

УДК 622.235.2

В.Ф. Джос, В.И. Филь

РАСЧЕТ ИНГРЕДИЕНТОВ ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ВЗРЫВЕ ЗАРЯДОВ ПРОСТЕЙШИХ ВВ

Аналитичними розрахунками встановлені деякі особливості формування поля напруг дією вибуху зарядів простіших ВР у твердому середовищі. Розміри зон руйнування для гірських порід золоторудних кар'єрів Кокпатас (Узбекистан) залежать від їх фізико-механічних характеристик та типу використаної вибухівки. Розрахунки дають можливість корегувати параметри буровибухових робіт для покращення стану подрібнення гірської маси.

Особенности газодинамических процессов, происходящих в зарядной камере при детонации зарядов простейших ВВ, обуславливают параметры механического воздействия взрыва на горный массив сложноструктурного строения.

Для оценки разрушающего действия таких зарядов определяли параметры поля напряжений, возникающих при взрыве в твердой среде.

Математическая задача формируется следующим образом. В безграничном упругом пространстве находится бесконечная круговая цилиндрическая полость радиуса r_0 , к боковой поверхности которой приложено давление $P(t)$. Задача определения поля напряжений в области $r \geq r_0$, сводится к решению уравнения движения твердой среды

$$\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{2} \frac{\partial u}{\partial r} - \frac{u}{r^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (1)$$

при следующих краевых условиях:

$$\begin{aligned} u|_{t=0} = 0; \quad u|_{r \rightarrow \infty} = 0; \quad \frac{\partial u}{\partial t}|_{t=0} = 0; \\ \rho c^2 \left(\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\nu}{1-\nu} \cdot \frac{u}{r} \right) \Big|_{r=r_0} = -P(t), \end{aligned} \quad (2)$$

где $u(r, t)$ – перемещение в радиальном направлении, м; ρ – плотность среды, кг/м³; c – скорость распространения продольных волн, м/с.

Будем считать, что давление на стенки зарядной полости зависит только от времени и изменяется по закону:

$$P(t) = \begin{cases} P_0 \frac{t}{\tau}, & \text{при } 0 \leq t \leq \tau; \\ \frac{P_0}{T-\tau} (T-t), & \text{при } \tau \leq t \leq T; \\ 0, & \text{при } t \geq T, \end{cases} \quad (3)$$

где τ – время нарастания нагрузки до максимального значения, с; T – время приложения нагрузки, с; P_0 – максимальное давление в зарядной полости, Па.

Параметры импульса давления в зарядной полости P_0 , τ определяются в случае применения одного и того же типа ВВ (простейшие ВВ), характеристиками протекания детонации и газодинамических процессов, происходящих при взрыве. Величина давления P_0 для конкретного типа ВВ рассчитывается по формуле:

$$P_0 = \frac{1}{2} \frac{\rho_{ВВ} D^2}{K + 1}, \quad (4)$$

где $\rho_{ВВ}$ – плотность взрывчатого вещества, кг/м³; D – скорость детонации ВВ, м/с; K – показатель адиабаты взрыва.

Время нарастания давления для принятой расчетной схемы (без учета неодновременности приложения давления по высоте колонки заряда) будем считать равным:

$$\tau \approx \frac{r_0}{D} + \tau_{\text{э}}, \quad (5)$$

где $\tau_{\text{э}}$ – время химического разложения ВВ, с.

Время приложения нагрузки определяется продолжительностью существования высокого давления в зарядной полости, которая зависит от прочностных свойств окружающей заряд среды и условий истечения из скважин газообразных продуктов взрыва ВВ.

