

Рис. 3. Зависимость амплитуды УВ, прошедшей через стену, от расстояния при  $m = 60$  кг.

1 — кривая, построенная по Садовскому; 2 — эксперимент; 3 — безопасный уровень по давлению.

щей УВ за пределами камеры на расстояниях 1; 5; 10; 18,5 м от ее стены измерялось ножевыми пьезодатчиками с собственной частотой 270 кГц и временным разрешением 5 мкс.

В качестве вторичной аппаратуры при испытаниях камеры использовались осциллографы с полосой пропускания 1 МГц, временем нарастания сигнала 350 нс и чувствительностью вертикального тракта 1 мВ/дел. Результаты испытаний приведены в таблице, где  $\Delta p_{отр}$  — измеренное давление в отраженной УВ,  $\Delta p_{пр}$  — измеренное давление в прошедшей за пределы камеры УВ,  $K = \Delta p_c / \Delta p_{пр}$  — коэффициент снижения давления в УВ,  $\Delta p_c$  — расчетное давление (по М. А. Садовскому) на расстояниях 1; 5; 10 и 18,5 м.

Характер изменения давлений на фронте УВ, вышедшей за пределы камеры в зависимости от расстояния, показан на рис. 3. Обобщенная зависимость изменения давления от относительного расстояния (рис. 4) аппроксимируется формулой  $\Delta p = 0,09214x^3 - 0,4429x^2 + 1,323x - 0,02232$ ; где  $x = \sqrt[3]{m}/R$ ;  $m$  — масса заряда, кг;  $\Delta p$  — давление во фронте УВ на расстоянии  $R$  м от источника УВ.

Сравнение на одинаковых относительных расстояниях значений  $p$  в волнах, свободно распространяющихся в воздухе и вышедших из камеры (коэффициент демпфирования), свидетельствует о снижении давления в вышедшей волне до 7,8 раза при изменении интенсивности внутренней импульсной нагрузки до 2,9 МПа в падающей УВ. При этом безопасное по уровню давления (0,01 МПа) расстояние сокращается вдвое и составляет для данной камеры 30 м для зарядов до 60 кг.

Перфорированная модульная камера может быть использована для импульсной обработки материалов.

Поступила в редакцию 27/III 1986

УДК 539.3.534.5.621.791

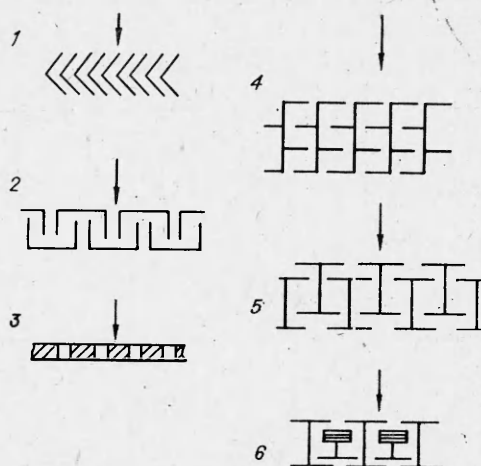
## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРФОРИРОВАННЫХ СТРУКТУР ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КАМЕР ДЛЯ ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

Г. С. Григорьев, В. Е. Клаповский, В. В. Кореньков,  
В. Н. Минеев, Е. С. Шахиджанов

(Москва)

Технология импульсной обработки материалов предусматривает производство взрывных работ на открытых площадках, в камерах из монолитного железобетона, в горных выработках. Перфорированные камеры являются компромиссным решением при оценке сроков строи-

Рис. 1. Экспериментальные модели. 1 — уголок № 7; 2 — швеллер № 8; 3 — лист толщиной 10 мм; 4, 5 — швеллер № 5; 6 — двутавр, рельс.  $\varphi=0,25$  (1—4), 0,17 (5) и 0,08 (6). Стрелкой показано направление действия УВ.



тельства, стоимости и уровня защиты. Оптимизация конструктивных решений перфорированных структур необходима из соображений уменьшения материалоемкости заградного действия взрыва. В работе приведена сравнительная оценка эффективности различных типов перфорированных структур по ослаблению пикового давления в проходящей волне в зависимости от поперечного сечения потока или изменения его направления, что достигается за счет использования соответствующих наборов конструктивных элементов.

Экспериментальные исследования по изучению ослабления ударной волны (УВ) перфорированными преградами проведены на моделях структур, показанных на рис. 1, где приведены также значения степени перфорации  $\varphi = S_{отв}/S_{пр}$  ( $S_{отв}$ ,  $S_{пр}$  — площади отверстий и преграды).

