

На основании полученных данных полагаем, что первостепенное значение для снижения предельного давления при стабилизации пламени имеет ускорение химических реакций горения под воздействием вводимых активных частиц.

Поступила в редакцию  
16/XII 1965

#### ЛИТЕРАТУРА

1. A. B. Nalbandjan. Phys. Z. Sovjetunion, 1933, 4, 747.
2. M. Mitchner, R. A. Gross. J. Aeronautical Sci., 1956, 23, 607.
3. S. W. Churchill, A. Weir, K. L. Gealer, K. I. Kelley. J. E. C., 1957, 49, 1419.
4. В. М. Чередниченко, И. Н. Поспелова, С. Я. Пшежецкий. ЖФХ, 1958, 32, 2673.
5. С. М. Козарко, В. В. Михеев, В. Я. Басевич. ЖФХ, 1961, 35, 2341.
6. С. М. Козарко, М. И. Девишев, В. Я. Басевич. ЖФХ, 1959, 33, 2345.
7. В. Я. Басевич, М. И. Девишев, С. М. Козарко. Изв. АН СССР, ОТН, Энергетика и автоматика, 1960, 3, 138.
8. В. Я. Басевич, С. М. Козарко. Докл. АН СССР, 1961, 141, 659.
9. С. М. Козарко, М. И. Девишев, В. Я. Басевич. Докл. АН СССР, 1959, 127, 137.
10. D. Choulis, M. I. G. Wilson. Combustion and Flame, 1963, 7, 369, № 4.

#### ВЛИЯНИЕ ДВИЖЕНИЯ ГАЗА НА ПРЕДЕЛЫ ГАШЕНИЯ ПЛАМЕНИ В УЗКИХ КАНАЛАХ

В. Ф. Заказнов, А. И. Розловский, И. И. Стрижевский  
(Москва)

Тепловая теория Я. Б. Зельдовича [1] хорошо описывает закономерности гашения пламени в узких каналах в большом диапазоне изменения условий опыта [2]. Пределы гашения характеризуются фиксированным значением критерия Пекле, построенного по скорости горения  $Pe = u_n \delta / \kappa$ , где  $u_n$  — нормальная скорость пламени;  $\delta$  — диаметр пламегасящих каналов;  $\kappa$  — температуропроводность горючих смесей. Предельное значение  $Pe_{кр} \approx 65$  хорошо согласуется с требованиями тепловой теории.

Эти опыты относились в действительности к условиям, когда газ движется перед фронтом пламени. Постоянство числа Пекле на пределе гашения в широких диапазонах изменения  $\delta$ ,  $u_n$  и давления  $p$  хорошо согласуется с тепловой теорией. Однако возможность сопоставления полученного значения  $Pe_{кр} \approx 65$  с ожидаемым порядка 80—100 оставалась неясной, так как теоретическая оценка относилась к неподвижному газу (при сгорании в пламегасящих насадках и пористых пластинах заметная турбулентность возникает при много меньших значениях  $Pe$ , чем в гладких трубах, поэтому движение газа влияет на теплоотдачу стенкам). Как показано ниже, в ряде случаев в покоящемся газе наблюдается значение  $Pe_{кр} = 16—26$ , хуже согласующееся с теоретическими оценками.

Для решения вопроса об универсальности теории было выполнено настоящее исследование влияния движения горящего газа на условия гашения. Следует учесть, что в любых аппаратных условиях движение газа всегда сопровождает процесс горения вследствие теплового расширения при сгорании.

Течение горящего газа через узкие каналы огнепреградителя часто рассматривалось как фактор, способствующий прохождению пламени по этим каналам. Возникали опасения, что при этом будет облегчаться проникновение пламени через пламегасящие каналы; критическое значение критерия Пекле снизится, т. е. ухудшится эффективность огнепреградителя.

Предполагалось также, что положение точки зажигания в замкнутом сосуде, перегороденном огнепреградителем, будет существенно влиять на пределы проникновения пламени через огнепреградитель. При размещении точки зажигания вблизи огнепреградителя пламя будет задерживаться хуже, чем при поджигании у торца бомбы, поскольку в этом случае горящий газ, а не холодная исходная смесь протекает через пламегасящие каналы.

Это предположение проверялось серией опытов по описанной ранее методике [2]. В цилиндрическую бомбу высокого давления, снабженную для наблюдения за распространением пламени несколькими герметичными прозрачными окнами, расположенными вдоль образующей бомбы, вставлялся огнепреграждающий патрон; горючая смесь поджигалась у нижнего закрытого конца бомбы. В этих опытах не наблюдалось

заметного различия критических условий гашения пламени для обоих положений точки зажигания (вблизи и вдали огнепреградителя).

Более эффективная проверка влияния движения газа на пределы гашения возможна на основании сопоставления критических параметров для потока и для неподвижной горючей смеси при сходных в остальном режимах горения. Предстояло осуществить именно режим горения неподвижной смеси. Методика предыдущих опытов обусловила возникновение интенсивного турбулизованного потока горящего газа вследствие расширения при сгорании. Скорость потока, самопроизвольно возникающего даже при ламинарном сгорании сильновзрывчатых кислородных смесей (наблюдались сферические пламена со скоростью потока горючей смеси до 200 м/сек [3]), гораздо больше той, которую можно получить искусственно при любой методике эксперимента.

Для изучения условий гашения в практически неподвижной горючей смеси последнюю следует поджигать у открытого конца трубы, перегороженной огнепреградителем; при этом нагретые продукты сгорания свободно уходят в атмосферу. Такие условия создавались при сжигании исследуемой смеси в бомбе, у которой нижний фланец заменялся шлифованной пластиной из плексигласа, герметично закрывавшей бомбу при давлении меньше атмосферного, что было необходимо для ее заполнения. При небольшом росте давления в начальной стадии горения пластина сбрасывалась.

Критические условия определялись путем подбора предельного состава смеси, пламя которой задерживалось данным огнепреградителем, либо размера каналов, гасящих пламя. В качестве огнепреградителей использовались насадки из металлических шаров определенного диаметра  $d$  либо пластины из пористых металлов — металлокерамики — с максимальным размером пор  $\delta$  ( $\delta = 0,36 d$  [2]).

Пределы гашения в неподвижной горючей смеси при  $p = 1$  ата

Горючая смесь	$u_{н}$ , см/сек	Огнепреградитель	$\delta$ , мм	$Re_{кр}$
9,5% $CH_4$ + 90,5% воздуха	34,0	Шары, $d = 10$ мм	3,6	76
13,5% $CH_4$ + 86,5% $O_2$	212,0	Металлокерамика	0,59	58
4,3% $C_3H_8$ + 95,7% воздуха*	41,4	Шары { $d = 9,5-14$ мм $d = 6$ мм	4,2	94
12,0% $H_2$ + 88,0% воздуха	27,6		2,16	24
20% $H_2$ + 80% $O_2$	130,0	Металлокерамика	0,37	16
3,6% $C_2H_2$ + 96,4% воздуха	23,0	Шары, $d = 6$ мм	2,16	26
5,8% $C_2H_2$ + 94,2% $O_2$	135,0	Металлокерамика	0,37	26
5,35% $C_2H_4$ + 94,65% воздуха*	50,0	Шары, $d = 2,0-4,0$ мм	1,1	28

\* Для сопоставления с результатами опытов в открытой трубе было изучено гашение пламени при сгорании в замкнутой бомбе воздушных смесей пропана (4,3%  $C_3H_8$ , I) и этилена (8,4%  $C_2H_4$ , II), не исследованных ранее [2]. Полученные данные не отличаются от уже сообщавшихся. Смесь I (значения  $u_{н}$ , по данным [4]) гасится насадкой из шаров  $d = 9,5$  мм, высотой  $h = 200$  мм при  $Re_{кр} = 1,25$  ата,  $Re_{кр} = 95$ ; смесь II ( $u_{н} = 70$  м/сек при 1 ата [4]) гасится насадкой из шаров  $d = 2$  мм,  $h = 120$  мм при  $Re_{кр} = 2,75$  ата,  $Re_{кр} = 69$ .

Результаты опытов, приведенные в таблице, показывают, что при сгорании неподвижного газа значения  $Re_{кр}$  для смесей метана остаются такими же, как и в закрытой бомбе. Для смесей водорода, ацетилена и этилена величина  $Re_{кр}$  в бомбе с открытым концом в 2—3 раза меньше, чем в закрытой бомбе. Таким образом, гашение пламени осуществляется легче в потоке, а не наоборот, как это раньше предполагалось.

Оставляя открытым вопрос о причинах различия в поведении смесей указанных горючих, можно констатировать, что наблюдавшееся благоприятное влияние движения сгорающего газа на условия его гашения вполне согласуется с тепловой теорией. Ускорение истечения через огнепреградитель и турбулизация горящего газа усиливают теплоотвод от газа к твердой поверхности.

Поступила в редакцию  
24/XII 1965

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Я. Б. Зельдович. ЖЭТФ, 1941, 11, 159.
2. В. Ф. Закаэнов, А. И. Розловский, И. И. Стрижевский. Инженерный ж. АН СССР, 1963, 3, 2, 280.
3. А. А. Алиев, А. И. Розловский, Ю. Х. Шаулов. Докл. АН СССР, 1954, 99, 559.
4. T. G. Scholte, P. B. Vaags. Comb. a. Flame, 1959, 3, 4, 495.