

$$t(f_1) = \int_{x(f_1)}^L dx/v, \quad (8)$$

$$f = f_1 + \int_{f_1}^1 \exp \left\{ - [M^*(L)/M_c] \int_{x(f_1)}^{x(\varphi)} dx/v \right\} d\varphi.$$

Уравнения (8) задают параметрическую зависимость  $f(t)$  с параметром  $f_1$ .

В стационарном случае можно ввести функцию  $\psi$  зависимости относительной массы газа в газодинамическом тракте  $M(x)/M(L)$  от  $f_1 = M^*(x)/M^*(L)$ , тогда (8) примет вид

$$t(f_1) = [M(L)/M^*] \int_{\sigma=f_1}^1 \{d\psi(\sigma)/\sigma\}, \quad (9)$$

$$f = f_1 + \int_{\varphi=f_1}^1 \exp \left\{ - [M(L)/M_c] \int_{\sigma=f_1}^{\varphi} [d\psi(\sigma)/\sigma] \right\} d\varphi.$$

В наиболее простом случае, когда плотность  $\rho$  и массовую скорость  $m$  газоразделения всюду можно считать одинаковыми, входящая в (9) величина  $\psi$  становится геометрической характеристикой реактора I; это зависимость относительного объема газодинамического тракта  $W(x)/W(L)$  от относительной поверхности горения  $S(x)/S(L)$ . Если при этом в реакторе I горение идет по поверхности цилиндрического канала, из (9) можно получить  $f(t)$  в явном виде:

$$f = \left[ \frac{M(L)}{M_c} \exp \left( - \frac{M^*}{M(L)} t \right) - \exp \left( - \frac{M^*}{M_c} t \right) \right] \left[ \frac{M(L)}{M_c} - 1 \right]. \quad (10)$$

Зависимость (9) предлагается для использования при проектировании камер сгорания. Эксперименты по проверке (9) (за исключением описанных в [1], выявивших лишь качественную картину явления) не проводились ввиду сложности количественного измерения  $f(t)$ . О степени недогорания можно судить и по тяге, но для достижения необходимой точности требуется довольно большой массовый расход.

Поступила в редакцию  
10/VIII 1979

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Л. К. Гусаченко, Л. Н. Ревягин, А. В. Филиппов. ФГВ, 1979, 15, 6.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ ТУРБУЛЕНТНОГО ЗАКРУЧЕННОГО ФАКЕЛА ОДНОРОДНОЙ СМЕСИ

Б. П. Устименко, О. С. Ткацкая, С. С. Изликов  
(Алма-Ата)

Активное воздействие на процесс горения и управление факелом с помощью регулируемой начальной закрутки потока [1, 2] широко применяется в топочной технике, хотя и недостаточно изучено. Для получения недостающих данных в настоящей работе проведены измерения полного и статистического давления, температуры и концентрации компонентов газа во всем поле течения закрученного газового факела, образованного при истечении в слутный поток воздуха струи топлива (однородной смеси пропан — бутана и воздуха). Коэффициент избытка воздуха изменялся в пределах  $0,3 \leq \alpha \leq 1,25$ , а начальная температур смеси  $T_0 \approx 300$  К.

Горючая смесь из специального смесителя истекала через профилированное сопло с выходным диаметром 20 мм при поджатии, равном 20. Скорость истечения менялась в пределах от 20 до 85 м/с, число Рейнольдса  $Re = 22 \cdot 10^3$ . Параметр слутности  $m = (\rho v_x^2)_n / (\rho v_x^2)_0$  (отношение импульсов аксиальных компонентов скорости струи на выходе из сопла и скорости потока) варьировался в интервале  $0 \leq m \leq 2,5$ , а ин-

Рис. 1. Распределение температуры, полного давления и концентрации для слабо- (а, б) и сильнозакрученного (в, г) факелов, сечение  $x=1, \alpha=0,57$ .

$$1 - \Delta \bar{T} = \frac{T - T_0}{T_m - T_0}; \quad 2 - \bar{H} = \frac{H}{H_0};$$

$$3 - O_2; \quad 4 - CO_2; \quad 5 - CO.$$

тенсивность крутки определялась углом установки лопаток закручивающего аппарата  $\varphi$ , равным 0, 20 и 70°. Эти значения соответствовали прямоточному, слабо- и сильнозакрученному факелам. На выходе из сопла горячая смесь воспламенялась дежурным кольцевым газовым факелом с расходом газа менее 1% от общего. Предварительные измерения показали, что возмущения, вносимые им, весьма малы и практически не сказываются на закрученном факеле.

