

которое находится в интервале температур возбуждения колебательных степеней свободы молекул водорода (6100 К) и кислорода (2230 К) [6]. Величина  $A_2 = 5,099 \cdot 10^{10} \text{ м}^3/(\text{кмоль} \times \text{с} \cdot \text{К}^{3/4})$  определялась, как и значение  $A_1 = 1,284 \cdot 10^{13} \text{ м}^3/(\text{кмоль} \cdot \text{с})$  в [1—4], из условия соответствия решению точных уравнений равновесия при  $\rho$ ,  $T$  и  $\mu$  в точке Чепмена — Жуге ( $u = c_f$ ).

Анализ результатов расчетов, представленных на рисунке, показывает, что зависимости  $U$ ,  $\mu$ ,  $\gamma_f$  от температуры по моделям I и II в исследованном интервале 1000—5000 К практически совпадают между собой и близки к результатам, полученным с использованием точных уравнений равновесия. Тем не менее предпочтительнее применение модели II, так как она в точности удовлетворяет второму началу термодинамики.

Авторы благодарят В. А. Даниленко за полезные обсуждения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Николаев Ю. А. ФГВ, 1978, 14, 4.
2. Николаев Ю. А., Фомин П. А. ФГВ, 1982, 18, 1.
3. Николаев Ю. А., Фомин П. А. ФГВ, 1983, 19, 6.
4. Николаев Ю. А., Фомин П. А. ФГВ, 1984, 20, 4.
5. Термодинамические свойства индивидуальных веществ/Под ред. В. П. Глушко. Т. 2.— М.: Изд-во АН СССР, 1962.
6. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Статистическая физика. Ч. I.— М.: Наука, 1976.

Поступила в редакцию 11/V 1987,  
после доработки — 17/IX 1987

### ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ВЫГОРАНИЯ ФАКЕЛА РАСПЫЛЕННОГО ЖИДКОГО ТОПЛИВА

С. И. Барановский, А. А. Клушин, А. И. Турищев  
(Москва)

Сжигание жидких топлив, распыленных пневматическими форсунками, находит широкое применение в двигателях и энергетических установках. В работе [1] экспериментально доказано, что коаксиальная пневматическая форсунка позволяет эффективно сжигать жидкие и газообразные топлива. В этой связи несомненный интерес вызывает теоретическое и экспериментальное моделирование процесса горения таких топлив, в частности исследование механизма выгорания.

В [2] показано, что керосин, распыленный пневматической форсункой, горит по диффузионному механизму, весьма близкому к горению затопленных струй газообразных углеводородных топлив. Данный вывод справедлив лишь в некотором диапазоне начальных концентраций керосина. При увеличении расхода распыленного (первичного) воздуха, вероятно, должен проявляться механизм горения предварительно перемешанной смеси, а при приближении начальной концентрации керосина к стехиометрической этот процесс может преобладать перед диффузионным. Следует отметить, что при стехиометрической начальной концентра-

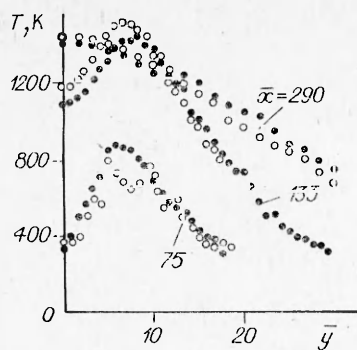


Рис. 1. Профили температуры факела при распылении керосина азотом и воздухом в трех сечениях факела.

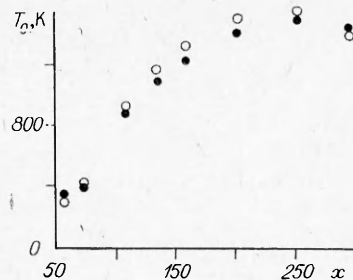


Рис. 2. Изменение температуры на оси факела.

ции топлива смесь быстро объединяется за счет смешения с окружающим воздухом и не воспламеняется или сгорает неэффективно, поэтому такие режимы практического значения не имеют. В приемлемых на практике режимах горения могут иметь место оба механизма.

Цель данной работы — экспериментальное исследование влияния первичного воздуха, используемого для распыла жидкого топлива, на механизм выгорания топлива в факеле, что особенно важно для правильного численного моделирования процесса.

Подробное описание экспериментальной установки и приборов приводится в [1, 2].

В данной работе исследовался факел распыленного коаксиальной пневматической форсункой керосина ТС-1, распыливающий газ — воздух и газообразный азот. В последнем случае первичный газ только распылитель и не участвует в химической реакции. Таким образом, имеет место «чистый» диффузионный факел. Скорость истечения первичного газа в обоих случаях  $u_0 = 255$  м/с. Диаметр форсунки  $d_0 = 1,2$  мм. Начальная концентрация керосина  $G_0 = G_T / (G_T + G_B) = 0,575$ , где  $G_T$ ,  $G_B$  — массовые расходы топлива и воздуха.

