

Значение  $n$  — функция степени расширения ПД. По данным [1] при  $p \geq 3$  кбар  $n \approx 3$ , при  $p < 3$  кбар  $n \approx 9/7$ . Для сжимаемых преград расчет произведен при  $n=3$  во всей области изменения  $p$ , для абсолютно жесткой стенки при  $n=3; 5/3; 9/7$ .

Импульс давления на стенке

$$I = \int_0^t p dt = p_d \frac{h}{D} \int_0^{\xi} \bar{p} d\xi,$$

где  $\xi = Dt/h = x/h$ . Поскольку  $p_d = \rho_{ВВ} D^2 / (n+1)$ , то  $I = \bar{I} \rho_{ВВ} h D / (n+1)$ .

Здесь  $\bar{I} = \int_0^{\xi} \bar{p} d\xi$ .

Расчеты проведены для  $D=7,5$  км/с и  $\rho_{ВВ}=1,5$  г/см<sup>3</sup>. На рис. 2 приведены зависимости  $\bar{p}$ ,  $I$  и смещение границы  $y$  от времени. Линия 2 ( $I_{\infty}=32/27$ ) соответствует полному импульсу на жесткой стенке при детонации заряда по нормали к поверхности [3]. На рис. 3 показана расчетная зависимость массовой скорости на фронте ударной волны от пути  $r = \bar{r}h$ , пройденного фронтом. Экспериментальные точки взяты из работы [5].

г. Калининград Московской области

Поступила в редакцию  
23/X 1974

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Я. Б. Зельдович, А. С. Компанеец. Теория детонации. М., Гостехиздат, 1955.
2. Р. Курант, К. Фридрихс. Сверхзвуковое течение и ударные волны. М., ИЛ, 1950.
3. К. П. Станюкович. Неустановившиеся движения сплошной среды. М., «Наука», 1971.
4. В. Н. Кандратьев, И. В. Немчинов, Б. Д. Христофоров. ПМТФ, 1968, 4.
5. Г. В. Злыгостев, А. К. Музыря, В. П. Ратников. ПМТФ, 1971, 4.

УДК 662.21.001.5

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕТОНАЦИИ БЕНЗИНО-ВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ

Д. П. Лобанов, Е. Г. Фонберштейн, С. П. Экомасов

Исследованиями процесса детонации углеводородно-воздушных смесей [1, 2] установлены широкие пределы детонации бензино- и бензол-воздушных смесей в трубе большого диаметра. При этом экспериментально доказано, что пределы и сама возможность детонации газовых смесей с большим временем химической реакции зависят от диаметра трубы.

Известно, что детонации горючих газовых смесей в трубах при зажигании их электрической искрой предшествует период ускоренного распространения пламени. Величина его, так же как и длина участка трубы, на котором происходит ускорение пламени (преддетонацион-

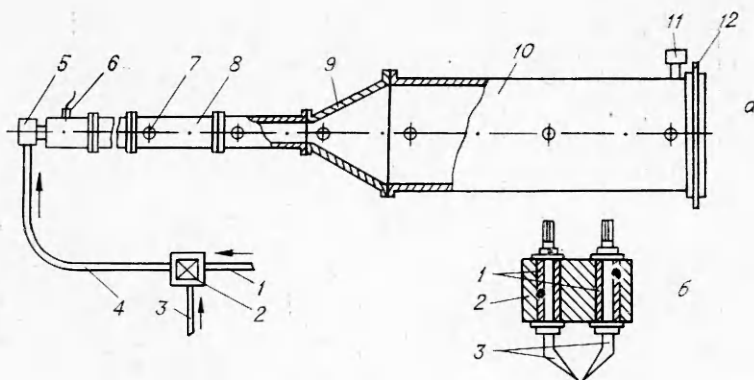


Рис. 1.

