

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛНОТЫ СГОРАНИЯ СМЕСИ ЗА СТАБИЛИЗАТОРОМ ПЛАМЕНИ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ТУРБУЛЕНТНОГО ГОРЕНИЯ В ПОТОКЕ

Мухин А.Н.¹, Мингазов Б.Г.², О.Стайич², Давыдов Н.В.²

¹«ОКБ им. А. Люльки» филиала ПАО «ОДК УМПО», г. Москва

²КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань, davnik91k2008@yandex.ru

Ключевые слова: стабилизатор, камера сгорания, полнота сгорания.

В работах [1-3] показано, что полноту сгорания в турбулентном потоке возможно с помощью моделирования на основе поверхностного сгорания моля смеси. Поэтому при создании модели сгорания топлива полезно применить подход, основанный на сгорании моля смеси в турбулентном потоке. В работе [3] показано, что турбулентная скорость определяется по формуле

$$U_T = U_H + W' . \quad (1)$$

Здесь пульсационная скорость

$$W' = \varepsilon W , \quad (2)$$

где W – скорость истечения потока за горелочным устройством, ε – интенсивность турбулентности. В форсажных камерах $\varepsilon = 0.1-0.2$.

Тогда согласно [3] расчет полноты сгорания можно проводить из предположения что процесс турбулентного сгорания осредненного моля смеси протекает по поверхностной модели, согласно которой можно получить

$$\eta_r = \frac{3U_{T0}^3 \cdot t_0^3}{l_0^3} \left[\frac{1}{3} \left(1 - e^{-\frac{3t}{t_0}} \right) - \frac{U_H}{U_{T0}} \left(1 - e^{-\frac{2t}{t_0}} \right) + \frac{U_H^2}{U_{T0}^2} \left(1 - e^{-\frac{t}{t_0}} \right) \right] , \quad (3)$$

где $t = \frac{V_r \cdot \rho_r}{G_r}$; $t_0 = \frac{l_0}{W'}$ – время пребывания и время потребное для смешения в КС,

здесь l_0 ; W' – масштаб и пульсационная скорость в расчетном сечении потока.

После подстановки этих параметров в уравнение окончательно получим:

$$\eta_r = \frac{3U_{T0}^3}{W'^3} \left\{ \frac{1}{3} \left[1 - \exp \left(-\frac{3\Delta x \cdot \varepsilon}{l_i} \right) \right] - \frac{U_H}{U_{T0}} \left[1 - \exp \left(-\frac{2\Delta x \cdot \varepsilon}{l_i} \right) \right] + \frac{U_H^2}{U_{T0}^2} \left[\left(1 - \exp \left(-\frac{\Delta x \cdot \varepsilon}{l_i} \right) \right) \right] \right\} . \quad (4)$$

Здесь масштаб турбулентности и турбулентную скорость можно принять:

$$l_N \approx hcn? \quad U_N \approx U_y + W' . \quad (5)$$

Скорость потока, обтекающего зону обратных токов стабилизатора пламени, с учетом затенения проходного сечения определится выражением

$$W = W_d \cdot \frac{1}{1-f} , \quad (7)$$

где $f = \frac{\sum F_{CT}}{F_K}$ – степень затенения сечения камеры стабилизаторами пламени;

$\sum F_{CT}$ – суммарная площадь всех стабилизаторов;

F_K – площадь камеры.

Оптимальным с точки зрения стабилизации пламени, считается $f=0,33$ для осесимметричных стабилизаторов и $f = 0,5$ - для плоских, а кольцевые стабилизаторы занимают промежуточное положение. Рекомендуется принимать значение степени затенения в пределах:

$$f=0,3 \div 0,4 . \quad (8)$$

На рис. 1 представлены графики изменения полноты сгорания по длине ФК. и сопоставление их с экспериментальными данными. Видно, что рассмотренная теория позволяет предсказывать полнотные характеристики.

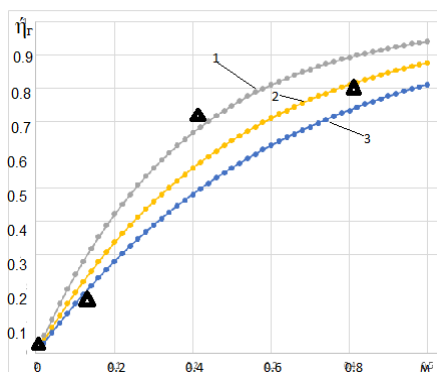


Рисунок 1 - Сравнение расчетных и экспериментальных данных по изменению полноты сгорания по длине ФК. Расчетные зависимости полноты сгорания при разных размерах стабилизаторов 1 – $h=0.04$ м, 2 – $h=0.02$ м, 3 – $h=0.01$ м. $T_0=324$ К, $\alpha=1.2$, ▲ – эксперимент при $h=0.03$ м

Из анализа приведенных аналитических выражений следует, что процесс сгорания зависит не только от кинетических факторов, за влияние которых отвечает нормальная скорость горения U_H , но и учитываются гидродинамические условия, формирующиеся в потоке через W' и l_T , что позволяет более точно описывать реальные процессы, происходящие в камерах сгорания.

Из сопоставления результатов измерений и теоретических расчетов следует, что рассмотренный подход позволяет обобщать полученные данные по сгоранию топлива в условиях форсажной КС и предсказывать полнотные характеристики форсажной камеры сгорания в различных условиях работы.

Список литературы:

- 1 Мингазов Б.Г. Камеры сгорания газотурбинных двигателей. Конструкция, моделирование процессов и расчет: учебное пособие. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2006. – 220 с.
- 2 Damköhler G. Der Einfluss der Turbulenz auf die Flammengeschwindigkeit in Gasgemischen / Zeitschrift für Electrochemie, Bd.6, H.11, 1940, S.601-626.
3. Талантов А.В. Основы расчета простейшей прямоточной камеры сгорания / Изв. вузов «Авиационная техника». – 1958. – №2.

INVESTIGATION OF FLAME STABILIZATION WITH PERFORATED FLAME STABILIZERS

Muhin A.N.¹, Mingazov B.G.², Staich O.² Davydov N.V.²

¹«OKB name of A. Lyl'ki» branch of PAO «ODK UMPO», Moscow

²KNRTU-KAI named after A.N. Tupolev, Kazan, Russia, davnik91k2008@yandex.ru

Keywords: stabilizer, combustion chamber, completeness of combustion.

The results of studies of fuel burnout along the length of the cujhfybz chamber are presented and a comparison with experimental values is given. Good convergence of the computational model is obtained.