Модели преград состояли из сварных конструкций размером  $1,1 \times 1,1$  м. Источник УВ — взрыв шаровых зарядов, расположенных на расстоянии 1 м по нормали к центру преграды. Масса заряда ТНТ менялась от 0,135 до 0,96 кг, амплитуда падающей УВ — 0,247—2,18 МПа. Давление в УВ измерялось ножевыми пьезодатчиками (собственная частота 270 кГц, временное разрешение 5 мкс) с последующей регистрацией сигнала на осциллографе с полосой пропускания 1 МГц и временем нарастания сигнала 350 нс.

Экспериментально найденные значения коэффициента ослабления амплитуды УВ  $K$ , равного отношению рассчитанного давления в данной точке пространства к измеренному (при наличии преграды) приведены в таблице. Здесь же даны значения безопасных для человека расстояний  $R$  по уровню давления 0,01 МПа.

Наиболее эффективна из исследуемых структура 2, обеспечивающая максимальное воздействие на газовый поток за счет многократного периодического сужения и расширения поперечного сечения потока и изменения его направления.

Так как конечной целью экспериментов было определение эффективной структуры преграды, то в развитии проведенных исследований разработаны структуры (см. рис. 1, 4—6), обеспечивающие больше ступеней воздействия на поток, чем структура 2. Из этих преград изготовлены взрывные камеры, как полностью, так и частично перфорированные. Нагружение осуществлялось шаровым зарядом, помещаемым в геометрическом центре камеры.

Результаты измерений приведены в таблице. Видно, что коэффициент ослабления зависит от вида и количества воздействий на поток, при нагрузке 2,18 МПа он достигает 7. Установлено также, что при определенной импульсной нагрузке ( $\sim 0,2$  МПа) для структур 4 и 5 ослабляющее действие максимально.

Из камер вследствие эффектов отражения внутри их объема выходит ряд волн с максимальным давлением на фронте в первой УВ. Волны следуют через 600—1000 мкс.

Экспериментально выявлены физические особенности эффектов взаимодействия УВ с преградами: уменьшение  $K$  с расстоянием, наличие максимального запирающего действия преград. Взаимодействие УВ

Модель	$\Delta p_{пр}$ , МПа на расстоянии от преграды, мм			К	R, м	Модель	Расстояние до датчиков, мм	$\Delta p_{пр}$ , МПа	К	R, м					
	40	200	400												
1	0,118	0,053	0,06	1,5	4,5	4	0,06	0,083	2,5	3,0					
	0,312	0,133	0,137	1,8	—										
	0,454	0,265	0,18	2,0	6,5										
2	0,073	0,048	0,028	2,6	3,2						0,26	0,065	2,2	—	—
	0,142	0,118	0,067	3,4	—										
	0,226	0,174	0,118	3,5	5,0										
3	0,14	0,13	0,07	1,6	4,3	5	1,92	0,013	2,9	2,5					
	0,40	0,30	0,23	2,1	—										
	0,53	0,42	0,28	2,3	6,0										
—	—	—	—	—	—						2,92	0,015	4,0	—	—
	—	—	—	—	—	1,92	0,019	5,0	—	—					
—	—	—	—	—	—						2,92	0,008	5,0	2,8	—
—	—	—	—	—	—	0,26	0,26	2,0	8,3	7,0					
—	—	—	—	—	—						1,0	0,037	8,3	7,0	—

с преградами из жестких элементов численно моделировалось для плоской симметрии, имитирующей условия эксперимента в ударной трубе. Развивающееся течение описывается системой двумерных уравнений газовой динамики без вязкости и теплопроводности.

Решение системы проводится в эйлеровых координатах с использованием разработанного метода «полного расщепления» по пространственным направлениям и физическим процессам. Метод развивает подходы, изложенные в [1, 2]. УВ в поле течения выделяются автоматически благодаря схемной вязкости разностных аппроксимаций уравнений газовой динамики. В рассмотренном диапазоне давлений УВ воздух идентифицируется уравнением состояний в форме совершенного газа с постоянным показателем адиабаты. Расчеты производились на ЭВМ БЭСМ-6 на разностной сетке с 5000 ячейками.

