

36. Н. Ф. Calcote. Comb. Flame, 1957, 1, 385.
 37. Г. Месся. Отрицательные ионы. М.: Мир, 1979.
 38. Л. М. Биберман, В. С. Воробьев, И. Т. Якубов. Кинетика неравновесной низкотемпературной плазмы. М.: Наука, 1982.
 39. Ю. А. Николаев, М. Е. Топчийн. ФГВ, 1979, 15, 5.
 40. С. А. Ждан, В. И. Феденок. ФГВ, 1982, 18, 6.
 41. К. Шимони. Физическая электроника. М.: Энергия, 1977.
 42. D. R. Bates. Phys. Rev., 1955, 78, 492.

ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ПРЕПЯТСТВИЕМ ВЗРЫВНЫХ ВОЛН ОТ СФЕРИЧЕСКОЙ ДЕФЛАГРАЦИИ

С. А. Быстров, В. А. Горев

(Москва)

Свойства взрывных волн от сферической дефлаграции определяются законом сгорания газового облака, поэтому их поведение отлично от волн, обязанных своим происхождением детонации тротила. Например, в ближней зоне взрыва максимальное избыточное давление положительной фазы этих волн значительно меньше, а продолжительность этой фазы больше, чем для волн от взрыва тротила. По мере удаления от источника взрыва волны от дефлаграции затухают медленнее, и их нельзя описать эквивалентным тротильным взрывом. В [1] дано подробное сравнение основных характеристик взрывных волн (максимальное избыточное давление и импульс положительной фазы волны) для разных источников взрыва. Там же отмечается отличие профилей взрывных волн при дефлаграции от профиля волны тротильного взрыва.

В настоящей работе делается попытка обнаружить и оценить ту разницу действия взрывных волн на препятствия, которая обуславливается только особенностями их профиля. Максимальное избыточное давление положительной фазы волны и ее импульс берутся при этом одинаковыми.

Существенны следующие особенности взрывных волн от газовой дефлаграции: 1) профиль положительной фазы волны не имеет ударного фронта; 2) амплитуда волны разрежения может быть в несколько раз больше амплитудного значения давления в положительной фазе волны; 3) импульс волны разрежения может быть больше импульса первой положительной фазы волны, и в этом случае за волной разрежения следует вторая фаза сжатия. Экспериментально зарегистрированные профили волн с отмеченными особенностями приведены в [1].

Предполагается, что препятствие воспринимает падающую волну, не внося существенных искажений в ее профиль эффектами отражения и обтекания. Такими свойствами, например, обладают препятствия, у которых один из поперечных размеров меньше длины волны. Вообще, взрывные волны от дефлаграции обычно имеют большую протяженность, так как горение при аварийных газовых взрывах — существенно дозвуковой процесс. Правила учета поправок на отражение и обтекание даны в [2].

Препятствие рассматривается как механическая система, обладающая инертной массой M и упругим сопротивлением K . Отклик такой системы на внешнее воздействие можно исследовать с помощью модельного уравнения

$$M \frac{d^2 x}{dt^2} + Kx = \Delta p(t), \quad x(0) = \dot{x}(0) = 0$$

или в безразмерном виде

$$\frac{d^2 \xi}{d\tau^2} + \xi = \frac{\Delta p(t)}{\Delta p_+}, \quad \xi(0) = \dot{\xi}(0) = 0, \quad (1)$$

где $\xi = Kx/\Delta p_+$ — безразмерное смещение препятствия; $\tau = t/\theta$ — безразмерное время; $\theta = \sqrt{M/K}$ — характерное время собственных колебаний си-

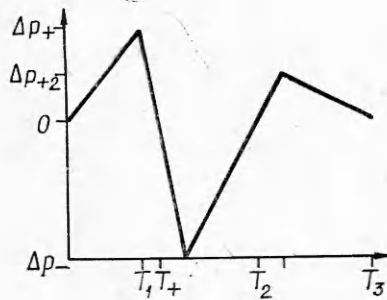


Рис. 1. Рассматриваемый профиль волны от сферической газовой дефлаграции.