ный путь), прямо пропорциональна диаметру трубы и обратно пропорциональна скорости нормального горения смеси. Таким образом, следует ожидать, что преддетонационный путь медленно горящих углеводородно-воздушных смесей в трубах большого диаметра будет большим. Поэтому при исследовании подобных смесей обычно [1] детонационную волну возбуждают мгновенно с помощью взрыва навески взрывчатого вещества. Однако для практического использования режима детонации бензино-воздушных смесей в разрабатываемых в настоящее время машинах и механизмах [3] необходимы взрывные камеры объемом 75—150 л, инициирование детонации в которых производится зажиганием смеси электрической искрой. С целью определения оптимальных параметров взрывных камер был выполнен соответствующий комплекс исследований.

Для проведения исследований была изготовлена специальная установка (рис. 1, а), состоящая из металлической трубы 10 (взрывная камера) длиной 2 м с внутренним диаметром 295 мм, сменной разрывной диафрагмы 12, устанавливаемой на свободном торце взрывной камеры, конуса 9, секций запальной трубы 8, искровой свечи зажигания 6, впускного клапана 5, выпускного клапана 11, резинового шланга 4 для подачи смеси, специально разработанного смесительного устройства 2, трубопроводов 1 и 3 для подачи в смесительное устройство топлива и воздуха и стаканов 7 для размещения датчиков. Длина каждой секции запальной трубы составляла 500 мм, а количество секций изменялось в процессе исследований.

Работа на установке производилась следующим образом. Свободный торец взрывной камеры закрывался разрывной металлической диафрагмой. Затем по трубопроводам и в смесительное устройство подавались бензин А-72 и сжатый воздух, подогретый до 60—80°C. Бензино-воздушная смесь из смесительного устройства после открытия клапанов 5 и 11 поступала в запальную трубу и взрывную камеру, вытесняя из них воздух через выпускной клапан в атмосферу. После полного удаления воздуха из взрывной камеры с пульта управления подавался сигнал на закрытие клапана 11. Давление горючей смеси во взрывной камере и запальной трубе поднималось до определенной величины (равной во всех опытах 5 ат), после чего впускной клапан 5 перекрывался. Горючая смесь воспламенялась с помощью искровой свечи зажигания, установленной на расстоянии 200 мм от закрытого торца запальной трубы.

Для измерения скорости распространения фронта пламени в запальной трубе и взрывной камере были использованы ионизационные датчики. По их показаниям определялась средняя скорость прохождения фронта на интервалах, длина которых изменялась от 250 до 1800 мм.



48 50	440 440	1680 890	165 250	6100—7100 (в)	7100—8100 (в)					
						4500—4750 (з)	4750—5300 (к)	5300—6100 (в)	6300—7100 (в)	7100—8100 (в)
73 77 79	840 1300 1870	430 515 1870	820 1690 1870	990 220 1870						
93 94 95	1870 1890 1890	1870 1890 1890	1870 1890 1890	1870 1890 1890	1870 1890 1890					
						5000—5500 (з)	5500—5750 (з)	5750—6300 (к)	6300—7100 (в)	7100—8100 (в)

\* Длина установки равна сумме длин запальной трубы, конуса и взрывной камеры  
 \*\* Числа, обозначающие интервал, соответствуют расстояниям от датчиков до свечи зажигания, мм

Конструкция ионизационного датчика (рис. 1, б) очень проста). Он состоит из корпуса 2, двух электродов 3 и изоляционно - уплотнительных втулок 1. Датчики устанавливались в специальные стаканы, вмонтированные в запальную трубу и взрывную камеру. Для регистрации сигналов, поступающих с датчиков при прохождении фронта пламени, использовался осциллограф Н-115. Средняя скорость на интервале определялась делением расстояния между датчиками на время между вступлениями сигналов от этих датчиков. Величина этого времени находилась по осциллограмме. Осциллограмма записи скорости распространения фронта пламени в опыте № 93 представлена на рис. 2.

Исследования проводились на смесях, близких по составу к стехиометрической ( $\alpha = 0,95—1,05$ ). Их состав регулировался с помощью регулярных замеров расхода воздуха и бензина при заполнении взрывной камеры горючей смесью.

