

УДК 621.438

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВОСПЛАМЕНИТЕЛЯ, ПОДВЕСА ЖАРОВОЙ ТРУБЫ И СОПЛОВОГО АППАРАТА ТУРБИНЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ

© 2013 С. Г. Матвеев, М. Ю. Орлов, И. А. Зубрилин

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет)

В результате работы создана математическая модель рабочего процесса камеры сгорания газотурбинного двигателя, позволяющая учитывать влияние подвеса жаровой трубы, воспламенителя и соплового аппарата турбины на рабочий процесс камеры сгорания, а также оценено это влияние.

Численное моделирование камеры сгорания, аэродинамика камеры сгорания, гидравлические потери, структура течения, подвес жаровой трубы, сопловой аппарат, инженерные пакеты.

Разработанные в последнее время технологии инженерных расчётов элементов ГТД с помощью CAD/CAE-систем позволяют не только получать качественно новые представления о протекании в них рабочего процесса [1,2], но и проводить локальную оценку изменения различных параметров в рассматриваемых сечениях, выявляя проблемы, связанные с ресурсными, надёжностными и другими показателями. При этом появилась возможность решения задач более высокого уровня, таких как совместный расчёт для нескольких узлов ГТД, учёт влияния отдельных конструктивных элементов на характеристики ГТД и его элементов, что было практически неосуществимо в традиционных расчётах [3]. В данной работе представлены результаты исследования влияния наличия воспламенителя, подвеса жаровой трубы и соплового аппарата на течение рабочего тела в камере сгорания (КС) и её характеристики.

В качестве предмета исследования была выбрана многофорсуночная кольцевая камера сгорания семейства двигателей НК [4].

Рассмотренная КС содержит 8 подвесов жаровой трубы (ЖТ) и два воспламенителя (рис. 1, 2).

В качестве программного пакета для построения геометрической модели был выбран Siemens PLM NX 8.0 [5, 6].

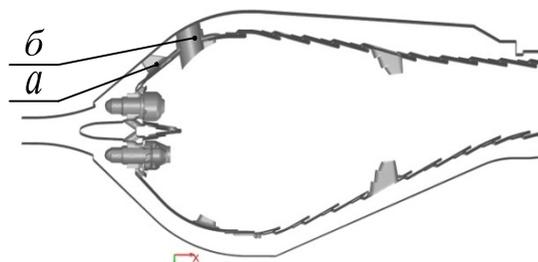


Рис. 1. Расположение подвесов (а) и воспламенителей (б) в продольном сечении

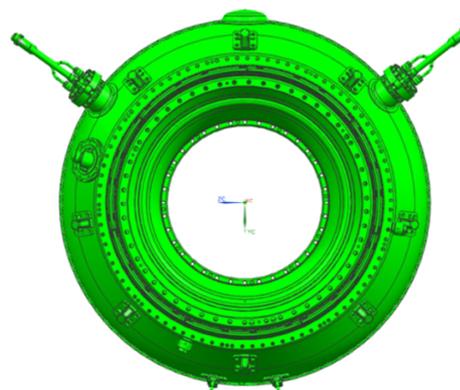
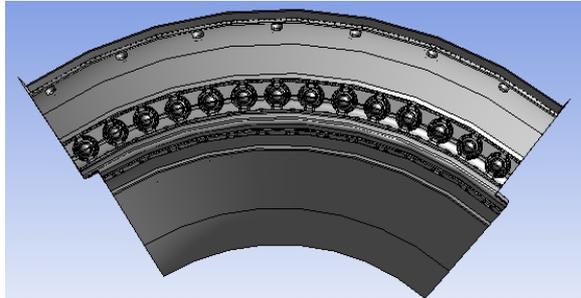


Рис. 2. Расположение подвесов и воспламенителей на фронтальной проекции КС

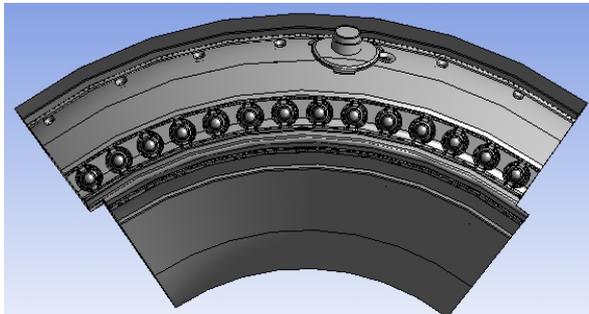
Из-за ограничений по возможностям вычислительной техники в данной работе выполнялся расчёт секторных моделей, содержащих следующие периодические части КС (рис. 3):

