

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукачев С.В. Исследования закономерностей образования и выброса бенз(а)пирена при сжигании углеводородных топлив в камерах сгорания авиационных ГТД // Изв. вузов. Авиационная техника. 1993. – №2. – С. 75...78.
2. Физико-химические и эксплуатационные свойства реактивных топлив: Сборн. / Н.Ф. Дубовкин, В.Г. Маланичева, Ю.П. Массур, Е.П. Федоров. – М: Химия, 1985. – 240 с.
3. Лефевр А. Процессы в камерах сгорания ГТД. – М: Мир, 1986. – 566 с.

УДК 629.7.036:621.43.056

РЕШЕНИЕ СТЕХИОМЕТРИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ СГОРАНИЯ УГЛЕВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ С УЧЕТОМ БАЛЛАСТИРУЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ В ВОЗДУХЕ

Стародубцев В.В., Сыченков В.А., Янковский В.М.

КГТУ им. А.Н.Туполева, г. Казань

Основное направление в разработке и создании перспективных газотурбинных двигателей связано с повышением температуры газов перед турбиной. В работе представлена методика расчета энергетических и эмиссионных характеристик высокотемпературной камеры сгорания при горении стехиометрической топливовоздушной смеси. Методика основана на решении уравнения реакции горения с учетом наличия в продуктах сгорания балластирующих газов.

В настоящее время проектирование перспективных камер сгорания (КС) авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) характеризуется стремлением к повышению температуры сгорания топлива и снижением выброса токсичных веществ, таких как угарный газ (СО), несгоревшие углеводороды (СН), окислы азота (NO_x) и сажа, которые нормируются стандартом ИКАО [1]. Параметры, которые характеризуют КС как энергетическую машину, должны отвечать предъявляемым к ним требованиям. К ним относятся высокая полнота сгорания топлива, которая определяет экономичность ГТД, минимальные потери полного давления и габаритные размеры КС, устойчивая работа на всех режимах без срыва пламени и вибрационного горения, обеспечение заданной радиальной эпюры и неравномерности поля температуры на выходе из КС, минимальный уровень выброса (эмиссии) токсичных ве-

ществ на всех режимах работы, а также высокая надежность конструкции, технологичность, ремонтпригодность и т.д. [2]. На современном этапе, когда используются ЭВМ с большой производительностью, стало возможным моделировать процесс горения в КС и рассчитывать ее требуемые параметры на этапе проектирования, что существенно снижает период доводочных испытаний.

Для высокотемпературной КС очень важно на этапе проектирования точнее рассчитать возможную максимальную температуру продуктов сгорания (ПС) на выходе, что связано с надежной работой турбины и температуру горения в самой камере, определяющую ее прочность.

Методика, представленная в работе, позволяет определить энергетические (температуру ПС, коэффициент выделения тепла и полноту сгорания топлива) и эмиссионные характеристики КС при горении стехиометрической ($\alpha = 1$) топливовоздушной смеси (ТВС). Методика основана на решении уравнения реакции горения, причем в него вводятся экспериментально замеренные на срезе КС значения ПС. До настоящего времени при таких расчетах не учитывалось то, что в воздухе помимо кислорода (O_2) и азота (N_2) находятся аргон (Ar), двуокись углерода (CO_2) и инертные газы (до 1%), которые являются балластирующими компонентами, поглощающими часть выделившейся в ходе горения химической энергии топлива, что приводит к снижению температуры ПС. Кроме того при горении стехиометрической ТВС, характеризующимся полным выделением химической энергии топлива и максимально возможной температурой ПС, образуются значительное количество окислов азота (NO_x), также поглощающие часть этой энергии и влияющие на температуру ПС. Для проведения расчетов по методике был использован сухой воздух следующего состава: $O_2 - 20.95$, $N_2 - 78.09$, $CO_2 - 0.03$, Ar - 0.93 об.% [3].

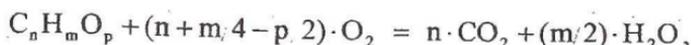
Данные для отработки методики были получены в ходе проведения экспериментов на модельном 3-х горелочном отсеке КС. Отбор ПС проводился на срезе КС одноточечным датчиком, а их анализ осуществлялся с помощью хроматографов и газоанализатора и определялся состав в точке замера (O_2 , N_2 , CO_2 , NO_x).

Обычно для расчетов стехиометрического сгорания углеводородного топлива используется известное уравнение горения [4]:



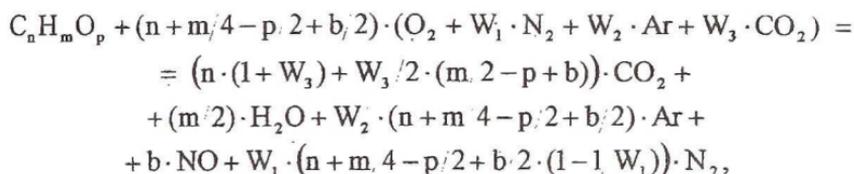
где n и m – соответственно число атомов углерода и водорода в топливе.

Если в состав топлива наравне с углеродом и водородом входит кислород, то полное сгорание данного топлива определяется по формуле [5]:



где n , m и p – соответственно число атомов углерода, водорода и кислорода в топливе. В приведенных уравнениях не учитывается наличие в воздухе Ar и CO_2 , а также образующихся в ПС NO_x .

Предложенная методика основана на решении уравнения горения в котором учитываются вышеперечисленные газы в воздухе и ПС:



где n , m и p – соответственно число атомов углерода, водорода и кислорода в топливе; b – количество молей окиси азота образовавшейся в процессе горения, замеренное во время экспериментов, или заданное для расчета в соответствии со стандартом ИКАО; W_1 , W_2 и W_3 – соответственно количество молей N_2 , Ar , CO_2 , приходящихся на 1 моль O_2 в сухом воздухе.

Учет балластирующих компонентов в начальной ТВС и ПС позволяет более точно определить температуру горения, что является важным для теплонепригодных КС, работающих при коэффициенте избытка воздуха α близких к стехиометрии. Также данная методика позволяет решать уравнение реакции горения, когда в ПС находятся компоненты неполного реагирования топлива с воздухом: водород, окись углерода, метан и ацетилен.

Сопоставление расчетов проведенных по предложенной и традиционной методикам показало необходимость учета, при определении температуры горения и других характеристик КС, наличия в воздухе балластирующих компонентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нормирование эмиссий двигателей воздушных судов. / Междунар. орг. гражд. авиации. – Монреаль, 1977. – 30 с. – (Циркуляр ИКАО; 134-A/94).

2. Конструкция и проектирование авиационных газотурбинных двигателей. / С.А. Вьюнов, Ю.И. Гусев, А.В. Карпов и др. ; Под общ. ред. Д.В. Хронина. – М.: Машиностроение, 1989. – 568 с.: ил. С. 390.
3. Алемасов, Дрегаллин и др. Термодинамические и теплофизические свойства продуктов сгорания. Под ред. Глушко, т.Ш. – М.: ВИНТИ, 1973. – С. 22.
4. Иссерлин А.С. Основы сжигания газового топлива. – Л.: Недра, 1987. – 336 с.: ил. С. 64.
5. Киреев В.А. Методы практических расчетов в термодинамике химических реакций. – М. Химия, 1975. – 536 с.: ил. С. 209.