Первая серия опытов проводилась на установке с запальной трубой, внутренний диаметр которой равнялся 72 мм, угол конуса — 20°. Полученные результаты представлены в табл. 1, где индексами з, к и в отмечены интервалы измерения скорости прохождения фронта пламени, лежащие на запальной трубе, конусе и взрывной камере соответственно. В этой серии опытов количество секций запальной трубы было постепенно увеличено с 5 до 11, что соответствует увеличению ее длины от 2500 до 5500 мм.

Детонация бензино-воздушной смеси в запальной трубе была зарегистрирована на расстоянии 4500—5500 мм от места воспламенения смеси, что составляет 62—76 диамет-

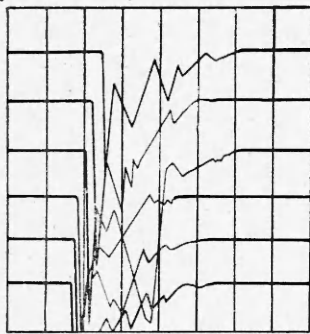


Рис. 2.

ров трубы. Скорость детонации колебалась в различных опытах от 1830 до 1890 м/с. Если скорость распространения фронта пламени в запальной трубе достигала скорости, соответствующей детонации, то падения скорости в конусе и взрывной камере не происходило. В этом случае детонационная волна (см. опыты №№ 79—95) без разрушения проходила из запальной трубы через конус во взрывную камеру. В тех случаях, когда скорость фронта в конце запальной трубы (перед конусом) была меньше скорости детонации, наблюдалось падение скорости в конусе в 1,5—2,5 раза.

С целью изучения характера влияния угла конуса на процесс возбуждения детонации бензино-воздушной смеси во взрывной камере была проведена следующая серия опытов (табл. 2). При этом была использована запальная труба, внутренний диаметр которой равнялся 60 мм, а длина — 7 м. Величина преддетонационного пути в этой серии опытов была не более 75 диаметров трубы. Эти данные хорошо согласуются с ранее полученными результатами (см. табл. 1).

Смена конуса с углом в  $20^\circ$  на конус с углом в  $160^\circ$  не повлияла на процесс возбуждения детонационной волны и ее распространение во взрывной камере. В связи с этим можно предположить, что плоская детонационная волна в месте перехода ее во взрывную камеру инициирует сферическую детонационную волну.

Как известно, впервые процесс возбуждения сферической детонации с помощью плоских детонационных волн в углеводородно-воздушных смесях был исследован Я. Б. Зельдовичем, С. М. Когарко и Н. Н. Симоновым [2]. В этих исследованиях было установлено, что для инициирования сферической детонации в газовой горючей смеси определенного состава и состояния диаметр трубы, в которой распространяется плос-

Таблица 2

№ опыта	Угол конуса, град	Средняя скорость прохождения фронта пламени на интервалах, м/с			
		4500—5550 (з)	5550—6250 (з)	6250—7750 (з-к)	7750—9550 (в)
1	20	1830	1830	1830	1830
3	20	1870	1870	1870	1870
4	20	1880	1880	1880	1880
16	160	1880	1880	1880	1880
17	160	1890	1890	1890	1890
18	160	1870	1870	1870	1870

кая волна, должен быть больше некоторого критического диаметра ( $d_{кр}$ ). Полученные результаты свидетельствуют о том, что для бензино-воздушной смеси (при  $T_0=333-353\text{K}$  и  $P_0=5$  ати) величина  $d_{кр} \leq 60$  мм.

Московский геологоразведочный институт  
им. С. Орджоникидзе

Поступила в редакцию  
27/1 1975

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 С. М. Когарко. ЖТФ, 1958, XXVIII, 9.
- 2 Я. Б. Зельдович, С. М. Когарко, Н. Н. Симонов. ЖТФ, 1957, 26, 8.
- 3 Разрушение горного массива машинами взрывоимпульсного действия. М., «Наука», 1974.