

## ИЗМЕРЕНИЕ НОРМАЛЬНЫХ СКОРОСТЕЙ ГОРЕНИЯ БОГАТЫХ МЕТАНО-КИСЛОРОДНЫХ СМЕСЕЙ

Г. В. Щемелев, М. П. Мулява, В. У. Шевчук,  
Ф. Б. Моин

(Борислав)

Нормальная скорость горения является фундаментальной характеристикой, определяющей различные стороны процесса горения. Данные по скоростям горения метано-кислородных смесей необходимы, в частности, для расчета промышленных горелочных устройств, работающих на этих смесях. В работе [1] систематически исследовалось влияние состава смеси и температуры подогрева на нормальную скорость горения метана с кислородом в широком диапазоне концентраций. Однако представляет интерес измерить нормальные скорости горения богатых метано-кислородных смесей, которые не изучались ранее.

**Аппаратура и методика экспериментов.** Нормальная скорость горения при различных температурах измерялась по методу проскока пламени в профилированное сопло [2]. Длина горелки составляла около 100 см, диаметр 75 мм. В нижней части горелки были установлены три латунные сетки на расстоянии 1 см одна от другой, служившие для подавления неравномерности профиля скорости газа внутри горелки. Горелка заканчивалась профилированным соплом диаметром 30 мм, изготовленным из нержавеющей стали, аналогично описанному в работе [3]. Для устранения неравномерности профиля скорости газа на выходе из сопла и получения плоского профиля использовался набор шайб различной толщины, позволяющий удлинять выходной участок сопла до 100 мм, через каждые 5 мм.

Как известно [2], при истечении газа из сопла, снабженного удлинительными шайбами, наблюдаются две области с качественно различными по характеру ламинарными проскоками пламени. При коротком сопле пламя проскакивает по оси и в момент проскока имеет менискообразную форму. При длинном сопле пламя проскакивает вблизи стенки, при этом оно сохраняет форму бунзеновского конуса. Зависимость скорости проскока  $w_{пр}$  от длины выходного участка сопла  $l$  в указанных областях также различна. На коротком сопле скорость проскока с увеличением  $l$  уменьшается, а на длинном — возрастает. Разрыв на кривой зависимости  $w_{пр}$  от  $l$  характеризует переход от проскока пламени по оси сопла к проскоку вблизи стенки. Минимальное значение  $w_{пр}$  достигается на границе указанных областей (рис. 1). Когда профиль скорости газа

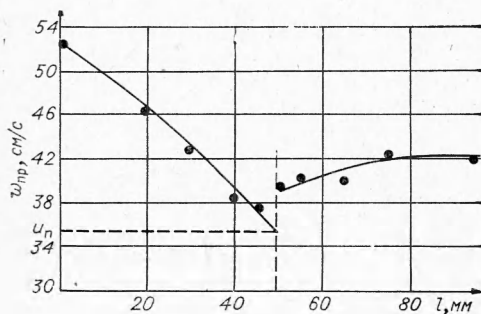
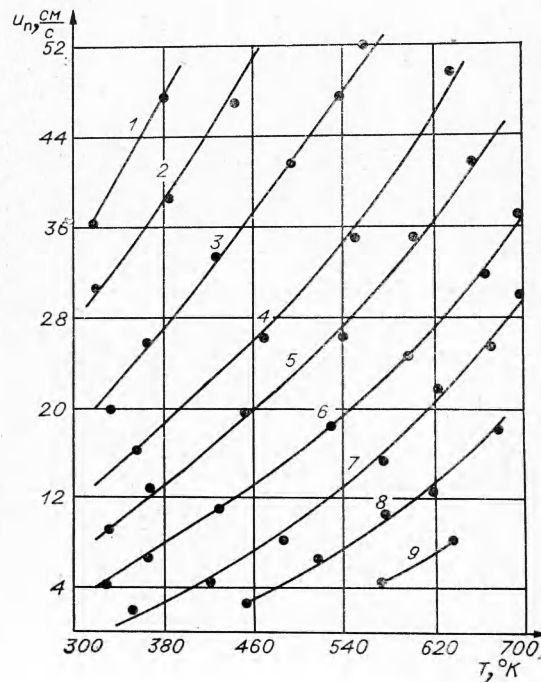


Рис. 1. Зависимость скорости проскока пламени от длины выходного участка сопла.

Рис. 2. Зависимость скорости распространения пламени от температуры метано-кислородных смесей.

