

6. Андреев М. А. // Гидродинамика одно- и двухфазных систем.— Новосибирск, 1982.
7. Вахненко В. А., Кудинов В. М., Паламарчук Б. И. ФГВ, 1984, 20, 1, 105.
8. Паламарчук Б. И., Малахов А. Т. // Тр. VI Междунар. симп. по использованию энергии взрыва для производства мет. материалов с новыми свойствами.— Готвальдов (ЧССР), 1985.
9. Малахов А. Т., Паламарчук Б. И. ПМГФ, 1985, 1, 106.
10. Охитин В. Н. // Вопросы физики взрыва и удара: Тр. МВТУ № 358.— М.: МВТУ, 1981.— Вып. 3.
11. Рихтмайер Р., Мортон К. Разностные методы решения краевых задач.— М.: Мир, 1972.
12. Higbie L. G., Plooster M. N. J. Comput. Phys., 1968, 3, 154.
13. Кудинов В. М., Паламарчук Б. И., Вахненко В. А. Докл. АН СССР, 1983, 373, 5, 1080.
14. Коробейников В. П. Задачи теории точечного взрыва в газах: Тр. МИ АН СССР.— М.: Наука, 1973.— СХІХ.
15. Охотимский Д. Е., Власова З. П. ЖВМиМФ, 1962, 2, 1, 107.
16. Miles J. W. Phys. Fluids, 1967, 10, 12, 2706.
17. Аслапов С. К., Голинский О. С., Ивлиев С. А. Физика удара и волновая динамика в Космосе и на Земле.— М.: ВАГО АН СССР, 1983.
18. Паламарчук Б. И. Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук.— Киев, 1979.
19. Baker W. E., Cox P. A. et al. Explosion Hazards and Evaluation.— Amsterdam; Oxford; N. Y.: Elsevier Sci. Publ. Co., 1983.
20. Winfield F. H., Hill D. A. Preliminary Results of the Physical Properties of Aqueous Foams and Their Blast Attenuating Characteristics.— DRES — TN — 389.— 1977.
21. Кудинов В. М., Паламарчук Б. И. и др. Докл. АН СССР, 1976, 228, 3, 555.

г. Киев

Поступила в редакцию 16/II 1989,  
после доработки — 20/IX 1989

УДК 533.6.011.72

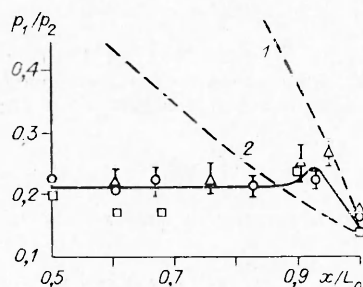
Б. Л. ГЛУШАК, Э. Э. ЛИН, С. А. НОВИКОВ

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ В ПЛОСКОЙ ПРОХОДЯЩЕЙ И ОТРАЖЕННОЙ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ВОЗДУШНОЙ УВ ПРИ ВЗРЫВЕ ЗАРЯДА ВВ

Ударная труба с плоским зарядом ВВ удобна для прикладных исследований [1, 2]. Варьирование толщиной слоя ВВ и расстоянием от него позволяет в широком диапазоне изменять параметры течения в УВ: амплитуду, распределение давления и скорости за фронтом УВ и т. д. В данной работе представлены результаты экспериментов в ударных трубах по изучению параметров течения в отраженной от жесткой стенки воздушной УВ, а также данные регистрации распространения сильной воздушной УВ.

Постановка опытов по изучению отраженной УВ аналогична приведенной в [3]. Расстояние от заряда до закрытого торца  $L_0 = 0,51, 0,76$  и 1 м, расстояние от заряда до закрытого торца — 0,5 м. Пьезоэлектрическими датчиками давления, расположенными на боковой стенке трубы, определяли время прихода фронта отраженной УВ в данное сечение трубы, амплитуду давления  $p_2$  на ее фронте и интенсивность  $p_2/p_1$  ( $p_1$  — давление в падающей УВ в момент прихода фронта отраженной УВ). Осциллограммы обрабатывали с учетом описанного в [4] механизма взаимодействия отраженной УВ с пограничным слоем в трубе.

Экспериментальные  $x-t$ -диаграммы фронта отраженной УВ располагались в области между верхней и нижней границами расчетных кривых [5], полученных соответственно в предположении о равенстве нулю массовой скорости газа в отраженной УВ и о равенстве нулю производной  $d^2\xi/dy_0^2$  ( $\xi = \rho_1/\rho_2$ ,  $\rho_1, \rho_2$  — плотность газа перед и за фронтом отра-



Зависимость обратной интенсивности отраженной УВ от пройденного расстояния (штриховые линии — верхняя (1) и нижняя (2) границы расчетных кривых [5]).  
 $L_0$ , м: □ — 0,5, ○ — 0,76, △ — 1.

