимости от схемы инициирования определяется по формулам:

• для прямого инициирования:

$$l_z = \frac{R_p D}{c_p}; \qquad (12)$$

• для центрального инициирования:

$$l_z = \frac{R_p D}{c_p \cos\alpha}, \qquad (13)$$

где $\alpha = \arcsin\frac{0{,}5D}{c_p}$;

• для обратного инициирования:

$$l_z = \frac{R_p D}{2c_p \cos\alpha}. \qquad (14)$$

Выводы

1. Радиус взрывной воронки равен радиусу распространения волны напряжений по поверхности породного обнажения за время действия взрывной нагрузки. Радиус зависит от точки инициирования заряда и не превышает размера расчетного радиуса зоны трещинообразования при воздействии на монолитный скальный массив энергией взрыва удлиненного заряда.

2. Минимальная длина заряда, обеспечивающая максимально возможный размер радиуса воронки взрыва, зависит от схемы инициирования, скорости детонации применяемого ВВ, физико-механических свойств пород взрываемого массива и определяется по формулам (12)-(14).

ЛИТЕРАТУРА

1. Диплом на открытие № 70 от 27.02.98 г. Регистрационный № 81/82. Закономерность формирования зон смятия и трещинообразования при воздействии на скальный массив энергией взрыва удлиненного заряда /А.П.Андриевский, Б.Н.Кутузов.

2. *Кутузов Б.Н.* Новая теория и новая технология разрушения горных пород удлиненными зарядами взрывчатых веществ / Б.Н.Кутузов, А.П.Андриевский. Новосибирск: Наука, 2002. 96 с.

3. *Кантор В.Х.* Влияние длины заряда на эффективность взрывания скважинных зарядов рыхления // Направленные взрывы на склонах. Фрунзе: Илим, 1980. С.84-95.

4. *Миндели Э.О.* Разрушение горных пород. М.: Недра, 1975. 600 с.

5. *Сорокин В.Т.* Рациональная длина зарядов // Повышение эффективности разработки месторождений полезных ископаемых Восточной Сибири. Иркутск, 1986. С.77-80.