– сектор без воспламенителя и подвеса ЖТ (вариант № 1);

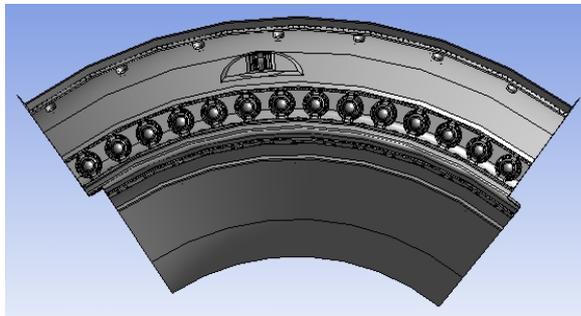
- сектор с воспламенителем (вариант № 2);
- сектор с подвесом ЖТ (вариант №3);
- сектор с подвесом ЖТ и воспламенителем (вариант № 4).



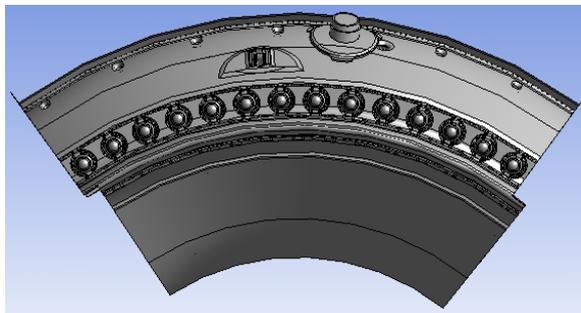
а



б



в



г

Рис.3. Фронтальные проекции вариантов расчетных секторов: а - № 1; б - № 2; в - № 3; г - № 4

В настоящее время чаще всего при расчётах КС в САЕ-системах используются геометрические модели, которые не содержат в себе такую детализацию, как воспламенитель и подвесы ЖТ (вариант № 1). Варианты геометрических моделей № 2, 3 и 4 включают их и отражают конструктивные особенности конкретной КС. Угол каждого модельного сектора составляет $72,5^\circ$.

Сгенерированные для расчётных секторов конечно-элементные сетки – неструктурированные и содержат порядка 31 млн. элементов. Расчёты проводились для крейсерского режима работы двигателя в программном комплексе ANSYS Fluent, на суперкомпьютере «Сергей Королев» [7] в стационарной постановке. Математическая модель для расчёта подобна описанной в работе [4], распределение характеристик распыливания топлива было взято из экспериментальных испытаний форсунок исследуемой КС.

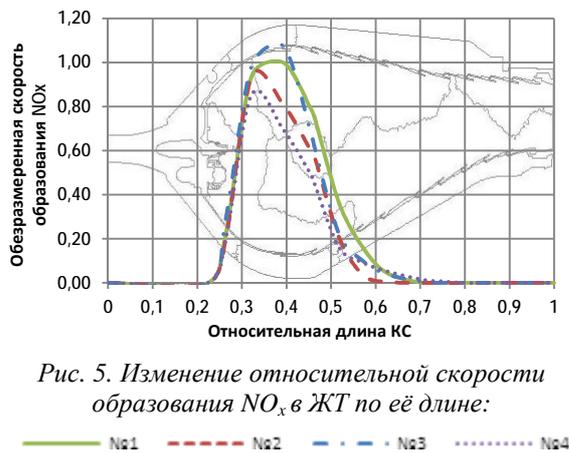
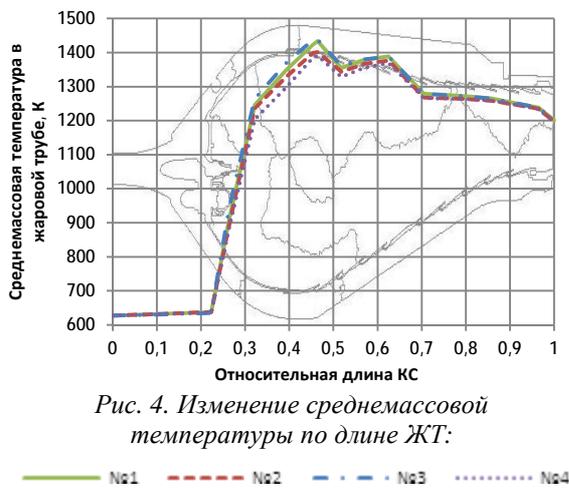
Для каждого варианта расчётным путём были определены аэродинамическая структура потока и потери давления (табл.1).