Содержание кислорода в смеси в об. %: 1 — 43,3; 2 — 42,5; 3 — 41,8; 4 — 40,5; 5 — 39,5; 6 — 38,2; 7 — 37,2; 8 — 35,7; 9 — 34,5.



на выходе из сопла плоский, это минимальное значение равно нормальной скорости распространения пламени  $u_{пр}$ . Контролем профиля скорости газа может служить форма пламени при скорости газа, большей скорости проскока,— наличие правильного прямого конуса пламени свидетельствует о плоском профиле скорости газа.

Процедура измерения скорости проскока была аналогичной описанной в работе [1]. Проскоком считался момент, когда вогнутый мениск пламени заходил в сопло на  $\sim 10$  мм (на этом расстоянии от среза сопла была сделана метка). Значительный диаметр выходного отверстия сопла позволял это хорошо наблюдать. Скорость проскока рассчитывали по расходу рабочей смеси в этот момент.

Для приготовления смеси использовали природный газ Хидновичского месторождения с содержанием метана до 98,7 об. % (остальное: до 1 об. % азота, до 0,3 об. % высших углеводородов, следы кислорода и двуокиси углерода) и технический кислород, содержащий до 0,7 об. % азота.

**Результаты экспериментов.** Для контроля неравномерности профиля скоростей газа на выходе из сопла были проведены опыты на метано-воздушных смесях при скоростях истечения газа, больших скорости проскока. При коротком сопле пламя имело форму выпуклого конуса, при длине выходного участка сопла  $\sim 50$  мм пламя принимало форму правильного конуса, а при длинном сопле — вогнутого конуса. Пламя в форме правильного прямого конуса свидетельствует о плоском профиле скорости газа при истечении из сопла с выходным участком длиной 50 мм. Это подтверждается также зависимостью скорости проскока от длины выходного участка, изображенного на рис. 1. Опыты проводились при температуре  $610^\circ\text{K}$  со смесью, содержащей 39,5 об. % кислорода.

При длине выходного участка сопла  $\sim 50$  мм наблюдалась минимальная скорость проскока, которая в данных условиях равна нормальной скорости горения. Для проверки возможного влияния диффузии компонентов смеси в окружающую среду на результаты экспериментов были проведены контрольные опыты, в которых выходной участок обдувался инертным газом (аргоном). В основных и контрольных опытах были получены практически одинаковые результаты. Диффузия компонентов смеси в окружающую среду мала и не влияет на измерение  $u_{пр}$ .

Были измерены нормальные скорости горения смесей, содержащих от 34,5 до 43,3 об. % кислорода в диапазоне температур  $300\div 700^\circ\text{K}$  (рис. 2). Зависимость  $u_{пр}$  от  $T$  с достаточной точностью описывается уравнением

$$u_{пр} = u_0 \left( \frac{T}{T_0} \right)^n, \quad (1)$$

где  $u_0$ — скорость распространения пламени при некоторой произвольно выбранной  $T_0$ . С уменьшением содержания кислорода в смеси показатель степени  $n$  в уравнении (1) увеличивается. Это находится в согласии с работами авторов [1, 4] (рис. 3). Для смесей с содержанием кислорода менее 34 об. % проскок не наблюдается даже при  $T = 700^\circ\text{K}$ . Очевидно, смесь такого состава при указанной температуре лежит вне пределов распространения пламени.

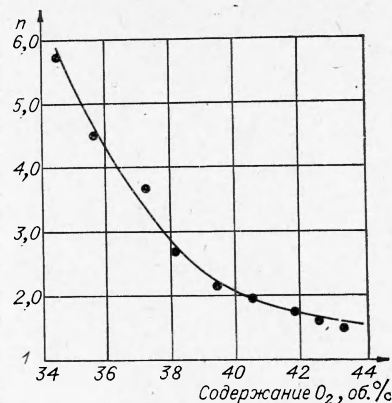


Рис. 3. Зависимость показателя степени  $n$  от состава метано-кислородных смесей.

Поступила в редакцию  
10/II 1974

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ф. Б. Моин, В. У. Шевчук. ИФЖ, 1962, 3, 10.
2. L. N. Khitrin, P. B. Moïn a. o. Tenth Symp. (Intern.) Combust., 1964, Pittsburg, 1965, p. 1285.
3. T. G. Sholte, P. B. Vaags. Sombust. and Flame, 1959, 3, 495, 9.
4. Passauer. Gas und Wasserfach, 1930, 73, 313.