

ОБОСНОВАНИЕ УМЕНЬШЕНИЯ ЧИСЛА СЕКТОРОВ КОЛЬЦЕВОЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ

©2016 А.Н. Сабирзянов, Ю.Б. Александров, В.Б. Явкин

Казанский национальный исследовательский технический университет
имени А.Н. Туполева - КАИ

BACKGROUND FOR DECREASING THE NUMBER OF COMBUSTION CHAMBER SECTORS DURING THE OPERATING PROCESS SIMULATION

Sabirzyanov A.N., Aleksandrov Ju.B., Yavkin V.B. (Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev, Kazan, Russian Federation)

The paper presents results of numerical simulation of the annular combustion chamber (CC) of the gas turbine engine based on the steady flamlet combustion model. Has been researched the effect of the sectors number that are included into the geometric model of the CC on averaged flow parameters profiles at the outlet section. It has been found that the maximum difference between the profiles with one and four sectors does not exceed 7%.

Адекватное численное моделирование рабочих процессов в камере сгорания газотурбинного двигателя (ГТД) представляет собой актуальную задачу. Очевидно, что моделирование в условиях полноразмерной геометрической модели имеет меньшее число допущений и характеризуется более точными результатами. Однако при детальном моделировании не представляется возможным использовать для расчёта полноразмерную геометрическую модель.

В данной работе исследовался вопрос влияния упрощения геометрической модели кольцевой камеры сгорания (КС) на результаты численного моделирования. Объектом исследований являлась КС стационарной ГТУ со всеми её конструктивными особенностями.

Исследуемая КС предназначена для сжигания метано-воздушной смеси и включает 42 горелочных устройства. Отличительной особенностью горелочного устройства являлась подача топливного газа с поверхности лопаток завихрителя, что обеспечивает хорошее предварительное перемешивание топливного газа с воздухом при интенсивной закрутке потока.

Исследовались геометрические модели секторов КС с одним, двумя, тремя и четырьмя горелочными устройствами. Полноразмерная модель камеры не рассматривалась. Предполагалось асимптотическое приближение результатов моделирования с увеличением угла сектора к результатам, соответствующим полноразмерной модели. В

качестве примера на рис.1 представлены геометрические модели угловых секторов КС с четырьмя и одним горелочными устройствами, где указаны плоскости входа (in) и выхода (out).

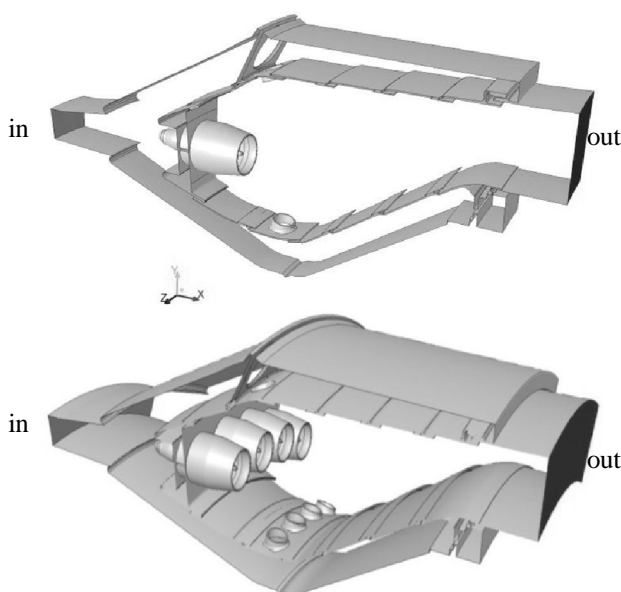


Рис.1. Варианты исследуемых геометрических моделей КС

Сеточная модель каждого расчётного сектора содержала 1,5 миллиона гексаэдральных, клиновидных и тетраэдральных элементов.

В каждой модели на выходе из камеры были отмечены точечные координаты (рис. 2) для «замера» температуры, давления и скорости потока для определения неравномерности этих параметров по окружным и радиальным направлениям.