Таблица. 1. Рассчитанные потери полного давления

Вариант	Потери полного давления в КС, %
№ 1	5,71
№ 2	5,95
№ 3	5,82
№ 4	5,90

Далее был выполнен анализ изменения среднemasсовой температуры и относительной скорости образования NO_x по длине ЖТ (рис. 4, 5). При этом за единицу скорости образования NO_x была выбрана максимальная скорость, имевшая место для варианта № 1. Из графиков видно, что основное влияние на параметры в ЖТ подвес и воспламенитель оказывают в диапазоне, соответствующем 0,3–0,6 относительной длины КС. Максимальная разница по среднemasсовой температуре

для всех вариантов достигает 100 К, что может быть связано с изменением закона подвода воздуха.



Из рис. 5 видно, что наибольшая скорость образования NO_x имеет место для варианта № 3 с максимальной среднemasсовой температурой.

При анализе структуры течения во внешнем кольцевом канале было установлено, что подвес ЖТ и воспламенитель существенно влияют на неё (рис. 6), так как при их обтекании образуются крупновихревые структуры, генерирующие возвратные течения.

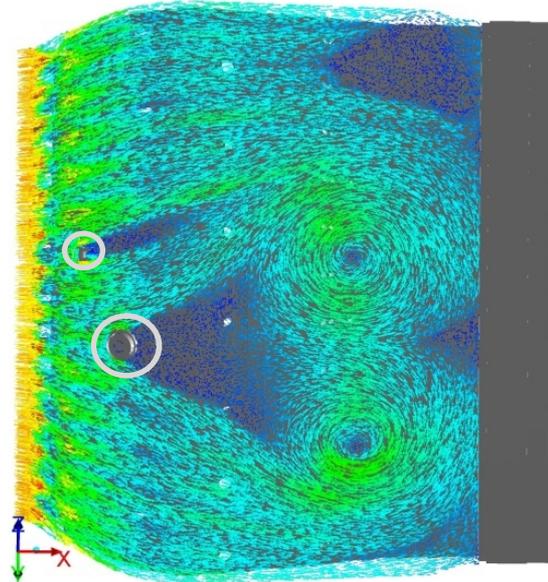


Рис. 6. Структура течения во внешнем кольцевом канале

Наличие подвеса ЖТ и воспламенителя также существенным образом влияет на распределение температуры на внутренней стороне внешней обечайки жаровой трубы, обращённой к горячим газам (рис. 7). При этом большее влияние на температуру стенки оказывает воспламенитель.

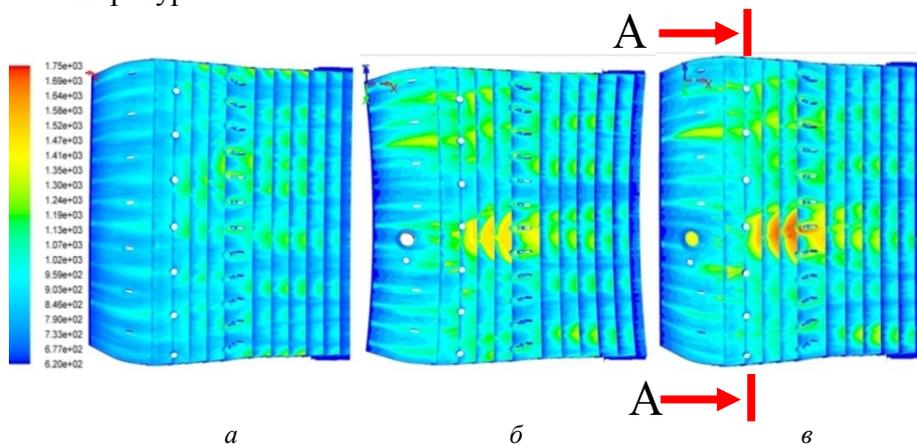


Рис. 7. Температура стенки ЖТ: а - с учётом подвеса (вариант №3), б - с учётом воспламенителя (вариант № 2), в - с учётом подвеса и воспламенителя (вариант № 4)

На рис. 8 показано поле полной температуры в поперечной плоскости, проходящей сечение А-А на рис. 7, в.

