

УДК 622.235

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА ДЕТОНАЦИОННЫХ ВОЛН В СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДАХ С ОСЕВОЙ ВОЗДУШНОЙ ПОЛОСТЬЮ

**Хужакулов А.М., Каримов Ё.Л., Латипов З.Ё., Номдоров Р.У.,
Хаккулов С.**

Каршинский инженерно-экономический институт, Узбекистан

Исследован режим детонационных волн в удлиненных зарядах ВВ с осевой воздушной полостью. Установлена скорость распространения фронта ударно-воздушной волны в осевой воздушной полости в зависимости от скорости детонации промышленных ВВ. Установлены зависимости распространения фронта ударно-воздушной волны в осевой воздушной полости скважинного заряда от площади сечения полости на различных расстояниях и массы заряда ВВ. Определено время действия фронта ударно-воздушной волны в осевой воздушной полости скважинного заряда в зависимости от площади сечения полости и массы заряда ВВ на различных расстояниях.

При описании действия скважинных зарядов ВВ основное внимание уделяется процессу развития детонационных волн, который достаточно полно описан в работах [1 – 5].

На основании теоретических и экспериментальных исследований [6 – 10] исследован режим детонационных волн в зарядах ВВ с осевой воздушной полостью.

Рассмотрим детонацию скважинных зарядов ВВ с осевой воздушной полостью, схема которого приведена на рис. 1.

Под воздействием начального импульса скважинный заряд ВВ с осевой воздушной полостью детонируется, образуя детонационные волны, распространяющиеся со скоростью D . В результате продуктов детонационной волны в зазоре между зарядом – осевой воздушной полостью образуется своеобразный газовый поршень – ударная воздушная волна, со скоростью ω . Возникающая в канале ударная волна по общим законам газодинамики должна характеризоваться большей скоростью, чем скорость газового поршня.

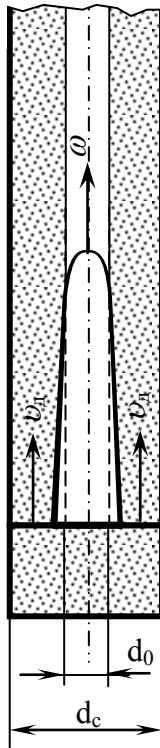


Рис. 1 – Схема детонации скважинных зарядов ВВ с осевой воздушной полостью: d_c – диаметр скважины; d_0 – диаметр осевой воздушной полости; V_0 – скорость детонации; ω – скорость воздушной волны

Вследствие возникновения канальной ударной волны скважинного заряда впереди фронта детонации вещество уплотняется, особенно из ВВ малой плотности. В результате распространения волны сжатия по веществу от поверхности контакта с ударной волной в удлиненном заряде возникает коническая область уплотнения, прилегающая своим основанием к фронту детонационной волны степень деформации скважинного заряда, помимо физических свойств ВВ, зависит от длины и давления

ударной волны, который подтверждается в работе [9].

Исследования [9, 10] канального эффекта с помощью рентгеноимпульсной съемки показали, что впереди детонации вещество уплотнено, а сечение уменьшено. Уплотнения по поперечному сечению и по длине заряда неравномерно. Рентгенограмма позволяет заключить, что по зазору распространяется ударно-воздушная волна, причем во всех случаях на начальном участке её $\omega > D$.

Для подтверждения гипотезы о том, что в зазоре со скоростью ω движутся не продукты детонации, а ударная волна, выполнены опыты в разреженной атмосфере. При уменьшении давления воздуха в трубе до 1,33 кПа в ВВ детонация затухала на участке, примерно вдвое больше, чем в опытах при атмосферном давлении. Это является следствием снижения давления в канале, обуславливающего уплотнение ВВ впереди фронта детонации, что связано с уменьшением амплитуды волны, распространяющейся по разреженной атмосфере.

Таким образом, в осевой воздушной полости скважинного заряда ВВ распространяется ударная воздушная волна прямоугольного профиля, опережающая фронт детонации.

К моменту завершения формирования ударного фронта скорость распространения ударно-воздушной волны ω может быть выражена как функция скорости детонации D , исходя из общих газодинамических зависимостей:

$$\omega = u_d \frac{\rho}{\rho - \rho_0}; \quad \frac{\rho}{\rho_0} = \frac{(k+1)p + (k-1)p_0}{(k-1)p + (k-1)p_0}, \quad (1)$$

где k – показатель изоэнтропы воздуха;

ρ, ρ_0 – соответственно, площадь сечения скважинного заряда и осевой воздушной полости, m^2 ;

u_d – скорость газового поршня, m/c .

