

РАСЧЕТ ПОЛНОТЫ СГОРАНИЯ В ЗАКРУЧЕННОМ ПОТОКЕ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ТУРБУЛЕНТНОГО ГОРЕНИЯ

Нгуен Т.Д., Александров Ю.Б., Мингазов Б.Г.

Казанский национальный исследовательский технический университет
имени А. Н. Туполева-КАИ (КНИТУ-КАИ), Казань, Alexwischen@rambler.ru

Ключевые слова: закрученная струя, смешение, турбулентная скорости горения, полнота сгорания.

Закрутка потока широко используется в камерах сгорания и промышленных топках как средство управления размером пламени, его формой, стабилизацией и интенсивностью горения. Полнота сгорания является основными характеристиками камер сгорания, поэтому создание методики расчета полноты сгорания в закрученной струе является актуальной задачей. В данной работе проведено исследование указанных характеристик горения в закрученной струе с позиции теории турбулентного горения.

В настоящее время исследованию горения в закрученных струях посвящено значительное количество работ [1, 2]. Установлено, что в следе течения закрученной струи, образуется зона обратных токов (ЗОТ), благодаря которой происходит: а) стабилизация пламени; б) интенсификация горения и сокращение длины зоны горения.

Ранее проведенные исследования позволили получить зависимости для расчета составов смеси в ЗОТ в закрученной струе [2,3].

Согласно работе [4] процесс выгорания смеси с коэффициентом избытка воздуха α происходит за время пребывания t в зоне горения на основе модели сгорания по «поверхности» осредненного «моля» смеси, которую можно представить в следующем виде:

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

где $t = \frac{V_{ЗОТ} \cdot \rho_G}{G_{ЗОТ}}$ – время пребывания смеси в ЗОТ здесь $V_{ЗОТ}$, $G_{ЗОТ}$ – объем и расход ЗОТ,

ρ_G – плотность газа в ЗОТ; l_0 , W' – масштаб и пульсационная скорость в расчетном сечении

потока; $t_0 = \frac{l_0}{W'}$ – время существования пульсации; $U_T = U_H + W'$ – турбулентная скорость

горения. Здесь нормальная скорость распространения пламени U_H определяет процесс химического реагирования смеси и зависит от ее состава, температуры и давления. Пульсационная составляющая скорости потока W' зависит от интенсивности турбулентности ε , которая в свою очередь зависит от параметров крутки потока и геометрических характеристик завихрителя.

Приведенные зависимости позволяют провести расчеты полноты сгорания в ЗОТ, в которых учитываются: количество подмешанного воздуха, интенсивность и масштаб турбулентности, состав смеси, угол установки и форма лопаток завихрителя. Предложенные зависимости апробируются на примере проведенных нами экспериментов (рис. 1). В исследованиях использовались различные формы лопаток и углы их установки. Поток воздуха, проходивший через завихритель, имел разную температуру.

Видно, что с увеличением начальной температуры полнота сгорания возрастает, это связано с влиянием на нормальную скорость. Расчеты полноты сгорания, проведенные для разных круток струи, показывают, что с увеличением крутки происходит смещение полнотной характеристики в область более богатых смесей, т.к. с ростом закрутки увеличивается эжекционная способность струи. Экспериментальные исследования показали на соответствие опытных и расчетных данных (рис.1, б).

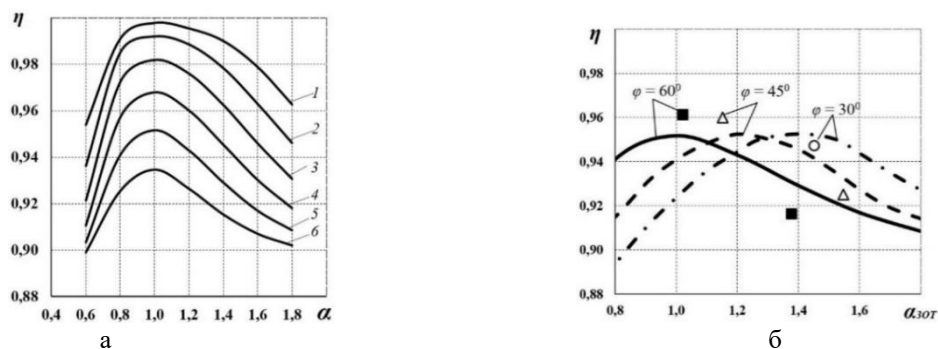


Рис. 1 – Зависимость полноты сгорания топлива от состава смеси:

а) влияние начальной температуры (в К) на полноту сгорания в ЗОТ, где: 1 – 873; 2 – 773; 3 – 673; 4 – 573; 5 – 473; 6 – 373; б) изменение полноты сгорания в ЗОТ от степени закрутки потока, при начальной температуре $T_{зав} = 473$ К, где: экспериментальные данные [2]: ■ – $\varphi = 60^\circ$; Δ – $\varphi = 45^\circ$; \circ – $\varphi = 30^\circ$; расчет: — — — — $\varphi = 60^\circ$; - - - - $\varphi = 45^\circ$; · · · · $\varphi = 30^\circ$

Таким образом, крутка струи оказывает существенное влияние на полноту сгорания, что является следствием изменения интенсивности турбулентности в струе и ее эжекционной способности. Использование модели турбулентного горения позволяет учитывать влияние смещения в струе на процессы горения.

Список литературы

- 1 Gupta A.K. Modulated Swirl Combustor, 2nd European Symposium on Combustion, p. 690, Orleans, France, September. 1975.
- 2 Мингазов Б.Г. Камеры сгорания газотурбинных двигателей. Конструкция, моделирование процессов и расчет: учебное пособие. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2004. 220 с.
- 3 Nguyen T.D., Aleksandrov Y.B., Mingazov B.G. Study of mixing in a swirling jet //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC. 2211. 2020. – pp. 040007-1 – 040007-7.
- 4 Ильяшенко С.М. Талантов А.В. Теория и расчет прямооточных камер сгорания. М., Машиностроение.1964г.

Сведения об авторах

Нгуен Тхэ Дат, аспирант кафедры «Реактивные двигатели и энергетические установки» КНИТУ–КАИ им. А.Н. Туполева. Область научных интересов: процессы смешения и горения в камерах сгорания ГТД, эмиссионные характеристики.

Александров Юрий Борисович, канд. хим. наук, доцент кафедры «Реактивные двигатели и энергетические установки» КНИТУ–КАИ им. А.Н. Туполева. Область научных интересов: численные расчеты, газодинамика, процессы смешения и горения в камерах сгорания ГТД.

Мингазов Биалал Галавтдинович, д-р техн. наук, профессор кафедры «Реактивные двигатели и энергетические установки» КНИТУ – КАИ им. А.Н. Туполева. Область научных интересов: газодинамика, процессы смешения и горения в камерах сгорания ГТД, стабилизационные характеристики.

CALCULATION OF THE COMPLETENESS OF COMBUSTION IN A SWIRLING FLOW BASED ON THE THEORY OF TURBULENT COMBUSTION

Nguyen T.D., Alehandrov Yu.B., Mingazov B.G.

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI,
Kazan, Russia, Alexwischen@rambler.ru

Keywords: swirling jet, mixing, turbulent combustion rates, combustion efficiency

In this work, we study the above characteristics of combustion in a swirling jet from the standpoint of the theory of turbulent combustion.