Решение поставленной задачи проводилось средствами программного продукта ANSYS-Fluent в идеальном газе в приближении гомогенной среды в рамках стационарной задачи. Моделировались условия номинального режима работы. Теплообмен со стенками не учитывался.

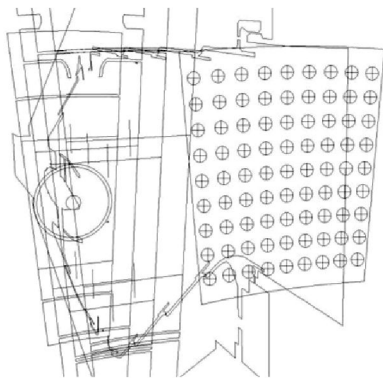


Рис.2. Расположения точечных датчиков на выходе одного сектора КС

Для описания турбулентного потока во внутрикамерном пространстве использовалась двухпараметрическая модель RNG $k-\varepsilon$ со стандартной пристеночной функцией. Справедливость применения данной модели турбулентности для адекватного моделирования рабочих процессов в КС показана во многих работах, например [1]. Горение моделировалось с позиции совокупности ламинарных очагов пламени в турбулентном потоке для неперемешанных компонентов. В качестве набора химических реакций окисления метана рассматривался механизм Kee58 [2].

Для отработки методики построения графиков неравномерности параметров на выходе КС проанализировано влияние количества точечных «датчиков» (плотность установки по сечению) и количества итераций для осреднения данных на получаемые результаты.

Оптимальная плотность точечных «датчиков» для одного сектора составила 9 по окружному направлению и 12 по радиальному. Увеличение «датчиков» осложняет обработку результатов и незначительно уточняет получаемые профили.

Выявлено требуемое количество итераций для получения достоверных результатов. Обработка результатов проводилась каждые 1000 итераций и сравнивалась с предыдущими результатами, что обеспечивало

оценку степени расхождения результатов. При осреднении по 4000 итераций погрешность составляла не более 5 % от осредненных профилей по 3000 итераций. Для большей достоверности проводилось осреднение не менее, чем по 10000 итераций и при этом погрешность составляла $\sim 0,03$ % от осредненных по 9000 итераций.

При увеличении числа секторов геометрической модели растет окружная неравномерность параметров потока.

В качестве примера на рис. 3 приведено сравнение осредненных по радиусу и окружности эпюр температуры, полученных на моделях с разным числом секторов. Эти результаты позволяют сделать вывод о том, что увеличение числа секторов в геометрической модели приводит к уточнению профилей.

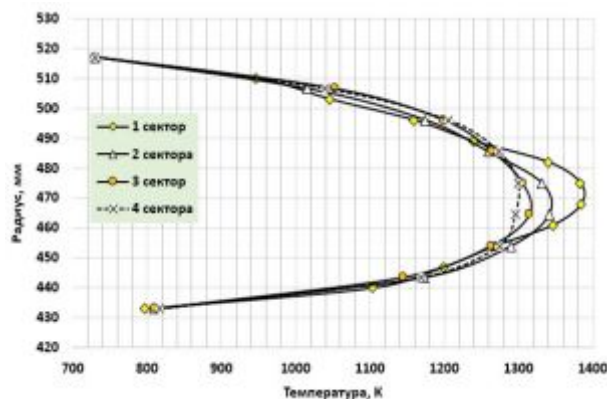


Рис.3. Радиальная температурная равномерность

Максимальное расхождение расчетных профилей температуры при сокращении числа секторов от четырех до одного не превышает 7 %.

Библиографический список

1. Сабирзянов А.Н., Явкин В.Б., Александров Ю.Б., Маркушин А.Н., Бакланов А.В. Моделирование эмиссионных характеристик камер сгорания ГТД. Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики «АНТЭ-2013»: международная научно-техническая конференция, 19 – 21 ноября 2013 г.: сборник докладов. – Казань: Изд-во Казан.гос. техн. ун-та, 2013. С.355-365.
2. Peeters T. Numerical Modeling of Turbulence Natural-Gas Diffusion Flames, Delft Technical University, Delft, The Netherlands, 1995. P.263.