

## ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ УДАРНОЙ ВЗРЫВНОЙ ВОЛНЫ ПРИ ЕЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ЭЛЕМЕНТАМИ ЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ

Ю. В. Попов, С. А. Тимухин, В. Ф. Копачев, Э. М. Горшкова

В статье рассмотрены вопросы оценки газодинамических параметров ударной взрывной волны, характерной при взрыве негабаритов на открытых горных работах. Полученные результаты могут быть использованы при расчетах и обосновании конструктивных параметров защитных устройств, горных пород.

**Ключевые слова:** сильный точечный взрыв; удельная взрывная волна; зависимости газодинамических параметров.

Анализ закономерностей распространения ударной взрывной волны, образующейся при взрыве негабаритов горных пород, и её воздействия на элементы аэродинамически активных защитных устройств [1, 2, 3] показывает, что они в достаточно большой степени соответствуют сильной автомодельной ударной взрывной волне полусферической формы [4]. Кроме того такие волны относятся к нестационарным, так как процесс их распространения имеет вполне определенную тенденцию развития во времени и, следовательно, его характеристики зависят от начала отсчета. Однако, если проанализировать этот процесс не на всем протяжении его развития от начального отрезка до зату-

хания, то на некоторых отрезках, например, при прохождении волны через элементы (листовые или профильные лопатки) защитного устройства он может быть представлен как стационарный. Отсюда процесс в целом может быть представлен как квазистационарный с соответствующим исследованием его характеристик, необходимых, например, при обосновании рациональных параметров аэродинамически активных устройств при взрывном способе разрушения негабаритов горных пород на карьерах, фундаментах зданий и сооружений в строительстве и т. п.

Течение воздушных потоков в межлопаточных каналах аэродинамически активных защитных устройств (ЗУ) (рис. 1) относится

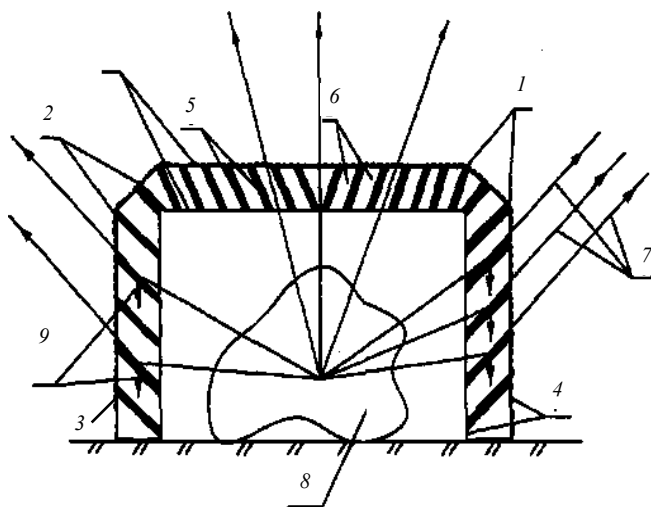


Рис. 1. Схема аэродинамически активного защитного устройства: 1, 2 – защитные стенки; 3, 4 – опорные конструкции устройства; 5 – лопатки решетки потолочины; 6 – межлопаточные каналы потолочины; 7 – направление ударной взрывной волны; 8 – взрываемый негабарит; 9 – векторы прижимающей силы

к числу сложных и нестандартных и поэтому математическое его описание затруднительно. Однако, в соответствии с принятым под-

ходом его правомерно представить как квазипотенциальное, что упростит рассмотрение течения и получение результатов, которые

могут быть обобщены и на случаи реальных процессов.

Согласно теории сильного точечного взрыва при отношении расстояния от центра взрыва до фронта ударной волны к радиусу заряда  $r_0 : r_n / r_0 \leq 10$  справедливы зависимости и формулы, полученные для сильных ударных волн. Анализ данного неравенства показывает, что отношение  $r_n / r_0$  характерно для рассматриваемых защитных устройств. Отсюда, выводы, полученные для идеального сильного точечного взрыва, могут быть распространены и на реальный взрыв.