На рис. 2 в последовательные моменты времени представлена волновая картина в поле течения при взаимодействии УВ ступенчатой формы  $\Delta p = 0,77$  МПа с преградой в виде набора металлического проката. Цифрами отмечены значения изобар в единицах  $p_0$  ( $p_0$  — давление в невозмущенном газе). При взаимодействии с преградой (течение рас-

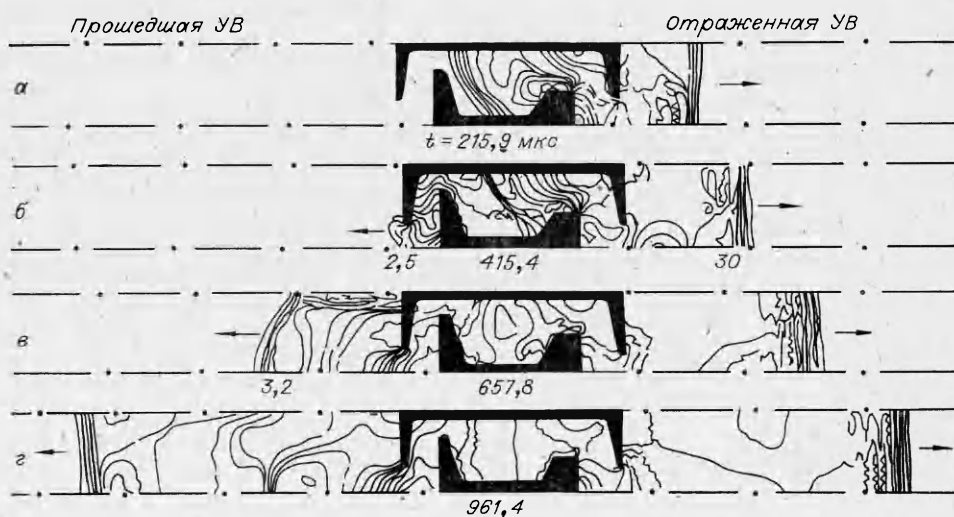


Рис. 2. Волновая картина взаимодействия УВ с перфорированной преградой (структура б).

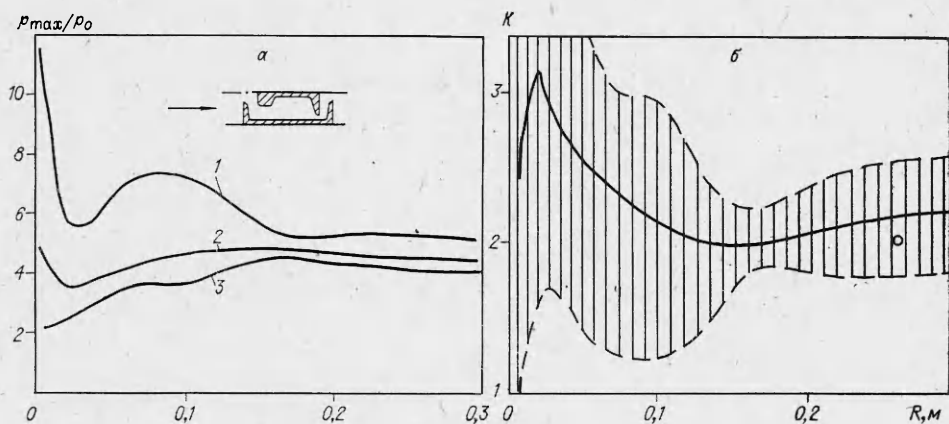


Рис. 3. Изменение интервала изменения давления (а) и коэффициента ослабления (б) от расстояния для структуры б (точка — эксперимент).

сма тривалось в пределах структурной симметрии преграды) реализуется весь набор видов течения: отражение УВ от части преграды, дифракция, отражение с поворотом внутрь преграды (рис. 2, а), расширение потока, отраженного от дна одного компонента структуры в объеме преграды, отражение от основания другого компонента, дифракция и поворот потока при прохождении к выходу из преграды (рис. 2, б). Истечение потока из преграды генерирует в воздухе УВ. Распространение происходит в циклах периодического отражения от плоскостей симметрии.

В целом на каждом участке течения поток, проходя нестационарную фазу течения, приобретает стационарные значения, формируя в целом структуру, характерную для автомодельного течения, в пределах которого можно оценивать и «истинное» ослабляющее действие преграды на УВ (рис. 2, в, г).

