

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ВОЛН ДАВЛЕНИЯ С ПЕРФОРИРОВАННЫМИ ПЕРЕГОРОДКАМИ

ГЕЛЬФАНД Б. Е., МЕДВЕДЕВ С. И., ПОЛЕНОВ А. Н., ЦЫГАНОВ С. А.

Приведены результаты экспериментов по исследованию взаимодействия плоских ударных волн треугольного профиля давления с перфорированными перегородками. Определены параметры отраженных волн и измерены коэффициенты ослабления волн по амплитуде и импульсу в зависимости от проницаемости преграды. Определены коэффициенты гашения для случая двух последовательно расположенных перегородок.

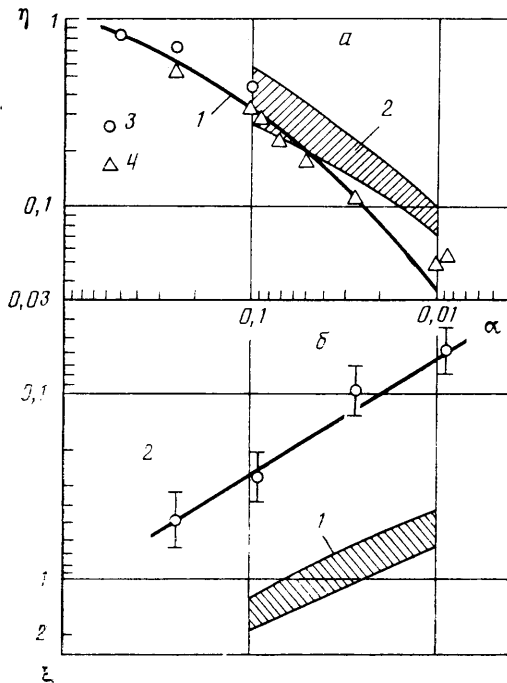
Одним из эффективных средств ослабления амплитуды воздушной ударной волны (УВ) в трубопроводе служат перфорированные перегородки (ПП), сетки и другие проницаемые преграды, установленные поперек течения. В [1–8] рассматривалось прохождение через ПП ударных волн с постоянными параметрами за фронтом. Однако на практике приходится чаще иметь дело с УВ с нестационарным давлением за фронтом. Силовое воздействие таких волн зависит от избыточного давления на фронте Δp и импульса фазы сжатия I

$$I = \int_0^{\tau} \Delta p(t) dt$$

Здесь τ – время действия фазы сжатия, $\Delta p(t)$ – зависимость давления от времени в фиксированной точке пространства. По результатам [1–8] нельзя сделать никаких практических выводов относительно изменения параметров I и τ при прохождении УВ конечной длительности через ПП.

В [9] приведены результаты экспериментов по ослаблению с помощью перфорированного экрана ударной волны, образующейся при разрушении газонаполненной цилиндрической оболочки. Показано, что длительность фазы сжатия УВ при прохождении через экран не изменяется.

В [10, 11] исследовалось ослабление решетками и ПП волн, формирующихся в окружающем пространстве при взрыве заряда ВВ. В [10] приведены данные об измерении импульса УВ за преградой. Однако в условиях постановки экспериментов [10, 11] существенное влияние на величины Δp и I за ПП могли оказывать двумерные эффекты, поскольку преграды размещались в открытом пространстве. Таким образом, для практически важных одномерных процессов в трубах и каналах использование результатов [10, 11] неправомерно.



Фиг. 1

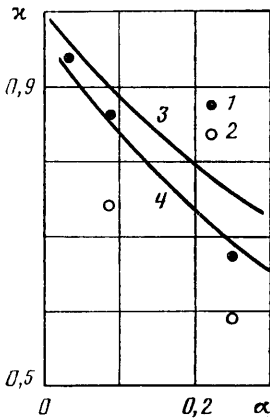
Целью выполненной работы было установление закономерностей взаимодействия плоских УВ конечной длительности, формирующихся в ударной трубе, с ПП, установленными в одном из сечений трубы. Исследования проводились на ударной трубе квадратного сечения 40×40 мм² длиной 3 м. УВ со спадающим профилем давления за фронтом волны получали с помощью камеры высокого давления длиной 1,5 см. Толкающий газ – гелий, в камере низкого давления воздух при 0,1 МПа. ПП устанавливались на расстоянии 45 см от мембраны. Параметры падающей на перегородку УВ Δp_+ , τ_+ и прошедшей Δp_- , τ_- определялись с помощью пьезоэлектрических датчиков давления. Импульс фазы сжатия I_+ в падающей и I_- в прошедшей волне измерялся с помощью электронного интегратора сигнала пьезодатчика. Параметры тракта регистрации давления и импульса обеспечивали точность измерения величин Δp и τ не хуже 10%, а I – 15%. Исследовался диапазон $\Delta p_+ = 0,05 - 0,25$ МПа. Характерные значения $\tau_+ = 0,5 - 2$ мс. Проницаемость перегородок α , т. е. отношение площади отверстий к общей площади ПП, в опытах составляла $\alpha = 0,009 - 0,25$. Толщина перегородок 3–10 мм. Изменение парамет-