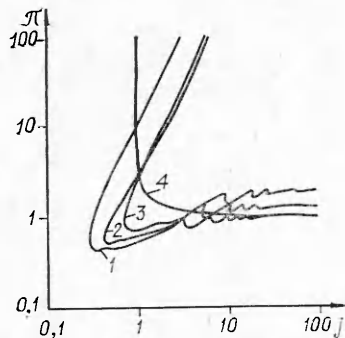


Рис. 3. Кривые равных безразмерных максимальных смещений (обозначения аналогичны рис. 2).

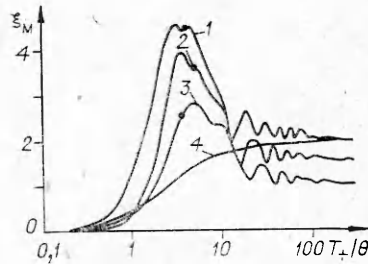


Рис. 2. Зависимость максимального смещения препятствия от отношения времени действия волны T_+ ко времени релаксации препятствия θ . 1 — $\alpha = 2$, $\Delta p_{+2}/\Delta p_+ = 1/2$, $T_+/T_1 = 1,2$, $T_2/T_+ = 2,39$, $T_3/T_+ = 5,95$; 2 — $\alpha = 1,5$, $\Delta p_{+2}/\Delta p_+ = 1/2$, $T_+/T_1 = 1,2$, $T_2/T_+ = 2,08$, $T_3/T_+ = 3,33$; 3 — $\alpha = 1$, $\Delta p_{+2} = 0$, $T_+/T_1 = 1,2$, $T_2 = T_3 = 2T_+$; 4 — для профиля волны от тротилового взрыва.

стемы; $\Delta p(t)$ — внешняя нагрузка; Δp_+ — амплитудное значение положительной фазы действующей внешней силы.

Профиль взрывной волны от дефлаграции аппроксимируется линейными функциями (рис. 1). Начало профиля задается как

$$\Delta p(t) = \Delta p_+ t / T_+, \quad 0 \leq t \leq T_+.$$

Второй участок — падение давления от максимального в положительной фазе до минимального (отрицательного)

$$\Delta p(t) = \Delta p_+ \left(\frac{T_+ - t}{T_+ - T_1} \right), \quad T_1 \leq t \leq (1 + \alpha) T_+ - \alpha T_1.$$

Здесь $\alpha = \left| \frac{\Delta p_-}{\Delta p_+} \right|$ — отношение амплитудного значения давления в отрицательной фазе к максимальному значению давления в положительной фазе, T_+ — время действия положительной фазы волны. При конкретных расчетах используются $\alpha = 1; 1,5; 2$. Затем давление опять возрастает по линейному закону, и в зависимости от величины отрицательного импульса I_- либо только доходит до значения $\Delta p(t) = 0$, либо увеличивается еще, образуя вторую волну сжатия.

Положительный импульс первой волны сжатия определяется выражением

$$I_+ = 0,5 \Delta p_+ T_+,$$

отрицательный импульс волны разрежения —

$$I_- = 0,5 \Delta p_- T_-.$$

Здесь T_- — длительность фазы разрежения волны.

Параметры второй волны сжатия задаются следующим образом: максимальное давление в этой фазе равно половине максимального значения давления первой фазы сжатия, а ее длительность определяется из условия, что суммарный импульс волны равен нулю (см. рис. 1).