Как и ожидалось, благодаря близким физическим свойствам воздуха и азота характеристики распыла и затухания концентрации жидкого топлива в азотном и воздушном факелах оказались близкими и практически не отличались от приведенных в [1], что позволяет считать процессы дробления и смешения топлива в этих случаях идентичными.

Профили температуры в трех сечениях факелов показаны на рис. 1 (темные и светлые точки здесь и на рис. 2—4 относятся к азотному и воздушному факелам соответственно). В случае распыления азотом наблюдаются характерные для диффузионного факела профили

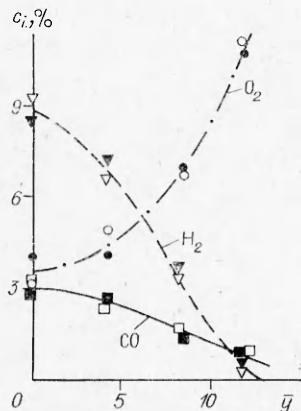


Рис. 3. Объемная концентрация продуктов сгорания.

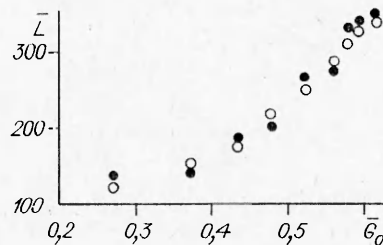


Рис. 4. Зависимость относительной длины факела от начальной концентрации керосина.

температуры с четко выраженным фронтом реакции, приходящим на ось вблизи сечения  $\bar{x} = 290$ , где  $\bar{x} = x/d_0$ .

В случае воздушного распыла в начальных сечениях факела ( $\bar{x} = 75$ ) профиль температуры характеризуется двумя максимумами, соответствующими внутреннему и внешнему фронтам реакции. Внутренний фронт возникает от точки стабилизации в направлении к оси струи благодаря наличию здесь кислорода первичного воздуха и испарившегося керосина. Максимум температуры, соответствующий внутреннему фронту, в данных экспериментах приходится на сечения до  $\bar{x} = 100$ . Внешний диффузионный фронт реакции обоих факелов развивается практически идентично. Следует отметить незначительное возрастание максимальной температуры в сечении и сдвиг максимума к оси при воздушном распыле, что объясняется более быстрым смешением и интенсификацией выгорания топлива в начальной зоне факела.

В дальней зоне ( $\bar{x} = 290$ ) профили температуры обоих факелов практически совпадают, что позволяет сделать вывод о подавляющем преобладании диффузионного механизма горения. Данный вывод подтверждается также распределением температуры на оси (рис. 2): максимум при распыле азотом и воздухом достигается фактически в одной точке  $\bar{x} = 250$ . Превышение температуры в последнем случае не более 3%. На рис. 3 показано изменение химического состава осушенной пробы газа в сечении  $\bar{x} = 250$ . Профили концентрации компонентов, как и профили температуры, говорят о том, что воздушный факел несколько уже азотного. Однако количественное расхождение не превышает 6% и подтверждает, что диффузионный механизм горения преобладает над гомогенизацией смеси первичным воздухом.

Для проверки данного вывода в более широком диапазоне начальных условий распыления проведены эксперименты по измерению видимой длины факела при  $u_0 = 140, 180, 250$  и  $440$  м/с и  $\bar{G}_0 = 0,1 \div 0,6$ . Во всем исследованном диапазоне величины  $L$  отличаются не более чем на 4%. Пример изменения длины факелов от концентрации топлива при  $u_0 = 180$  м/с показан на рис. 4.

Таким образом, сравнение результатов измерения полей температуры, концентраций продуктов сгорания и длины факела жидкого топлива, распыленного воздухом и газообразным азотом, позволяет заключить, что в приемлемом на практике диапазоне концентраций топлива факел развивается в основном по диффузионному механизму. При численном моделировании процесса влиянием первичного воздуха на развитие факела в первом приближении можно пренебречь.

Поскольку первичный газ в пневматических форсунках выполняет в основном функцию дробления и смешения жидкого топлива и в гораздо меньшей степени участвует в реакции в качестве окислителя, допустимо использовать для распыления вместо воздуха любой другой газ (например, гелий), позволяющий получить более тонкий распыл и увеличить эффективность горения топлива. По тем же причинам могут использоваться продукты сгорания, подаваемые в форсунку с помощью любого устройства для сжатия газов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Барановский С. И., Николенко В. П., Турищев А. И.— В кн.: Структура газофазных пламен. Ч. 2.— Новосибирск, 1983.
2. Барановский С. И., Николенко В. П., Турищев А. И. ФГВ, 1985, 21, 6, 14.

*Поступила в редакцию 18/XI 1986*