В данном случае величина u_d равна скорости распространения детонационной волны. Давление на границе раздела ПВ–воздух можно принято приближено равным среднему давлению ПВ в зарядной камере, которое определяется по формуле:

$$p_{ПВ} = RT_{\text{эвр}} \rho_3 / (1 - \alpha \rho_3), \quad (2)$$

где ρ_3 – плотность заряжения в трубе; α – коволюм ПВ.

Тогда:

$$\omega = D \frac{(k+1)p + (k-1)p_0}{(k-1)p + (k+1)p_0}, \text{ м/с.} \quad (3)$$

При высокой плотности заряжания, т.е. при малом отношении площади сечения скважинного заряда к площади сечения осевой воздушной полости $p \geq p_0$, предельная скорость ударно-воздушной волны, составляет:

$$\omega = D(k+1)/2, \text{ м/с.}$$

Приняв, показатель изоэнтропы воздуха, равной $k=1,5$, получим формулу расчета скорости ударно - воздушной волны по формуле:

$$\omega = 1,25D, \text{ м/с.} \quad (4)$$

В результате экспериментальных и практических исследований авторов работ [1-10] установлено, что при взрыве заряда ВВ в воздухе происходит быстрое местное повышение температуры и давления газообразных продуктов взрыва, которые резким ударом сжимают прилегающий к заряду воздух. В результате в воздухе возникает ударно-воздушная волна, представляющая собой распространяющийся со сверхзвуковой скоростью скачок давления. За фронтом с меньшей скоростью движется воздушный поток, давление в котором падает до атмосферного по мере удаления от фронта и даже переходит в фазу разряжения.

Для расчета максимальной величины избыточного давления в безграничной воздушной среде при взрывании сферического заряда пользуются формулой М.А.Садовского, уточненной Г.И.Покровским:

$$\Delta P = 0,84 \frac{\sqrt[3]{G}}{R} + 2,7 \frac{\sqrt[3]{G^2}}{R^2} + 7 \frac{\sqrt[3]{G^3}}{R^3}, \text{ кгс/см}^2 \quad (5)$$

где G – масса заряда ВВ, кг; R – расстояние до места взрыва, м.

Процесс формирования фронта ударно-воздушной волны при взрыве заряда ВВ в осевой полости происходит иначе. Ударно-воздушная волна с криволинейным фронтом вступает

во взаимодействие со стенками осевой полости. Происходит регулярное отражение и образуется система падающей и отраженной волны с общими точками на плоскостях отражений. Далее отраженная волна нагоняет падающую и происходит нерегулярное отражение, результатом которого является возникновение участков плоского фронта.

Для практических расчетов избыточного давления на фронте ударно-воздушной волны при ее движении по прямой выработке, авторами [1, 9] рекомендованы следующие зависимости:

$$\Delta P = \left[44 \frac{G}{S \cdot R} + 9,2 \left(\frac{G}{S \cdot R} \right)^{2/3} + 1,46 \left(\frac{G}{S \cdot R} \right)^{1/3} \right] \cdot 10^5, \text{Па}, \quad (6)$$

где S – площадь сечения осевой воздушной полости, м^2 ;
для времени действия избыточного давления

$$\tau = 0,92 \frac{R}{c} \sqrt[6]{\frac{G}{S \cdot R}} \cdot 10^3, \text{мс} \quad (7)$$

где c – скорость звука, м/с .

В результате теоретических исследований установлены зависимости распространения фронта ударно-воздушной волны в осевой воздушной полости скважинного заряда в зависимости от скорости детонации ВВ, его плотности, от площади сечения полости и массы заряда ВВ на различных расстояниях (рис. 2-4).

Полученная зависимость, приведенная на рис. 2, показывает, что с увеличением площади сечения полости от 0,2 до 0,8 м^2 избыточное давление на фронте ударно-воздушной волны в осевой воздушной полости скважинного заряда ВВ снижается от 350 до 70 МПа.

Полученная зависимость, приведенная на рис. 3, показывает, что с увеличением массы заряда от 100 до 500 кг избыточное давление на фронте ударно-воздушной волны в осевой воздушной полости скважинного заряда возрастает от 60 до 300 МПа.

Зависимость на рис. 4 показывает, что с увеличением расстояния от 10 до 50 м избыточное давление на фронте ударно-воздушной волны в осевой воздушной полости скважинного заряда снижается от 350 до 60 МПа.