ров УВ при прохождении через ПП можно описать коэффициентами $\delta = \tau_- / \tau_+$, $\eta = \Delta p_- / \Delta p_+$, $\xi = I_- / I_+$. С помощью датчика, установленного непосредственно в перегородке, определялись параметры отраженной УВ Δp_* и τ_* . В исследуемом диапазоне Δp_+ , τ_+ получено, что длительность фазы сжатия УВ при прохождении через ПП не изменяется, т. е. $\tau_- \approx \tau_+ \approx \tau_*$ и $\delta \approx 1$.

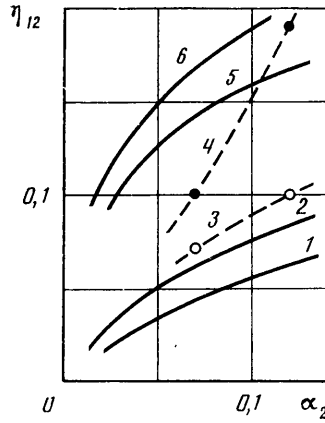
На фиг. 1, а приведены зависимости коэффициента ослабления УВ по давлению η от проницаемости ПП α . Кривая 1 построена по экспериментам [1-7] для плоских УВ с постоянными параметрами за фронтом с $\Delta p_+ = 0,001 - 0,2$ МПа. Заштрихованная область 2 и точки 3 - данные соответственно [10] и [11] для сферических взрывных волн при $\Delta p_+ = 0,08 - 1$ МПа. Точки 4 - результаты опытов для плоских УВ треугольного профиля давления, которые при $0,009 < \alpha < 0,3$ можно описать эмпирическим соотношением

$$\eta = 1,14\alpha^{0,62} \quad (1)$$

На фиг. 1, б представлены зависимости коэффициента ξ от проницаемости ПП. Область 1 - данные [10], точки 2 - результаты опытов, выполненных авторами данной работы. Кривая 3 построена по (1) в координатах $\xi - \alpha$. Таким образом, в пределах ошибки измерений для плоских волн треугольного профиля давления $\xi = \eta$. В случае взрывных волн по [10] картина другая. Если за преградой величина давления на фронте значительно уменьшается, то импульс фазы сжатия близок к исходному, а в области проницаемостей $\alpha > 0,04$ даже превышает его. Представляется вероятным, что в условиях [10] увеличение импульса связано с наружным обтеканием преграды как проходящей, так и отраженной волной. В [8, 9] показано, что при $\alpha < 0,1 - 0,2$ давление в отраженной от ПП волне мало отличается от давления отражения на сплошной стенке. На фиг. 2 представлены результаты измерений величины $\kappa = \Delta p_* / \Delta p_0$ (Δp_0 - избыточное давление отражения на непроницаемой преграде) для падающих УВ с треугольным профилем давления. Точки 1 соответствуют $\Delta p_+ =$



Фиг. 2



Фиг. 3

$= 0,2$ МПа, 2 - 0,08 МПа. Кривые 3, 4 - численный расчет [8] для плоских УВ с постоянными параметрами за фронтом соответственно при $\Delta p_+ = 0,2$ и 0,08 МПа. Как видно, при $\alpha < 0,1$ давление Δp_* менее чем на 30% отличается от величины Δp_0 . С ростом Δp_+ это различие уменьшается. Измерение величины Δp_* с помощью датчика, установленного непосредственно в ПП, позволяет оценить эффективное воздействие УВ на перегородку. Детальное исследование процесса формирования УВ, отраженной от стенки с отверстием, содержится в [13].

Для практических приложений существенно исследовать возможность применения нескольких перегородок (так называемого «пакета») для гашения УВ. Рассмотрим случай двух последовательно расположенных ПП с проницаемостями α_1 , α_2 . Если расстояние между перегородками h велико по сравнению с расстоянием от последней ПП до места измерения, то преграды можно считать «независимыми» и эффективный коэффициент ослабления УВ по амплитуде η_{12} будет определяться величинами η_1 , η_2 для каждой из ПП. Тогда с учетом (1) имеем

$$\eta_{12} = \eta_1 \eta_2 \approx 1,3(\alpha_1 \alpha_2)^{0,62} \quad (2)$$

В случае если измерения производятся на достаточном удалении от «пакета», то многократные отражения УВ в зазоре между перегородками приведут к генерированию более сильной волны вниз по течению. Для эффективной проницаемости двух преград α_{12} в этом случае «взаимного влияния» ПП в [10] предлагается полуэмпирическая формула ($0,01 < \alpha_1$, $\alpha_2 < 0,13$)