Как и в струйных течениях, наиболее сильное влияние на закономерности развития газового факела оказывает величина начальной закрутки потока. С увеличением крутки происходит качественная перестройка картины течения.

Слабозакрученный факел по своей структуре напоминает прямоточный. Вблизи сопла имеется область горения, близкая к ламинарной, далее происходит быстрое расширение зоны горения и осуществляется переход к турбулентному режиму. Как и в прямоточном, в слабозакрученном факеле в начальных сечениях имеется резко выраженный максимум в профиле температуры (рис. 1, а), свидетельствующий о существовании узкой кольцевой зоны фронтального горения. Ширина этой зоны по мере удаления от сопла увеличивается, а градиенты температуры уменьшаются. Это согласуется также (рис. 1, б и 2, в) с распределением в сечениях факела концентрации компонентов газа ( $O_2, CO_2, CO$ ). В отличие от этого в сильнозакрученном факеле резкое расширение зоны горения начинается непосредственно вблизи сопла, факел значительно короче и шире.

В сильнозакрученном факеле отсутствует также и ярко выраженный узкий фронт пламени, определяемый по наличию максимума в профилях температуры. Интенсивное горение осуществляется по всему поперечному сечению факела (рис. 1, в, г). Возрастающие крутки приводят к уве-

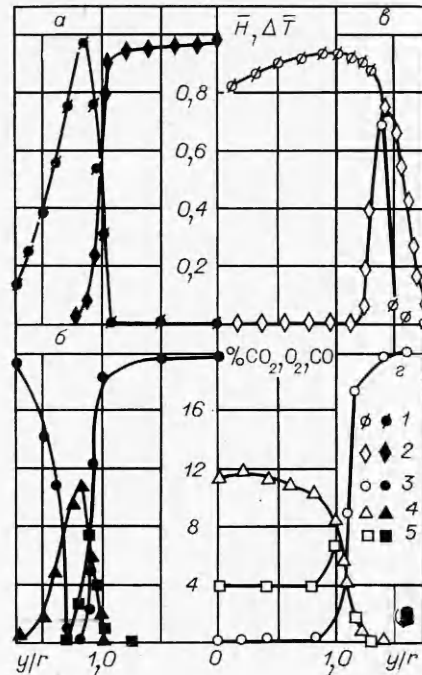
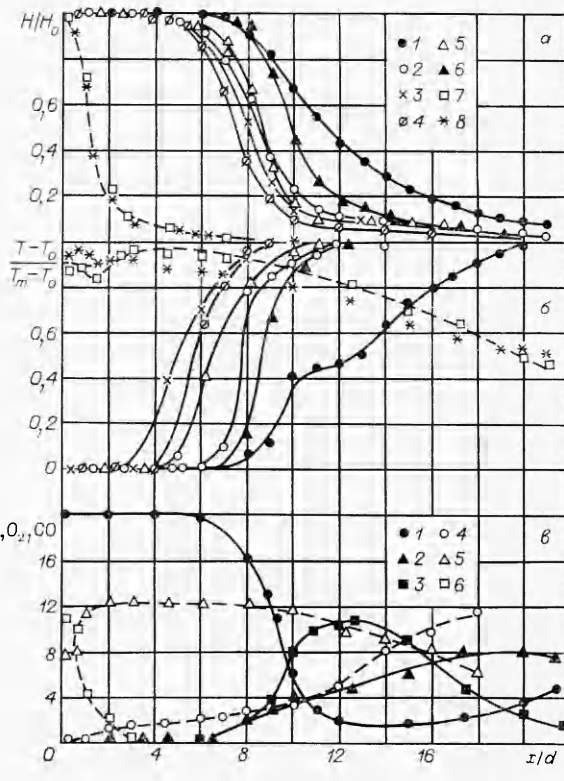


Рис. 2. Распределение полного давления (а), температуры (б) и концентрации (в) вдоль оси слабо- и сильнозакрученного факелов при различных значениях  $\alpha$ .

а, б)  $\varphi=20^\circ$ : 1 —  $\alpha=0,3$ , 2 — 0,57, 3 — 0,75, 4 — 0,89, 5 — 1,63, 6 — 1,25;  $\varphi=70^\circ$ : 7 —  $\alpha=0,5$ , 8 — 0,57; в)  $\alpha=0,57$ ,  $\varphi=20^\circ$ : 1 —  $O_2$ , 2 —  $CO_2$ , 3 —  $CO$ ;  $\varphi=70^\circ$ : 4 —  $O_2$ , 5 —  $CO_2$ , 6 —  $CO$ .



