

ВЛИЯНИЕ ВОДОРОДА НА КРИТИЧЕСКИЙ ДИАМЕТР ГАШЕНИЯ ПЛАМЕНИ СМЕСИ АММИАК — ВОДОРОД — ВОЗДУХ

А. И. Эльнатанов, Н. С. Гейнце, И. И. Стрижевский
(Москва)

Для расчета средств обеспечения безопасности, в частности при крупнотоннажном производстве слабой азотной кислоты, необходимы данные о критических диаметрах ($d_{кр}$) гашения пламени стехиометрической аммиачно-воздушной смеси (22 об. % NH_3) при давлениях (p) и температурах (t), близких к натурным.

При нарушении технологического режима этого процесса возможно образование трехкомпонентной смеси аммиак — водород — воздух. Поскольку нормальная скорость распространения пламени стехиометрической водородно-воздушной смеси значительно превышает нормальную скорость распространения пламени стехиометрической аммиачно-воздушной смеси, можно было предположить, что даже небольшие добавки водорода к стехиометрической аммиачно-воздушной смеси будут снижать величину критического диаметра гашения пламени.

Определения критических диаметров гашения пламени смесей аммиак — водород — воздух при комнатной температуре и давлениях до 10 атм в зависимости от содержания водорода в смеси проводили в цилиндрической бомбе объемом 1 л с внутренним диаметром 60 мм. В бомбу устанавливали сменные втулки высотой 80 мм с калиброванными цилиндрическими отверстиями таким образом, чтобы объем над втулкой был в ~ 10 —20 раз больше, чем под втулкой и выполнял роль ресивера.

При воспламенении смеси в нижней части бомбы под втулкой максимальное давление в 5—7 раз превышает начальное. Вследствие выравнивания давления со скоростью, приблизительно на два порядка превосходящей скорость распространения пламени, некоторое количество (но не более 1 объема нижней части бомбы) горючей смеси к моменту подхода пламени перетекает в верхнюю часть и производит предварительное поджатие смеси. В наших опытах поджатие не превышало 7—10% от начального давления.

Исследуемые смеси готовили во взрывобезопасном смесителе путем поочередного впуска компонентов. Смесь газов перемешивали электромагнитной мешалкой в течение 1 ч и выдерживали в течение суток. Состав приготовленной смеси контролировали хроматографически. Погрешность анализа ± 2 относительных процента.

При поджигании смеси в нижней части бомбы (переплавлением нихромой проволоки диаметром 0,15 мм) пламя распространяется вверх и, если диаметр отверстия во втулке больше критического, проходит в верхнюю часть бомбы. Проскок пламени сопровождается повышением давления, которое отмечалось на экране осциллографа. О гашении пламени в канале судили по отсутствию роста давления в бомбе и по результатам хроматографического анализа смеси после опыта.

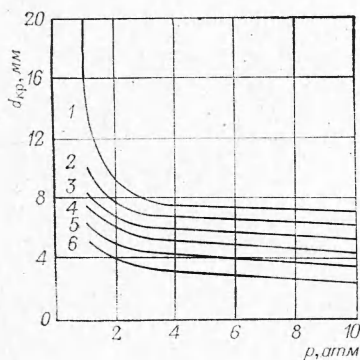
Опыты проводили со смесями аммиак — водород — воздух следующего состава: объемная доля воздуха — 0,78, горючих компонентов — 0,22, из которых на водород приходилось до 0,05.

Для каждой смеси в интервале давлений 1—10 атм определяли величину наибольшего отверстия, через которое пламя не проходило, и диаметр наименьшего отверстия, пропускающего пламя при том же давлении. Значение критического диаметра гашения пламени принима-

ли как среднее из этих величин. Ниже приведены результаты опытов по определению критических диаметров гашения (по проскоку и задержанию) пламени смесей аммиака — водород — воздух (18:4:78) при комнатной температуре и давлениях до 10 атм. Видно, что при повышении давления значения критических диаметров вначале резко уменьшаются, а затем остаются практически постоянными в интервале давлений 3—10 атм.

p , атм	$d_{кр}$, мм	$d_{задер}$, мм	p , атм	$d_{кр}$, мм	$d_{задер}$, мм
1	7	6	6	5	4
0,5	6	5	8	4	3
3	5	4	10	4	3
4	5	4			

На рисунке представлены зависимости критических диаметров гашения пламени от давления для смесей с различным содержанием водорода (Н, %: 1—0; 2—1; 3—2; 4—3; 5—4; 6—5). На рисунке видно, что с увеличением содержания водорода в смеси критический диаметр гашения пламени уменьшается. Так, если для стехиометрической аммиачно-воздушной смеси $d_{кр}=7,5$ мм при $p=4,2$ атм, то замещение каждого процента аммиака в смеси на водород уменьшает критический



диаметр приблизительно на 1 мм. Можно предположить, что эта зависимость сохранится и при больших содержаниях водорода в смеси.

