

2. В соответствии с рекомендациями [1] реакции возникают только на поверхностях тех базовых опор, к которым сила закрепления надёжно прижимает заготовку. Помимо нормальной составляющей реакции N , в таких опорах возникают касательные составляющие в виде сил трения F_{mp} . Если при этом заготовка под действием приложенных сил стремится сдвинуться в двух направлениях (по осям z и y), то удерживать её может только одна сила трения $F_{тр з}$ и $F_{тр оп}$ (на одной и на другой поверхности губок), имеющая проекции на эти направления. В существующих же методике и расчётных схемах (рис. 1,а), характеризующих отсутствие сдвига заготовки вдоль одной и другой оси, фигурируют не проекции, а одна и та же сила трения, причём ни реакции, ни силы трения на схемах не изображают. Направление действия силы трения противоположно направлению результирующей активных сил R_y , P_{ry} и P_{oc} , стремящихся сдвинуть заготовку в плоскости губок.

На поверхностях трения, кроме сил трения, существуют моменты сил трения $M_{тр з}$ и $M_{тр оп}$. Математическим путём доказано, что минимальный момент трения возникает относительно точки C , являющейся геометрическим центром тяжести зажатого сечения заготовки (с размерами $l \times L$).

3. Опоры в приспособлении заготовки являются жёсткой заделкой, в которой, помимо реакций P_z , F_{zy} , $F_{zз}$ и N , $F_{опу}$, $F_{опз}$, действуют в разных плоскостях реактивные моменты от распределённых по треугольному закону сил, представленных в виде пар сил (Q_b, Q_b) и (Q_r, Q_r) .

Библиографический список

1. Корсаков В.С. Основы конструирования приспособлений: Учебник. – М.: Машиностроение, 1983. – 277 с.
2. Справочник технолога - машиностроителя: В 2-т. Т. 2 / Под ред. А.М. Дальского, А.Г.Суслова, А.Г.Косиловой, Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение – 1, 2003. 944 с.

УДК 621.452.3+536.38

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ОПЫТНОЙ МАЛОЭМИССИОННОЙ КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

©2016 А.Н. Сабирзянов¹, А.Н. Маркушин², А.В. Бакланов²

¹Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева - КАИ

²Казанское моторостроительное производственное объединение

MODELLING OF PROCESSES IN GAS TURBINE ENGINE COMBUSTION CHAMBER

Sabirzyanov A.N. (Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, Kazan, Russian Federation),
Markushin A.N., Baklanov A.V. (Joint-Stock Company «Kazan motor production association», Kazan, Russian Federation)

This paper presents an application of models for predicting the parameters of gas-turbine engine combustion chamber process. Numerical analysis has been done for development test conditions and nominal operating conditions of the GTE. The article shows fundamental changes of flow structure inside combustion chamber and minimal emission level depending on the burner swirl.

В последнее время проблеме снижения выбросов вредных загрязняющих веществ в выхлопных газах газотурбинных двигателей (ГТД) уделяется много внимания. Ужесточаются требования к уровню выбросов и вводятся системы непрерывного мониторинга. Поэтому перед конструкторскими бюро стоят важные задачи по разработке камер

сгорания (КС), конструкция которых позволила бы обеспечить такие процессы сжигания топлива, в которых образование вредных загрязняющих веществ было бы минимальным.

В данной работе объектом исследования являлась опытная камера ГТД НК-16СТ, выполненная в рамках концепции LPP – Lean

Prevaraporized Premixed [1], основанной на низкотемпературном сжигании предварительно подготовленной топливовоздушной смеси.

В соответствии с тем, что именно горелочные устройства таких камер формируют основные процессы, цель данной работы – численное исследование влияния особенностей конструкции горелочного устройства, определяющих основные характеристики внутрикамерных процессов, а также выбор модели горения для данного типа КС.

Для реализации устойчивой работы камеры во всём диапазоне рабочих режимов горелочное устройство выполнено двухзонным. Топливный газ через отверстия в лопатках завихрителя (основной контур) поступает в поток воздуха, идущий по межлопаточным каналам, и образует на выходе из горелочного устройства подготовленную топливно-воздушную смесь.

Для устойчивой работы камеры на низких режимах, а также при розжиге в горелочном устройстве за центральным телом находится «дежурная зона», воздух и топливо в которую подаются отдельно через специальные отверстия в задней стенке развитой втулки завихрителя, при этом выполняя функцию диффузионного факела [2].

Расчётной областью КС служил сегмент 1/34 её части (рис. 1) с одним горелочным устройством и всеми конструктивными особенностями.

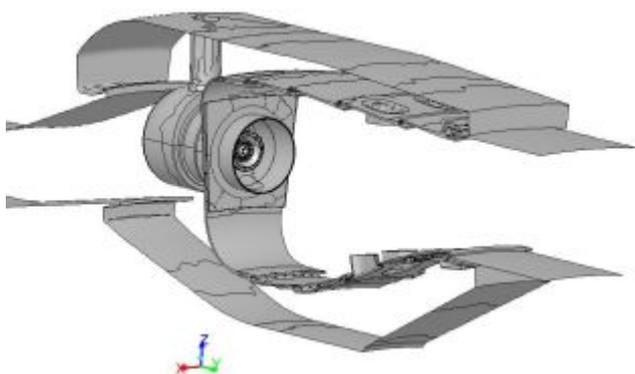


Рис.1. Геометрическая модель КС

Исследования проводились средствами программного продукта *ANSYS-Fluent* в идеальном газовом приближении несжимаемой гомогенной среды в рамках адиабатной стационарной постановки задачи.