Рассмотрим относительные характеристики импульсов давления на стенки зарядной полости, образующихся при взрыве зарядов простейших ВВ:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{\rho_{ВВ_1} \cdot D_1^2}{\rho_{ВВ_2} \cdot D_2^2}, \quad (6)$$

или считая среднюю плотность ВВ постоянной, получим:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{D_1^2}{D_2^2}, \quad (7)$$

где индексы «1» и «2» относятся, соответственно, к эталонному ВВ (аммонит б ЖВ) и ВВ простейшего состава. Аналогично для времени нарастания нагрузки на основании формулы (5) при условии:

$$\frac{r_0 + \tau_{\text{э}1} \cdot D_1}{r_0 + \tau_{\text{э}2} \cdot D_2} \approx 1; \quad (8)$$

имеем:

$$\frac{\tau_1}{\tau_2} \approx \frac{D_1^2}{D_2^2}. \quad (9)$$

Для линейно-упругой среды компоненты тензора напряжений определяется следующими соотношениями:

$$\begin{aligned}
 \sigma_r &= \rho c^2 \left(\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\nu}{1-\nu} \cdot \frac{u}{r} \right); \\
 \sigma_\varphi &= \rho c^2 \left(\frac{u}{r} + \frac{\nu}{1-\nu} \cdot \frac{\partial u}{\partial r} \right); \\
 \sigma_S &= \frac{\sigma_\varphi - \sigma_r}{r}; \quad \sigma_{r,\varphi,S} = \frac{\sigma_{r,\varphi,S}}{P_2}.
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

Решение поставленной задачи произведено методом интегрального преобразования Лапласа, расчеты выполнены на ЭВМ. В ходе расчетов определялись изменение максимальных радиальных и тангенциальных напряжений на различных расстояниях от центра заряда и формы импульсов напряжений для зарядов граммонита 79/21 (эталонное ВВ) и зарядов простейших ВВ. Импульс давления на боковую поверхность зарядной полости характеризуется следующими параметрами: $P_1 = 4,5 \cdot 10^9$ Па, $\tau_1 = 2,5 \cdot 10^{-5}$ с, $T_1 = 2,5 \cdot 10^{-4}$ с (граммонит 79/21), при взрыве зарядов простейших ВВ: $P_2 = 0,6-0,7P_1$, $\tau_2 = 1,4\tau_1$, $T_2 = 0,9T_1$. Расчеты производились для сред, аналогичных по своим физико-механическим свойствам горным породам разрабатываемых карьером Кокпатас (Навоийский горно-металлургический комбинат). Указанные породы характеризуются следующими константами: $E = 6,85 \cdot 10^{10}$ Па; $\nu = 0,20$; $c = 3400$ м/с; $\rho = 2,35 \cdot 10^3$ кг/м³.

Анализ полученных результатов расчетов показывает, что максимальные сжимающие и растягивающие напряжения во всем исследуемом диапазоне расстояний от центра взрыва простейших бестротилового ВВ, обеспечивают требуемую степень разрушения горных пород мелкоблочной и среднеблочной структуры.

Размеры областей разрушения, интерпретируемые в первом приближении как радиусы зон трещинообразования, определяются как характером напряженного состояния вокруг зарядной полости, так и расклинивающим действием газообразных продуктов детонации ВВ. Если пренебречь расклинивающим действием газообразных продуктов детонации, то можно оценить относительные размеры зон разрушения для рассматриваемых импульсов напряжений. Все зоны смятия напряжения убывают пропорционально $1/\sqrt{r_0}$, тогда согласно первой теории прочности получим

$$\sigma_r \approx \frac{\sigma_{m_1}}{\sqrt{r_1}}; \quad \sigma_R \approx \frac{\sigma_{m_2}}{\sqrt{r_2}}; \quad \frac{r_1}{r_2} \approx \frac{\sigma_{m_1}^2}{\sigma_{m_2}^2},
 \tag{11}$$

где $\sigma_{r,R}$ – пределы прочности материала на сжатие, Па; σ_{m_1} и σ_{m_2} – пределы прочности материала на растяжение, Па; r_1 и r_2 – радиусы зон разрушения для конкретного типа используемого ВВ, м.