женной УВ,  $y_0 = x/L_0$ ,  $x$  — текущая координата, отсчитываемая от центра взрыва). Амплитуда давления  $p_2$  в области ударно-сжатого воздуха заметно падала с пройденным расстоянием, затем при входе в область перемешивания продуктов взрыва (ПВ) с воздухом несколько возрастала и в последующем вновь уменьшалась по мере распространения к центру взрыва. Уменьшалась  $p_2$  в соответствии с подобием  $p_2/p_{20} = f(x/L_0)$  ( $p_{20}$  — амплитуда давления на жесткой стенке в момент отражения).

В области течения между фронтом отраженной УВ и жесткой стенкой с точностью до 20 % давление было постоянным. Рост  $p_2$  в области перемешивания ПВ с воздухом, по-видимому, связан с догоранием ПВ в УВ (см. [6]). Экспериментальная зависимость обратной интенсивности  $p_1/p_2$  фронта отраженной УВ от пройденного расстояния существенно отличалась от расчетных кривых [5]: при распространении УВ от  $x/L_0 = 0,9$  до 0,5 отношение  $p_1/p_2$  оставалось примерно постоянным (см. рисунок).

Опыты по исследованию распространения сильной воздушной УВ проводились со стальной трубой диаметром 0,6 м. На одном из торцов трубы в тонкой оболочке размещался круговой заряд ВВ диаметром, равным внутреннему диаметру трубы. Слой ВВ толщиной  $h = 0,1$  м инициировался в большом числе точек с наружной поверхности, плотность энергии взрыва составляла  $\approx 9 \cdot 10^5$  кДж/м<sup>2</sup>. На боковой поверхности внутри трубы равномерно устанавливались мембранные электроконтактные датчики, регистрирующие момент прихода фронта УВ в данное сечение. База между двумя последовательно расположенными датчиками составляла 0,5 м. Воздух в трубе находился при нормальных условиях.

Результаты обработки измерений представлены в таблице, где  $D_0$  — локальная скорость УВ, вычисляемая из экспериментальной  $x-t$ -диаграммы фронта волны, представляемой в аналитическом виде. Величина  $D_0$  определялась с погрешностью  $\pm(3-4)\%$ .  $D_p$  — результаты численного решения уравнений газодинамики для одномерного движения, где использовалось кубическое уравнение состояния продуктов взрыва [7], воздух считался идеальным газом с показателем политропы  $k = 1, 2$ .

Из таблицы следует, что на малых базах (примерно до 60 толщин заряда)  $D_p < D_0$ , при  $x/h > 60$   $D_p > D_0$ . По расчету давление и скоростной напор  $\rho u^2/2$  в потоке воздуха плавно уменьшаются по мере удаления от фронта волны. Однако на границе раздела воздух — ПВ из-за большого различия в плотностях ПВ и сжатого воздуха значение  $\rho u^2/2$

$x/h$	$D_0$ , км/с	$D_p$ , км/с	$x/h$	$D_0$ , км/с	$D_p$ , км/с	$x/h$	$D_0$ , км/с	$D_p$ , км/с
10	6,78	6,5	35	5,74	5,45	60	4,85	4,85
15	6,62	6,22	40	5,57	5,30	65	4,71	4,75
20	6,36	6,00	45	5,38	5,17	70	4,56	4,65
25	6,10	5,77	50	5,20	5,05	75	4,44	4,60
30	5,94	5,60	55	5,04	4,95	80	4,34	4,50
						85	4,24	4,45

для ПВ в 5—6 раз выше, чем для потока воздуха. Реально, имея в виду перемешивание ПВ и воздуха, следует ожидать значительно меньшего перепада величины скоростного напора. Представленные экспериментальные данные могут быть полезны при исследованиях течения в ударных трубах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Diff R. E., Brackwell A. N. Rev. Sci. Instr., 1966, 37, 5, 579.
2. Минцев В. Б., Фортов В. Е. ТВТ, 1982, 20, 4, 745.
3. Лин Э. Э., Сиренко А. В., Фунтиков А. И. ФГВ, 1979, 15, 2, 180.
4. Баженова Т. В., Гвоздева Л. Г. Нестационарные взаимодействия ударных волн.— М.: Наука, 1977.
5. Chang T. S., Laporte O. Phys. Fluids, 1966, 7, 8, 1225.
6. Лин Э. Э., Фунтиков А. И. ФГВ, 1979, 15, 5, 136.
7. Баум Ф. А., Орленко Л. П., Станюкович К. П. и др. Физика взрыва.— М.: Наука, 1975.

*г. Москва*

*Поступила в редакцию 2/VIII 1988,  
после доработки — 14/II 1988*

---