Согласно теории распространения пламени [1], на пределе гашения существует постоянство критерия Пекле.

$$Pe_{кр} = u_n d_{кр} c_0 \rho_0 / \lambda_0, \quad (1)$$

где u_n — нормальная скорость распространения пламени; $d_{кр}$ — диаметр гасящего канала; c_0 , ρ_0 , λ_0 — удельная теплоемкость, плотность и теплопроводность исходной смеси соответственно, или

$$Pe_{кр} = \left(\frac{T_b}{T_0} \right)^{3/4} \sqrt{\frac{14,2 \cdot e \cdot A}{RT_b}}, \quad (2)$$

где T_b — наименьшая температура, при которой еще возможно распространение пламени; T_0 — начальная температура; A — энергия активации; R — универсальная газовая постоянная.

Для исследованных смесей по экспериментальным и справочным данным были рассчитаны значения критерия Пекле на пределе гашения

Объемное содержание аммиака, %	Объемное содержание водорода, %	Максимальная температура горения, (T_{max}), К	Минимальная температура горения (T_b), К	Pe	
				по формуле (1)	по формуле (2)
22	0	2050	1810	86	76
21	1	2000	1770	—	75
20	2	1940	1730	—	74
19	3	1930	1720	—	74
18	4	1850	1660	—	74
17	5	1790	1610	—	74
0	22	2400	1760	58	54

$$* T_{max} = T_0 + Q/C_p$$

$$** T_b = T_{max} - RT_{max}^2 / A$$

пламени. Ввиду отсутствия данных о нормальных скоростях распространения пламени смесей аммиак — водород — воздух значения $Re_{кр}$ рассчитывали по формуле (2). Для стехиометрической аммиачно-воздушной смеси $Re_{кр}$ получали для различных давлений по формулам (1) и (2), используя $u_n = 23$ см/с, полученное в [2] при $t = 150^\circ\text{C}$.

Приведенные в таблице полученные величины $Re_{кр}$ во всех случаях удовлетворительно совпадают и близки к рекомендованному значению $Re_{кр} = 65$ [3].

Зависимость критического диаметра гашения пламени смесей аммиак — водород — воздух от давления и содержания водорода в исследованной области составов и давлений можно выразить следующим соотношением:

$$d_{кр} = 12,6 \cdot e^{-0,07p} \cdot e^{-0,175H}, \quad (3)$$

где p — давление смеси, атм; H — содержание водорода в смеси, об. %. Уравнения, подобные уравнению (3), позволяют проводить ориентировочные расчеты критического диаметра гашения пламени тройных смесей, для которых неизвестна нормальная скорость распространения пламени.

Сравнение экспериментальных и рассчитанных по уравнению (3) значений критического диаметра гашения пламени смесей аммиак — водород — воздух показало, что максимальное отклонение не превышает $\pm 14\%$, что вполне допустимо при ориентировочных расчетах критического диаметра гашения пламени.

Поступила в редакцию
16/IV 1974

ЛИТЕРАТУРА

1. Я. Б. Зельдович. ЖЭТФ, 1941, 11, 1, 159.
2. L. Cohen. Fuel, 1955, 34, 4, 123.
3. И. И. Стрижевский, В. Ф. Заказнюв. Промышленные огнепреградители. М., «Химия», 1966.

УДК 622.58

О ФОРМИРОВАНИИ ПЛАМЕНИ ВЗРЫВЧАТЫХ СМЕСЕЙ ПРИ ВОСПЛАМЕНЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ РАЗРЯДОМ

А. Т. Ерыгин, В. П. Яковлев, В. В. Давыдов

(Москва)

При решении вопросов обеспечения искробезопасности электрических цепей в настоящее время все взрывчатые паро- и газозоодушные смеси разбиты на четыре категории в зависимости от их воспламеняемости от электрических разрядов. Горючими газами во взрывчатых смесях этих категорий являются метан, этан, этилен и водород.

В работе [1] была описана методика определения времени формирования минимального ядра пламени взрывчатых смесей, основанная