УДК 622.235

Н.Н.КАЗАКОВ, А.В.ШЛЯПИН
Институт проблем комплексного освоения недр РАН,
Москва, Россия

ПОЛОСТЬ К НАЧАЛУ ВЫБРОСА ПРОДУКТОВ ДЕТОНАЦИИ В АТМОСФЕРУ

Изложена физическая модель квазистатической фазы взрыва и аналитические зависимости, позволяющие рассчитать основные параметры этой фазы.

The physical model cvazistatichesc phases of explosion and the analytical dependences is stated, allowing to calculate key parameters of this phase.

Вторая стадия безволнового развития полости известна в технической литературе под терминами «поршневое действие взрыва», «квазистатическое действие взрыва», «безволновая фаза расширения полости». В литературе эта фаза развития взрыва описывается, как правило, качественно. Аналитические зависимости, полученные с использованием модели «толстостенной трубы», мало пригодны для описания характера развития этой фазы взрыва в зоне технологического дробления породы [2].

В ИПКОН РАН проводятся исследования по изучению закономерностей развития квазистатической фазы взрыва. Параметры квазистатической фазы определяются по начальному и конечному состоянию полости. Процесс расширения полости и изменение параметров при ее расширении не являются предметом наших исследований [2].

Геометрическая модель полости квазистатической фазы взрыва принята в виде усеченной пирамиды. Схема ее сечения, перпендикулярного оси скважинного заряда, представлена на рис.1. Точкой на рисунке обозначен скважинный заряд, окружностью – камуфлетная полость. Сектор схематически представляет сечение квазистатической полости. Порода к этому моменту почти полностью вытеснена за пределы обнаженной поверхности и уже разрушена взрывом. В щели между породой начинают прорываться продукты детонации, увлекая за собой куски породы.

Заглубление заряда влияет на форму поперечного сечения полости и на соотношение ее геометрических параметров. Поперечное сечение полости представляет собой трапецию с сегментами у ее основания. Радиус малого сегмента равен радиусу камуфлетной полости [3].

При воронке нормального выброса (рис.2) ширина полуворонки B равна глубине заложения заряда W. При малом заглублении скважинного заряда ширина полуворонки больше W. При большом заглублении заряда ширина полуворонки меньше W. Жирной сплошной линией на рис.2 обозначены границы полости; линиями со стрелками – расстояния от центра заряда до границы полости.

Зная три геометрических параметра: B, W, $r_{\text{п}}$, – можно определить все остальные параметры усеченной пирамиды. Вспомогательные углы, используемые при вычислении линейных параметров определяют по формулам:

$$\beta_0 = \operatorname{arctg}\left(\frac{B}{W}\right);\ \beta_1 = \arccos\left(\frac{r_{\text{п}}}{\sqrt{W^2+B^2}}\right);$$

$$\beta_2 = \arccos\left(\frac{r_{\text{п}}}{B}\right);\ \beta = \beta_0 + \beta_1 - \beta_2;$$

$$\alpha_1 = \beta_0 - \beta_1,$$

где $r_{\text{п}}$ – радиус камуфлетной полости.

Ширина большого полуоснования трапеции

$$\hat{A}_{\text{ò}} = B\sin\beta;$$

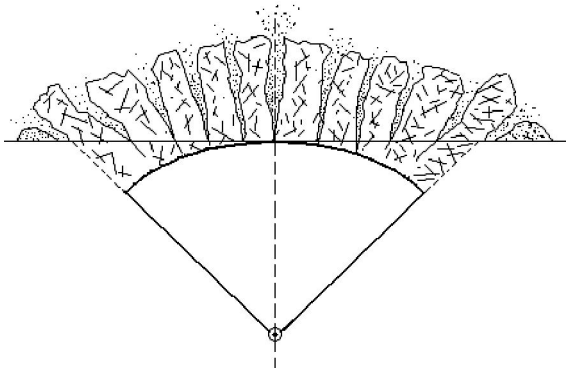


Рис.1. Схема развития процесса взрыва к моменту начала прорыва продуктов детонации