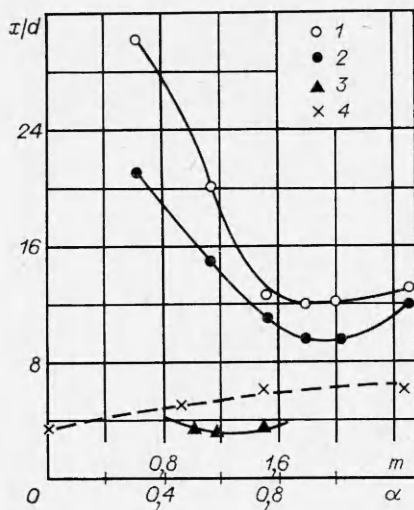


Рис. 3. Зависимости относительной длины факела от  $\alpha$  (сплошные линии) и  $m$  (штриховая линия).

1—3 —  $m=0$ ,  $\varphi=0$ ; 20 и 70°; 4 —  $\varphi=70^\circ$ ,  $\alpha=0,75$ .

лпчению интенсивности тепловыделения и эжекционной способности факела, расширению эффективных границ и уменьшению его длины (рис. 2, а, б).

Наряду с круткой существенное влияние на структуру факела оказывает и коэффициент избытка воздуха  $\alpha$ . При возрастании  $\alpha$  до 0,89 процесс горения в слабозакрученном факеле интенсифицируется, фронт горения приближается к соплу, сокращается длина начального участка и всего факела (рис. 3), увеличивается скорость затухания полного давления (см. рис. 2, а, б).

Противоположная картина, вследствие обеднения горючей смеси, наблюдается при дальнейшем возрастании  $\alpha$  до значений, больших 1. Профили концентрации  $O_2$ ,  $CO_2$  и  $CO$ , измеренные при различных  $\alpha$ , полностью согласуются с описанными закономерностями развития факела. На сильнозакрученном факеле, отличающемся устойчивым и высоконапряженным горением, влияние  $\alpha$  сказывается значительно слабее (см. рис. 2, а, б).

Эффективное воздействие на структуру закрученного факела оказывает также и параметр спутности  $m$ . Как и в прямоточном факеле, с ростом скорости спутного потока воздуха зона интенсивного горения отодвигается от сопла, возрастает длина начального участка и общая длина факела (см. рис. 3), замедляются процессы турбулентного обмена, рассеивание полного давления и темп возрастания температуры вдоль горящей струи заметно падает. Происходит значительное уменьшение интенсивности тепловыделения по длине факела и присоединенной массы. Эта картина наблюдается при всех значениях параметра  $\alpha$  и начальной крутки.

Таким образом, изменения начальной крутки струи, доли первичного воздуха в однородной горючей смеси и скорости спутного потока оказывают активное влияние на закономерности развития и структуру газового факела и могут служить эффективными средствами для его управления.

Поступила в редакцию  
5/XI 1979

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. Червинский. Ракетная техника и космонавтика, 1969, 7, 10, 69.
2. Д. Лиллп. Ракетная техника и космонавтика, 1977, 15, 8, 12.

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ДИССОЦИАТИВНОЙ РЕКОМБИНАЦИИ

Г. С. Драган, Т. Н. Кадыров, А. А. Мальгота,  
Ю. В. Соколов, М. Н. Чесноков  
(Одесса)

Для проведения расчетов закаленных концентраций заряженных частиц в расширяющихся газовых струях продуктов сгорания углеводородных горючих смесей используются значения коэффициентов электронно-ионной рекомбинации  $\alpha$ . Теоретические расчеты коэффициента диссоциативной рекомбинации в зависимости от температуры проведены в [1]. Показано, что значения  $\alpha$  лежат в пределах  $10^{-6}$ — $10^{-7}$  см<sup>3</sup>/с, однако ввиду сильной зависимости закаленных концентраций от  $\alpha$  [2] необходимо его экспериментальное измерение.

В настоящей работе экспериментально определяются коэффициент диссоциативной рекомбинации в продуктах сгорания углеводородной горючей смеси при повышенном давлении окружающей среды. Для проведения экспериментов сконструиро-