$$\alpha_{12} = \alpha_1 \alpha_2 (\alpha_1 + \alpha_2)^{-1} \quad (3)$$

В опытах исследовался «пакет» из двух ПП с проницаемостями 0,07 и 0,12 при $h=25$ мм. Перегородки устанавливались в различных сочетаниях. Расстояние до места измерения от последней ПП составляло 13 см. На фиг. 3 приведены зависимости эффективного коэффициента η_{12} от проницаемости второй перегородки при фиксированном значении α_1 . Здесь кривые 1, 2 — расчет по (2); 3, 4 — эксперимент; 5, 6 — расчет по (1), (3); $\alpha_1=0,07$ для 1, 3, 5 и 0,12 для 2, 4, 6. Видно, что величина η_{12} выше, чем в случае «независимых» перегородок, но не описывается соотношением (3). Следует отметить, что длительность фазы сжатия УВ прошедшей через «пакет» увеличивается и, следовательно, коэффициент ξ в этом случае может отличаться от η .

Наряду с треугольными волнами сжатия исследовался вопрос о взаимодействии коротких возмущений разгрузки с ПП. Модельные волны разрежения конечной амплитуды и длительности получали на установке, аналогичной [12]. В экспериментах с перегородками $\alpha=0,14; 0,07; 0,012$ измеренные коэффициенты ослабления по давлению составили $\eta=0,54; 0,34; 0,17$ соответственно. Из сравнения с фиг. 1 видно, что величины η для волн разрежения в 1,5–2 раза превышают соответствующие значения для волн сжатия. Длительность возмущения при прохождении через ПП не изменяется и, следовательно, импульс в волне разрежения уменьшается пропорционально амплитуде, как и для плоских треугольных волн сжатия.

Таким образом, перфорированные перегородки являются эффективным средством ослабления нестационарных волн давления в трубах и каналах не только по амплитуде, но и по импульсу. Соответствующим подбором значения α , а также применением нескольких перегородок можно варьировать параметры прошедшей вниз по течению и отраженной волны в широком диапазоне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bowman J. E., Niblett G. B. F. The passage of a plane shock wave through a wire gauze // Proc. Phys. Soc. Sec. B. 1955. V. 68. Pt 12. № 432. P. 1008–1016.
2. Бондаренко А. В., Ибрагим М. А. Измерения скорости ударной волны, установившейся после взаимодействия с препятствием в виде каналов-диафрагм // Изв. АН СССР. МЖГ. 1967. № 3. С. 115–119.
3. Dain C. G., Hodgson J. P. Generation of weak shock waves in a shock tube // Aeronaut. Quart., 1974. V. 25. № 2. P. 101–108.
4. Косточко Ю. П. Взаимодействие ударных волн с проницаемой поверхностью // Тр. НИИ прикл. математики и механики при Томском ун-те. 1974. Т. 5. С. 106–112.
5. Mori Y., Hijikata K., Shimizu T. Attenuation of shock wave by multiorifice // Proc. 10th Intern. Shock Tube Symp. Kyoto, 1975. P. 400–407.
6. Tong K.-O., Knight C. J., Srivastava B. N. Interaction of weak shock waves with screens and honeycombs // AIAA Journal, 1980. V. 18. № 11. P. 1298–1305.
7. Шевцов В. Д. Взаимодействие ударных волн с проницаемыми преградами. М., 1982. 20 с.— Деп. в ВИНТИ 16.03.82, № 1192-82.
8. Гринь В. Т., Крайко А. Н., Миллер Л. Г. К распаду произвольного разрыва на перфорированной перегородке // ПМТФ. 1981. № 3. С. 95–103.
9. Иванов А. Н., Борисовская В. П. Исследование ослабления ударной волны перфорированным экраном // Тр. ЦАГИ. 1977. Вып. 1834. С. 26–35.
10. Baker W. E. et al. Explosion Hazards and Evaluation. Amsterdam: Elsevier, 1983. 807 p.
11. Минеев В. Н., Клаповский В. Е., Мацевич Б. В. и др. Ослабление действия воздушной ударной волны перфорированными преградами // 5th Sympos. Explos. Work. Metals, Gottwaldow, 1982, Dum. techniky CSVTS Pardubice, 1982, p. 357–361.
12. Гельфанд Б. Е., Медведев С. П., Поленов А. Н. и др. Измерение скорости слабых возмущений в пористых средах насыпной плотности // ПМТФ. 1986. № 1. С. 141–144.
13. Николаев Г. Н. Экспериментальное исследование формирования ударной волны, отраженной от стенки с отверстием // Изв. АН СССР. МЖГ. 1974. № 2. С. 176–181.

Москва

Поступила в редакцию
4.VII.1986