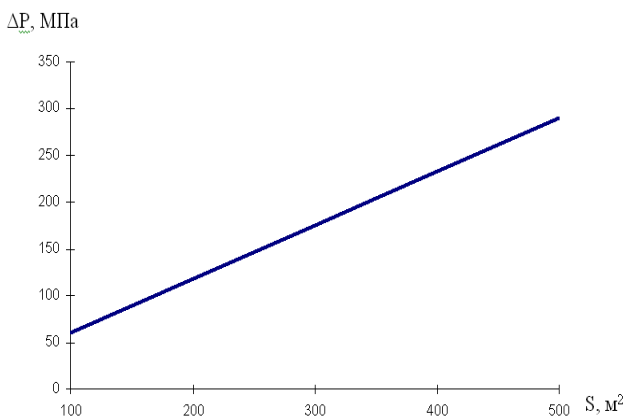


Рис. 2 – Распространение фронта ударно-воздушной волны в осевой воздушной полости скважинного заряда в зависимости от площади сечения полости

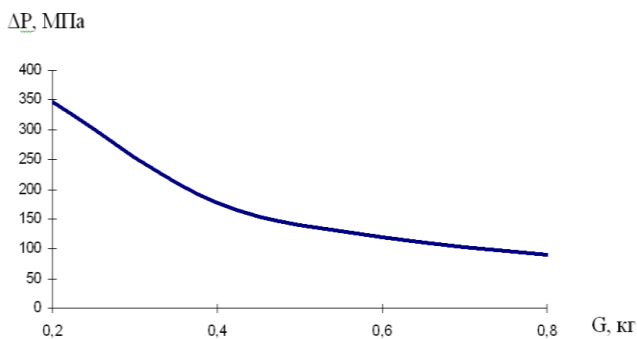


Рис. 3 – Распространение фронта ударно-воздушной волны в осевой воздушной полости скважинного заряда в зависимости от массы заряда ВВ

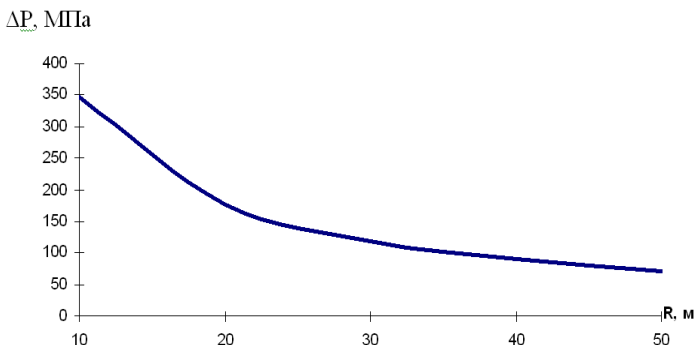


Рис. 4 – Распространение фронта ударно-воздушной волны в осевой воздушной полости скважинного заряда в зависимости от расстояния

В результате теоретических исследований также установлены зависимости изменения времени действия фронта ударно-воздушной волны в осевой воздушной полости скважинного заряда от площади сечения полости и массы заряда ВВ на различных расстояниях (рис. 5 – 7).

Установлено, что с увеличением площади сечения полости от 0,2 до 0,8 м² время действия избыточного давления на фронте ударно-воздушной волны в осевой воздушной полости скважинного заряда ВВ снижается от 115 до 90 мс.

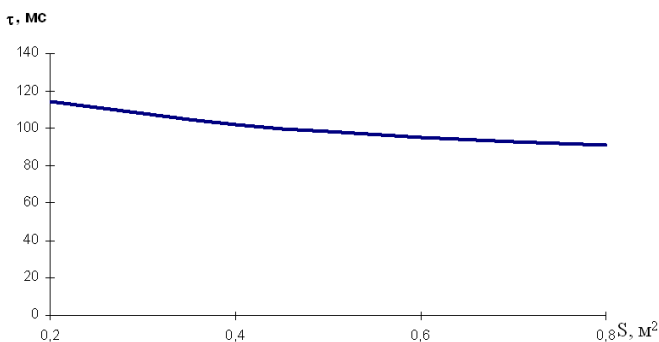


Рис. 5 – Изменение времени действия избыточного давления фронта ударно-воздушной волны в осевой воздушной полости скважинного заряда в зависимости от площади сечения полости