Все расчёты выполнялись в стационарной постановке и в приближении несжимаемой среды.

В качестве модели турбулентности использовалась модель RNG со стандартными пристеночными функциями.

Используемые модели горения:

- *Flamelet*;
- *Finite-Rate/ Eddy-Dissipation*;
- *Eddy-Dissipation*;
- Равновесная термодинамическая модель горения (быстрая химия).

Все модели горения, как и модели турбулентности, требуют проведения соответствующих настроек. Особенно это относится к модели *Flamelet*, что возможно при верификации моделей.

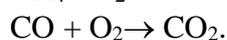
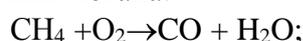
Во всех расчётах использовался 2-ой порядок аппроксимации частных производных. В качестве метода расчёта использовался отдельный метод решения системы уравнений *Simple*.

Расчёт NO_x в продуктах сгорания основывался на термическом и сверхравновесном механизмах образования NO_x .

Для выбора наиболее адекватной модели горения распределение метана через отверстия лопаточного завихрителя (основной подвод метана) и через отверстия центральной втулки дежурного пламени определено в соотношении 0,9/0,1. Влияние особенностей конструкции горелочного устройства, в частности, угла закрутки лопаточного завихрителя, на параметры рабочих процессов исследовались в широком диапазоне указанного соотношения.

Модель *Flamelet* основывается на переменных смешения ξ , определяемой моделью турбулентности, и скорости скалярной диссипации χ_0 , которая определяет распределение турбулентных пламен. Компонентный состав и химизм реакций для расчёта по модели *Flamelet* определён известным механизмом *Kee58* [3].

В основу кинетической модели горения (модель *Finite-Rate/ Eddy-Dissipation*) положена 2-х ступенчатая брутто реакция горения метана:



Результаты расчётов по модели горения *Eddy-Dissipation* отражают явно завы-

шенные значения температуры в объёме КС ($T_s=2550$ К) и использовались в качестве начального распределения параметров для расчётов по модели *Finite-Rate/Eddy-Dissipation*.

Результаты расчётов по модели *Finite-Rate/Eddy-Dissipation* использовались для сопоставления распределения параметров, полученных по другим моделям горения.

Сопоставление результатов расчёта по моделям *Flamlet* и *Finite-Rate/Eddy-Dissipation* показало следующее:

- газодинамические характеристики (различные потери), рассчитанные по модели *Finite-Rate/Eddy-Dissipation*, соответствуют диапазону данных, полученных по модели *Flamlet* для разных сеточных моделей;

- полнота сгорания по модели *Finite-Rate/Eddy-Dissipation* является весьма низкой и не согласуется с результатами, полученными по модели *Flamlet*;

- температура продуктов сгорания на выходе КС, рассчитанная по модели *Finite-Rate/Eddy-Dissipation*, ниже температуры, полученной по модели *Flamlet*;

- эмиссионные характеристики, рассчитанные по модели *Finite-Rate/Eddy-Dissipation*, не соответствуют результатам, полученным по модели *Flamlet* и экспериментальным данным.

Библиографический список

1. Постников А.М. Снижение оксидов азота в выхлопных газах ГТУ. – Самара: Изд-во Самарского научного центра РАН. 2002. 286 с.

2. Маркушин А.Н., Бакланов А.В. Исследование смешения в комбинированном горелочном устройстве малоэмиссионной камеры сгорания ГТД. – Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева, 2013. №1. С. 8-14.

3. Мингазов Б.Г., Явкин В.Б., Сабирзянов А.Н., Бакланов А.В. Анализ применимости моделей горения для расчёта многофорсунной камеры сгорания ГТД. – Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени С.П. Королёва. 2011. №5(29). С. 208-214.

УДК 621.822.6

РАСЧЁТ ОПТИМАЛЬНОЙ ОСЕВОЙ НАГРУЗКИ ДЛЯ ОДНОРЯДНЫХ ШАРИКОВЫХ ПОДШИПНИКОВ

©2016 Е.П. Жильников¹, В.В. Мурашкин², В.С. Базыков²

¹Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва
²«ЕПК Самара»

THE CALCULATION OF THE OPTIMUM AXIAL LOAD SINGLE ROW BALL BEARINGS

Zhilnikov E.P. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)
Murashkin V.V., Basikov V.S. (JSC "EPK Samara", Samara, Russian Federation)

The paper presents an analysis of axial load impact on the performance and durability of the single-row ball bearings. Durability calculations has been performed by contact stresses in view of the centrifugal force at high speeds. It has been shown that to improve the durability the bearing should be loaded with axial load. Recommendations are given for the calculation of the optimal loads.

Радиальные шариковые подшипники применяются преимущественно при радиальных нагрузках. Вместе с тем допускается [1] осевая нагрузка до 70% неиспользованной допустимой радиальной нагрузки.

Опыт эксплуатации показывает, что для повышения ресурса и снижения вибраций ротора целесообразно создавать шариковому подшипнику определённой величины осевую нагрузку.

В [2] Ерошкиным предложены рекомендации по допустимой осевой нагрузке при различных значениях начального угла контакта. Вместе с тем не показано, как изменяются приведённая динамическая нагрузка и долговечность при изменении осевой нагрузки.

В настоящей работе приведены результаты теоретических исследований влияния осевой нагрузки на работоспособность и