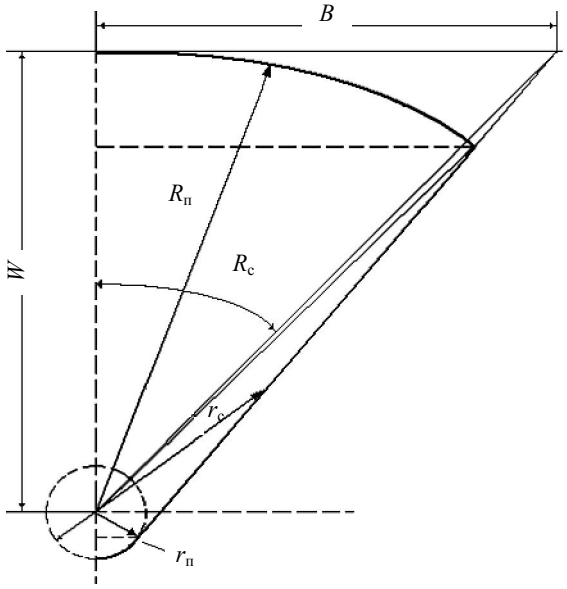


Рис.2. Графическая модель полуворонки нормального выброса

высота трапеции

$$h_т = W\cos\beta + r_в\cos\left(180^\circ - \alpha\right);$$

высота малой части трапеции

$$h_2 = r_в\cos\left(180^\circ - \alpha_1\right);$$

ширина малого полуоснования трапеции

$$b_т = r_в\sin\left(180^\circ - \alpha_1\right);$$

объем трапецеидальной части полости

$$V_т = Lh_т\left(B_т + b_т\right),$$

где L – толщина слоя породы для которого производится расчет объемных параметров.

Объем большого и малого сегментов полости

$$V_{с.б} = \frac{2\pi LB^2\beta}{360} - LB_т\left(h_1 + (B - W)\right) \text{ при } W < B;$$

$$V_{с.б} = \frac{2\pi LB^2\beta}{360} - h_т B_т L \text{ при } W \ge B;$$

$$V_{с.м} = 2L\left[\frac{\pi r_в\left(180 - \alpha_1\right)}{360}\right] - h_2 b_т L.$$

Объем полости к концу безволновой стадии ее расширения

$$V_п = V_т + V_{п.б} + V_{п.м};$$

давление в полости к концу ее расширения

$$Р_п = Р_1\left(\frac{V_1}{V_п}\right)^{1,3}.$$

Остаточная энергия в продукте детонации к концу второй стадии расширения полости

$$Э_{п2} = Р_п V_п / 0{,}3;$$

энергия, переданная в породу за время развития квазистатической фазы взрыва,

$$Э_{разр2} = Э_{п1} - Э_{п2}.$$

Энергию в деформированном теле чаще определяют по напряжениям, возникшим при его деформировании. Это трудный путь решения задачи, особенно при несимметричном развитии процесса.

При деформировании породы квазистатическим действием взрыва по разным направлениям в породу передается разное количество энергии. В любой фиксированный момент времени давление по всей поверхности полости при развитии этой фазы одинаково. Поэтому можно принять, что количество энергии, переданной по разным направлениям, пропорционально смещению границы полости по этим направлениям.

Расстояние от центра взрыва до границы полости

$$R_{\text{ï}} = \sqrt{(W-B)^2 + B^2 + 2(W-B)B\cos\alpha} \quad \text{при } \alpha \le \beta;$$

$$R_{\text{ï}} = \frac{r}{\cos(\alpha_1 - \alpha)} \quad \text{при } \alpha \ge \beta.$$

Смещение по направлениям

$$L_1 = R_{\text{ï}} - r_{\text{ï}}.$$

Радиус сектора

$$R_{\text{c}} = \frac{W}{\cos(\alpha + \Delta\alpha)} \quad \text{при } \alpha \le \beta;$$

$$R_{\text{c}} = \frac{W}{\sin(\alpha + \Delta\alpha)} \quad \text{при } \alpha \ge \beta,$$

где $\Delta\alpha$ – ширина шага счета по α, т.е. угол раствора секторов.

Объем сектора

$$\Delta V = \frac{\pi R_{\text{c}}^2 \Delta\alpha}{360} - \frac{16\pi r_{\text{c}}^2 \Delta\alpha}{360}.$$

Суммарная длина смещений границы полости по всем выбранным направлениям

$$SL = \sum_{\alpha=0}^{\alpha=1} \frac{2L_1}{\Delta\alpha}.$$

Энергия на метр смещения границы полости

$$\acute{Y}L = \frac{\acute{Y}_{\text{ïåð}2}}{SL};$$

энергия, переданная по каждому выбранному направлению,

$$\acute{Y}_{\text{ï}} = \acute{Y}LL_1.$$

Плотность энергии в секторе по каждому выбранному направлению

$$Đ\acute{Y}_{\text{ï}} = \frac{\acute{Y}_{\text{ï}}}{\Delta V}.$$

Полученные аналитические зависимости дают возможность рассчитать количественные значения энергии и плотности энергии этой фазы процесса в объеме зоны технологического дробления породы взрывом скважинного заряда.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Викторов С.Д.* Сдвижение и разрушение горных пород / С.Д.Викторов, М.А.Иофис, С.А.Гончаров. М.: Наука, 2005. 277 с.

2. *Казаков Н.Н.* Взрывная отбойка руд скважинными зарядами. М.: Недра, 1975. 185 с.

3. *Казаков Н.Н.* Вторая стадия безволнового расширения полости сосредоточенного заряда ВВ // Зап. Горного института. 2001. Т.148(1). С.127-130.