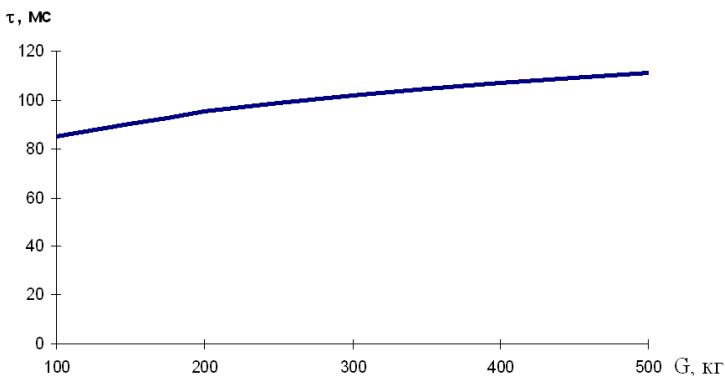


Рис. 6 – Изменение времени действия избыточного давления фронта ударно-воздушной волны в осевой воздушной полости скважинного заряда в зависимости от массы заряда ВВ

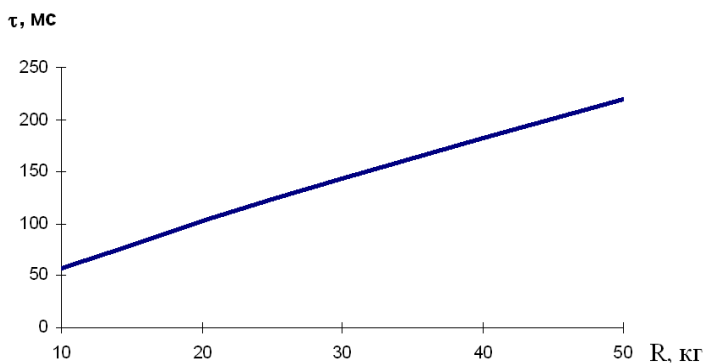


Рис. 7 – Изменение времени действия избыточного давления фронта ударно-воздушной волны в осевой воздушной полости скважинного заряда в зависимости от расстояния

С увеличением массы заряда ВВ от 100 до 500 кг время действия избыточного давления на фронте ударно-воздушной волны в осевой воздушной полости скважинного заряда ВВ возрастает от 85 до 115 мс.

С увеличением расстояния от центра взрыва от 10 до 50 м время действия избыточного давления на фронте ударно-воздушной волны в осевой воздушной полости скважинного заряда ВВ возрастает от 60 до 225 мс.

Таким образом, исследован режим детонационных волн в удлинённых зарядах ВВ с осевой воздушной полостью. Установлена скорость распространения фронта ударно-воздушной волны в осевой воздушной полости в зависимости от скорости детонации промышленных ВВ. Также установлены зависимости распространения фронта ударно-воздушной волны в осевой воздушной полости скважинного заряда от площади сечения полости на различных расстояниях и массы заряда ВВ. Определено время действия фронта ударно-воздушной волны в осевой воздушной полости скважинного заряда в зависимости от площади сечения полости и массы заряда ВВ на различных расстояниях.

Библиографический список

1. Покровский Г.И. Взрыв. – М., 1973. – 182 с.
2. Родионов В.Н., Адушкин В.В. и др. Механический эффект подземного взрыва. – М., Наука, 1976. – 285 с.
3. Ханукаев А.Н. Физические процессы при отбойке горных пород взрывом. – М., Недра, 1974. – 224 с.
4. Адушкин В.В. Влияние плотности и влажности песчаного грунта на размеры котловой полости при камуфлетном взрыве // ФГВ, 1979. – №3. – С. 107 – 116.
5. Ляхов Г.М. Основы динамик взрывных волн в грунтах и горных породах. – М.: Недра, 1974. – 192 с.
6. Дубнов Л.В., Бахаревич Н.С., Романов А.И. Промышленные взрывчатые вещества. – М.: «Недра», 1988. – 358 с.
7. Загуменов А.С., Титова Н.С., Фадеенко Ю.И., Чистяков В.П. – Прикладная механика и техническая физика. – Москва, 1969. – №2. – С. 79-83.
8. Лобанов В.Ф., Фадеенко Ю.И. Кумуляция продуктов детонации полого цилиндрического заряда. – Физика горения и взрыва. – Москва, 1974. – №1. – С. 119 – 124.
9. Салганик В.А., Воротеляк Г.А., Метрофанов В.В., Филипов Н.Ф. Скважинные заряды взрывчатых веществ с осевой воздушной полостью. – К.: Техника, 1986. – 88 с.
10. Бабаянц Г.М., Мартыненко В.П., Черненко А.Р. и др. Скважинная отбойка руды с использованием зарядов с осевой воздушной полостью. Обзор. информ. М.: Черметинформация, 1984 – 22 с.