На рис. 3 показаны изменение с расстоянием интервала максимальных давлений (усредненного по сечению (2), максимального (1) и минимального (3) в сечении) и соответствующее интервалу изменение коэффициента ослабления. Видно, что нестационарная фаза течения в пределе  $3,0 \div 3,5$  характерных размеров структуры расширяет диапазон  $K$  до  $\pm 100\%$  от его среднего значения. Наличие максимального и минимального уровней давления связано со сложностью течения за фронтом прошедшей УВ. Здесь имеются зоны с повышенным давлением и разрежения, обусловленные расширением потока при выходе его из преграды. Рассмотренная картина типична для других видов преград, при этом в зависимости от их структуры и уровня падающей УВ изме-

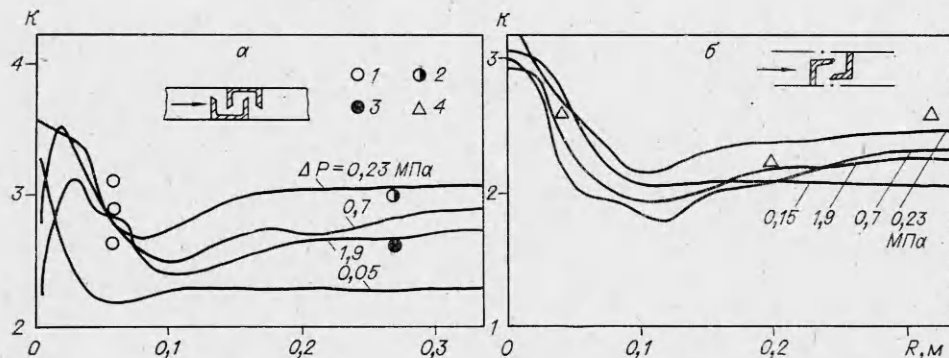


Рис. 4. Влияние расстояния на коэффициент  $K$  (точки — эксперимент).  
 $\Delta p$ , МПа: 1 — 0,8, 2 — 0,6, 3 — 2,1, 4 — 0,23.

няются длительность зоны влияния нестационарности и ширина диапазона  $K$ .

На рис. 4, а, б приведена зависимость  $K(R)$  преград 2 и 4. Эффект ослабления УВ наиболее интенсивен при  $\Delta p = 0,2 \pm 0,05$  МПа. Можно предположить, что этот эффект обусловлен взаимодействием двух режимов течения, реализующихся при импульсном нагружении. В первом случае при относительно слабых амплитудах преобладают волновые эффекты, при которых малы энтропийные потери. При возрастании амплитуды отражение осуществляется как от жесткой стенки, и преобладающими становятся эффекты, связанные с протеканием сквозь преграду, что выражается в снижении запирающего действия газодинамического потока внутри преграды.

Таким образом, в работе показано, что перфорированные структуры можно использовать при проектировании эффективных защитных сооружений и что для каждой преграды существует диапазон интенсивностей падающих УВ, при которых ослабляющее действие преграды максимально. Разработанная численная методика позволяет анализировать структуру течения, прогнозировать количественные значения ослабляющего действия преграды и выбирать условия для проведения эксперимента. Достоверность методики подтверждается хорошей сходимостью расчетных данных с экспериментом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. К. А. Багриновский, С. К. Годунов. Докл. АН СССР, 1957, 115, 3, 431.
2. R. A. Gentry, R. E. Martin, B. J. Daly. J. Comput. Phys., 1966, 1, 1, 87.

Поступила в редакцию 27/III 1986

УДК 621.375.82

### ОПТИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ В СО-ГДЛ ПРИ РЕЗОНАНСНОМ САМОПОГЛОЩЕНИИ ИНДУЦИРОВАННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

*В. М. Шмелев, А. Д. Марголин*

*(Москва)*

В оптическом резонаторе газодинамического лазера, как правило, существуют протяженные области термализованного (частично или полностью) рабочего газа, способного резонансно поглощать индуцированное излучение. Это застойные зоны в карманах резонатора, пограничные слои, следы от сопловых лопаток, нагретый газ за скачками уплотнения и т. д. [1].

Самопоглощение индуцированного излучения в оптическом тракте ГДЛ может приводить к заметному ухудшению его энергетических характеристик, нарушению пространственно-временной однородности луча, изменению спектрального состава выходного излучения. Возможно также возникновение циклических пульсаций выходной мощности [2, 3]. Наиболее выражено эти эффекты могут проявляться в газодинамическом лазере на окиси углерода в связи с особенностями кинетики колебательных процессов, протекающих в системе двухатомных ангармонических молекул [4, 5].

В [5] показано, что при резонансной оптической накачке вследствие нелинейной зависимости скоростей дезактивации и оптического возбуждения от запаса неравновесной колебательной энергии в поглощающем молекулярном газе развивается оптическая неустойчивость. Существуют два критических значения плотности потока излучения  $I$ , при которых процесс резонансного поглощения претерпевает качественные скачки.