Следовательно, при рассмотрении свойств реальной взрывной волны перепад давления в волне  $\Delta P = P_n - P_a$ , где  $P_n$  – избыточное давление на фронте ударной взрывной волны (УВВ), а  $P_a$  – атмосферное давление. Значение  $\Delta P$  может быть представлено как  $\Delta P = K_1 \cdot P_n$ , где  $K_1$  – коэффициент, учитывающий собственную энергию воздуха. Значение  $P_n$  является одним из основных газодинамических параметров взаимодействия УВВ в нашем случае с лопатками аэродинамических активных ЗУ. Обоснование этого параметра может осуществляться как на экспериментальной так и на теоретической основе.

В первом случае  $P_n = f(Q ; r)$ , где  $Q$  – масса сосредоточенного заряда;  $r$  – расстояние от заряда до фронта волны.

Например

$$P_n = 1,4Q/r^3 + 0,43\left(\sqrt[3]{Q/r}\right)^2 + 0,11\sqrt[3]{Q/r}.$$

Из существующих экспериментальных зависимостей  $P_n = f(Q ; r)$  в каждом конкретном случае обычно требуется соответствующее обоснование их выбора.

Во втором случае избыточное давление может быть определено на основе того, что на фронте сильной ударной волны выполняются следующие условия:

$$P_n = \frac{2}{\gamma + 1} \rho_a \cdot C_{уд}^2; \quad (1)$$

$$U_n = \frac{2}{\gamma + 1} C_{уд};$$

$$\frac{\rho_n}{\rho_a} = \frac{\gamma + 1}{\gamma - 1},$$

где  $\rho_a$  – плотность атмосферного воздуха;  $\rho_n$  – плотность на фронте ударной волны;  $C_{уд}$  – скорость фронта ударной волны;  $U_n$  – скорость воздуха на фронте ударной волны;  $\gamma$  – показатель адиабаты газа (в условиях нашей задачи величина постоянная).

Полная энергия сильной ударной волны

$$E = \frac{8\pi}{9} \frac{P_n}{\gamma - 1} r_n^3, \quad (2)$$

где  $r_n$  – радиус фронта ударной волны.

С другой стороны

$$E = mQ = 4/3\pi r_0^3 \rho_0 Q, \quad (3)$$

где  $r_0$  – радиус заряда;  $m$  – масса заряда;  $Q$  – энергия единицы массы заряда;  $\rho_0$  – плотность заряда.

Приравнявая (2) и (3) с учетом атмосферного давления, после преобразований получаем для наших условий

$$\Delta P = K_1 P_n = \frac{3(\gamma - 1)\rho_0 Q}{2} \left(\frac{r_0}{r_n}\right)^3.$$

Согласно (1) следует, что скорость фронта ударной волны

$$C_{уд} = \sqrt{\frac{\Delta P(\gamma + 1)}{K_1 \cdot 2\rho_a}}.$$

Значения в этой формуле могут использоваться как экспериментальные, так и полученные теоретическим путем.

Таким образом, на основе предложенного подхода могут быть установлены основные исходные параметры УВВ, воздействующей на элементы ЗУ, необходимые для прочностных расчетов, конструирования и проектирования аэродинамически активных защитных устройств, обладающих более высокими технико-экономическими показателями по сравнению с аналогами, как с точки зрения устойчивости при взрывах, так и их массогабаритности.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов Ю. В., Тарасов С. П., Горшкова Э. М. К вопросу обоснования параметров аэродинамически активных защитных устройств на основе рассмотрения квазипотенциальных течений в их решетках: материалы

Междунар. науч.-практ. конф. «Уральская горная школа регионам». Екатеринбург: Изд-во УГГУ. 2011. С. 381–382.

2. Защитное устройство для разрушения негабаритов горных пород: пат. 101540 Рос. Федерация. № МПК F42Д 5/00; заявл. 05.04.2010; опубл. 20.01.2011. Бюл. 2.

3. Защитное устройство для разрушения негабаритов горных пород: пат. 107343 Рос. Федерация. № МПК F42Д 3/04; заявл. 12.01.2011; опубл. 10.08.2011. Бюл. 22.

**Попов Юрий Владимирович** – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой горной механики. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет.

**Тимухин Сергей Андреевич** – доктор технических наук, профессор кафедры горной механики. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет.

**Копачев Валерий Феликсович** – кандидат технических наук, доцент кафедры горной механики. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: u1331@yandex.ru

**Горшкова Элла Михайловна** – заведующая лабораторией кафедры горной механики. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет.