

А. С. ПОНИЗКО, А. И. РОЗЛОВСКИЙ

**ПРЕДЕЛЫ ГАШЕНИЯ ПЛАМЕНИ
ДЛЯ ПОЛУЗАМКНУТЫХ ОБОЛОЧЕК**

(Представлено академиком Я. Б. Зельдовичем 24 IV 1972)

Огнепреградители с узкими каналами, в которых происходит гашение пламени, находят широкое техническое применение. Закономерности гашения пламени при отсутствии возмущающих воздействий были подробно проверены в работе ⁽¹⁾ для широкого диапазона изменения условий опыта. Была подтверждена справедливость тепловой теории гашения ⁽²⁾, величина критерия Пекле, характеризующая теплоотдачу стенкам, на пределе гашения в соответствии с этой теорией сохраняла постоянство. Если $Pe = u_n \delta / \kappa$, где u_n — нормальная скорость пламени, δ — диаметр пламегасящих каналов, κ — температуропроводность исходной смеси, критическое значение $Pe_{кр} = 65$. К аналогичным результатам привела обработка данных других исследователей, в опытах которых сгорание не сопровождалось заметным ростом давления ⁽³⁾.

Ранее отмечалось ^(3, 4), что оболочки, снабженные огнепреградителями, оказывающими достаточно высокое сопротивление проходящему через них газовому потоку, будут играть роль полузамкнутых камер. Сгорание в них сопровождается кратковременным ростом давления, пока истечение газа через огнепреградитель не поспевает за расширением при сгорании. Можно было ожидать, что для пределов гашения в таких камерах критическое значение $Pe_{кр}$ соответствует не начальному, а максимальному значению давления, которое развивается при сгорании в полузамкнутой оболочке. Некоторые опыты ⁽⁵⁾ в известной степени подтверждали такое предположение, однако они носили только предварительный характер. Неизбежность заметного роста давления при использовании технических взрывонепроницаемых оболочек делала желательной проверку этого предположения и измерение критических условий гашения в условиях сгорания при возрастающем давлении.

В работе ⁽¹⁾ давление при сгорании оставалось, по-видимому, постоянным ввиду малости отношения объема камеры сгорания к проходному сечению огнепреградителя, играющего роль фильтра для газа, истекающего из камеры. Значительный рост давления при недостаточной газопроницаемости огнепреградителя зафиксирован в работе ⁽⁴⁾. Для решения указанной задачи мы измеряли пределы гашения для камер с такими параметрами, при которых давление в процессе сгорания заметно возрастало, измеряя и записывая рост давления на индикаторной диаграмме.

Исследуемые смеси сжигались в цилиндрической стальной бомбе диаметром 70 мм, разделенной обоймой с огнепреградителем на две камеры: поджигания и контроля. Объем камеры поджигания составлял 0,9 л, рабочий диаметр огнепреградителя 46 мм. В камере был размещен проволочный тензодатчик давления для измерения давления до 25 ата, инерционность датчика не превосходила $2 \cdot 10^{-3}$ сек., погрешность измерения до 1%. Взрывчатую смесь поджигали с помощью высоковольтного разряда в центре камеры. Прохождение пламени через огнепреградитель регист-

рировали визуально, по освещению смотровых окон камеры контроля, герметично закрытых пластинами из плексигласа.

Были определены пределы гашения пламени огнепреградителями из металловолоконных пластин⁽⁶⁾ и насадок из металлических шариков диаметром 1,5—3,2 мм. Металловолоконные пластины изготовляют из проволоки диаметром 0,2—0,8 мм, навитой в спиральные заготовки из 3—5 витков диаметром 2—5 м при шаге навивки 1—5 диаметров проволоки. Пластины, получаемые спрессовыванием пакета заготовок на холоду, отличаются высокой прочностью и газопроницаемостью.

Металловолоконные пластины или обоймы с насадками из шариков были закреплены фланцами с прокладками между двумя половинами бомбы, шарик насадки были жестко фиксированы в обойме с помощью прижимной гайки. Высота слоя насадок из шариков составляла 10—15 мм, толщина пористых пластин 5—25 мм. Максимальный диаметр каналов пластин определяли по методу продавливания первого воздушного пузырька через пластину, смоченную жидкостью с известным поверхностным натяжением^(7, 8). Для диаметра каналов насадок использовали хорошо себя оправдавшее выражение $\delta = 0,36d$, где d — диаметр шариков. Исследуемую смесь приготавливали в смесителе высокого давления⁽⁹⁾, путем дозирования компонентов по величинам их парциальных давлений. При измерениях мы варьировали величину начального давления p_0 , подбирая критическое для задержания пламени огнепреградителем. Для этого критического значения p_0 фиксировали величину максимального давления в камере при сгорании $p_{кр}$, которое мы считали критическим для гашения.

Мы изучали гашение пламени в смесях воздуха с водородом или с водородом и метаном. Теплопроводность смесей газов λ (при 298° К) вычисляли по известной эмпирической формуле Я. Б. Зельдовича $\lg \lambda = \sum \pi_i \lg \lambda_i$, где π_i и λ_i — молярная доля и теплопроводность i -го компонента; здесь это — наилучшая аппроксимация ввиду значительного различия молекулярных весов компонентов. Влияние давления (p) на нормальную скорость пламени можно описать эмпирическим выражением $u_n \sim p^g$; наиболее вероятное значение $g = +0,09$ (для смесей, содержащих водород⁽¹⁰⁾). Для u_n смесей $H_2 + CH_4 +$ воздух при 1 ата были приняты данные⁽¹¹⁾, сводка наиболее вероятных u_n ($p = 1$ ата) для смесей $H_2 +$ воздух дана в (4).

С ростом давления температуры несгоревшей смеси T_0 несколько возрастает вследствие адиабатического сжатия. Соответственно возрастают нормальная скорость пламени и теплопроводность исходной смеси λ_0 . Согласно данным⁽¹²⁾, для приближенной оценки можно принимать $u_n \sim T_0^{4,75}$, при умеренном изменении T_0 $\lambda(T_0) \sim T_0^{0,75}$. Представим величину Pe в виде $Pe = u_n \delta p C / RT_0 \lambda_0$, где C — молярная теплоемкость; очевидно, что изменение начальной температуры приблизительно одинаково сказывается на числителе и знаменателе выражения для Pe и может не учитываться. Результаты измерений представлены в табл. 1.

Из данных табл. 1 следует, что величина $Pe_{кр}$ для приведенных результатов в условиях до 16-кратного роста давления при сгорании существенно не отличается от среднего значения для изобарического сгорания. Разброс результатов измерений находится в пределах обычного для пределов гашения: $\pm 100\%$ измеряемой величины. В среднем можно все же отметить несколько больше, чем в других исследованиях значение $P_{кр}$.

Можно полагать, что небольшое систематическое различие обусловлено тем, что гашение пламени в каналах огнепреградителя происходило несколько раньше окончания сгорания в других участках взрывной камеры, т. е. при давлении, меньшем фиксируемого максимального. Этот эффект приводит к небольшому завышению значений $Pe_{кр}$ в таких измерениях по сравнению с истинными.

Предельные условия гашения пламени *

Горючее, %		u_n ($p = 1$ ата), см/сек	δ , мм	$p_{кр}$, ата	p_0 , ата	$Re_{кр}$	$Re'_{кр}$
H_2	CH_4						
Металловолоконные пластины							
32		240	0,110	12,0	4,6	93	28,6
32		240	0,150	10,7	2,5	112	23,4
32		240	0,153	8,3	2,0	86	17,3
32		240	0,250	6,3	1,6	105	22,6
28		177	0,220	5,9	1,6	64	20,0
17,5	3,5	130	0,110	16,0	5,0	96	23,3
17,5	3,5	130	0,220	8,5	2,5	95	23,1
17,5	3,5	130	0,220	4,6	1,6	48	14,7
17,5	3,5	130	0,250	4,1	1,6	49	16,7
17,5	3,5	130	0,270	3,2	1,3	40	14,6
17,5	3,5	130	0,330	2,9	1,3	44	17,8
Насадки из металлических шариков							
20		75	0,540	6,0	1,0	87	12,3
20		75	1,15	2,3	1,0	65	26,3
17		55	1,15	2,9	1,0	65	20,2

* Для сравнения приведены также значения p_0 и соответствующие им кажущиеся критические значения $Re'_{кр}$, которые оказываются меньше истинных до 7 раз.

Изложенные результаты подтверждают универсальную применимость тепловой теории гашения пламени и для случая сгорания в полужамкнутых камерах, если критические условия определять для истинного состояния горящего газа в момент прохождения пламени по каналам огнепреградителя. Для технических взрывонепроницаемых оболочек расчет на максимальное давление при сгорании в оболочке, зависящее от соотношения скорости сгорания и газопроницаемости огнепреградителя, создает при оценке взрывобезопасности оболочки небольшой дополнительный запас надежности в связи с тем, что гашение пламени опережает момент достижения максимального давления.

Казанский химико-технологический институт
им. С. М. Кирова

Поступило
19 IV 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. Ф. Заказнов, А. И. Розловский, И. И. Стрижевский, Инженерный журнал, 3, 280 (1963). ² Я. Б. Зельдович, ЖЭТФ, 11, 159 (1941). ³ А. И. Rozlovskii, V. F. Zakaznov, Combustion Flame, 17, 215 (1971). ⁴ В. Ф. Заказнов, А. И. Розловский, И. И. Стрижевский, ЖФХ, 42, 2638 (1968). ⁵ Т. А. Понизко, Кандидатская диссертация, Донецкий политехнич. инст., 1965. ⁶ А. С. Понизко, Сборн. Электротехническая промышленность, в. 326. Отд. по научно-технич. информ., стандартизации и нормализации в электромеханич. пром. 1969. ⁷ И. П. Ишкин, М. Г. Каганер, ЖФХ, 24, 943 (1950). ⁸ К. К. Стрелов, Зав. лаб., 32, 1441 (1956). ⁹ А. И. Розловский, И. И. Стрижевский, В. Ф. Заказнов, ЖФХ, 36, 2809 (1962). ¹⁰ R. S. Brokaw, Intern. Symposium on Combustion VI, New Haven, 1956, N. Y., 1957, p. 72. ¹¹ G. Jahn, Der Zündvorgang in Gasgemischen, München, 1937. ¹² Г. Л. Даггер, Д. М. Саймон, М. Герстейн, Сборн. Основы горения углеводородных топлив, ИЛ, 1960, стр. 320.