На рис. 2 представлены кривые максимального отклонения системы в зависимости от отношения времени действия положительной фазы волны ко времени релаксации системы T_+/θ для разных профилей. Импульс первой положительной фазы волны и максимальное давление в этой фазе одинаковы для всех случаев. Точки на рис. 2 указывают значение пара-

метра T_+/θ , начиная с которого максимальное смещение препятствия под действием взрывной волны от газовой дефлаграции в направлении действия положительной фазы становится меньше, чем в противоположном. Это означает, что разрушение преград в этом случае при $T_+/\theta > 4$ может быть вызвано действием волны разрежения. При $T_+/\theta \sim 1 \div 10$ максимальное смещение препятствия, вызываемое газовым взрывом, может в несколько раз превосходить смещение от взрыва тротила (при одних и тех же Δp_+ и I_+).

Поэтому при определенных условиях разрушающее действие газовых взрывов сильнее, чем разрушающее действие взрыва тротила. При $T_+/\theta > 10$, если $\alpha = \left| \frac{\Delta p_-}{\Delta p_+} \right| < 2$, более разрушающим будет взрыв тротила, но если $\alpha > 2$, то разрушительнее оказывается взрыв от газовой дефлаграции.

Выражения для безразмерной максимальной избыточной нагрузки π и безразмерного импульса положительной фазы j имеют вид

$$\pi = 2\Delta p_+/x_m K = 2/\xi_m,$$

$$j = I_+/x_m (KM)^{1/2} = 1/2\xi_m \cdot T_+/\theta.$$

Здесь x_m — максимальное смещение препятствия. Используя полученные решения (см. рис. 2), построим в плоскости $\pi - j$ кривые равных безразмерных максимальных смещений [3] (рис. 3). Линию 4 можно условно разбить на: 1) область квазистатического действия, которая при $T_+/\theta \gg 1$ стремится к асимптоте $\pi = 1$; 2) область импульсного действия, которая при $T_+/\theta \ll 1$ стремится к вертикальной асимптоте $j = 1$; 3) промежуточная область, где смещение преграды зависит как от импульса, так и от силовой нагрузки.

Кривые 1—3 на рис. 3 также имеют асимптоты, причем горизонтальные асимптоты соответствуют условию $\pi = 2/\alpha$. Такое асимптотическое поведение системы также характеризуется условием $T_+/\theta \gg 1$ и статическим действием.

В отличие от профиля, соответствующего взрыву тротила, для газовых взрывов при $T_+/\theta \ll 1$ асимптоты не вертикальны. Аналитическое исследование асимптотического поведения решений уравнения (1) для профилей волн от газовой дефлаграции при $T_+/\theta \ll 1$ дает

$$x_m = \frac{2A}{K\sigma^2} I_+ T_+, \quad (2)$$

где A зависит от формы профиля. Для профилей 3—1 (см. рис. 2) значения A равны соответственно 0,389; 0,34 и 1,375. Из (2) следует $\pi = 8Aj^2$, что хорошо соответствует численному решению уравнения (1). Для $T_+/\theta \approx 1 \div 10$ эти кривые имеют минимальные значения как импульса, так и силовой нагрузки. Этот участок характеризуется резонансными явлениями.

Таким образом, чтобы правильно оценивать взаимодействие взрывных волн от газовой дефлаграции с препятствиями, мало знать максимальный перепад давления и импульс в положительной фазе волны. В зависимости от соотношения времени действия волны и времени релаксации препятствия T_+/θ может возникнуть необходимость определить весь профиль волны ($T_+/\theta \approx 1 \div 10$), или при $T_+/\theta \gg 1$ — значение Δp_- .

Длительность фазы сжатия определяется временем горения облака $T_+ \approx R_0 \sqrt[3]{\sigma/w}$, где R_0 — начальный радиус облака; σ — степень расширения при сгорании; w — скорость пламени. Сравнивая T_+ с периодом собственных колебаний конструкции, можно судить о том, в каком направлении следует ожидать разрушений.

Поступила в редакцию 18/VIII 1982

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Горев. ФГВ, 1982, 18, 1.
2. М. А. Садовский. — В кн.: Физика взрыва. № 1. М.: Изд-во АН СССР. 1952.
3. R. A. Strehlow, W. E. Baker. Prog. Energy Combust. Sci., 1976, 2, 27.