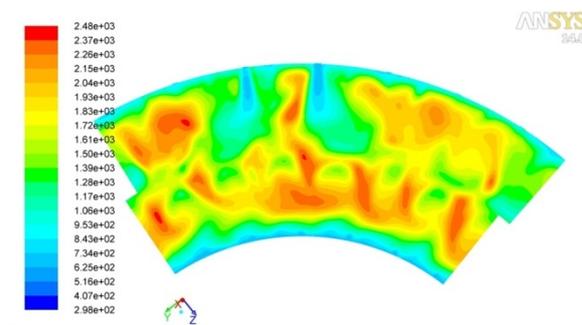


Рис. 8. Поле температуры

Из рис. 8 видно, что при наличии воспламенителя и подвеса струи первого ряда крупных отверстий попадают в зону возвратных течений, образовавшуюся во внешнем кольцевом канале, и угол их втекания отклоняется относительно их траектории при отсутствии этих элементов. При этом в зону горения попадает большее количество воздуха. Выявленная неравномерность подвода воздуха в зону горения оказывает влияние на радиальную эпюру температуры газа на выходе из КС (рис. 9).

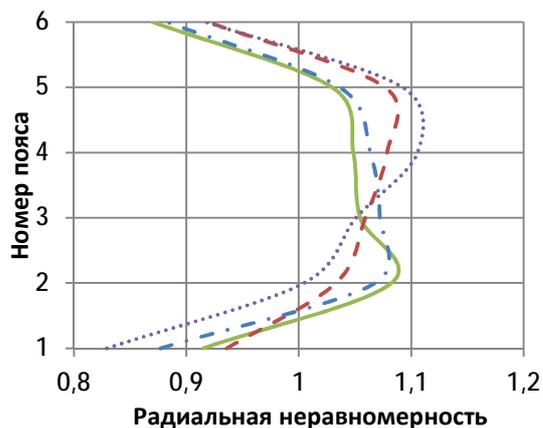


Рис. 9. Радиальная эпюра поля температуры на выходе из КС:

— №1 - - - №2 - · - · №3 ····· №4

Из рис. 9 также видно, что подвес и воспламенитель (вариант № 4) смещают по отношению к варианту № 1 максимальное значение неравномерности поля

температур в сторону внешнего кольцевого канала.

Для исследования влияния наличия соплового аппарата (СА) на изменение характеристик потока за КС в геометрическую модель расчётной области была включена проточная часть СА. Расчёты КС с СА турбины и без него были проведены для взлётного режима работы двигателя, охлаждение передней кромки СА не учитывалось.

Особенностью подобных расчётов является использование индивидуальных сеточных моделей для каждого элемента (в данном случае для КС и СА) и необходимость передачи информации между ними при расчёте. При этом необходимо также учесть взаимовлияние КС и СА. Из-за необходимости обеспечения условия периодичности при выделении расчётного сектора модели КС и СА имеют различие по образующим сектора углам: $72,5^\circ$ для КС и $67,5^\circ$ для СА. Поэтому передача данных и их последующая обработка проводились на общей поверхности контакта КС и СА, а для выступающей части выходного сечения КС использовалось выходное условие с заданным массовым расходом, соответствующим её площади.

Расчётным путём было установлено, что СА на исследуемом режиме работы двигателя практически не оказывает влияния на такие характеристики КС, как потери полного давления и радиальную неравномерность поля температуры на выходе. Вместе с тем, анализ полей полной скорости на выходе из КС для расчётов с учётом и без учёта СА (рис.10) показал, что СА изменяет поле скорости перед собой. Это необходимо учитывать при проектировании СА.

На рис. 11 показаны поля полной температуры на выходе из КС и СА, из которых видно, что в СА происходит выравнивание поля температуры и снижение её максимальных локальных значений. Для исследуемого режима это приводит к прекращению образования окислов азота в СА.

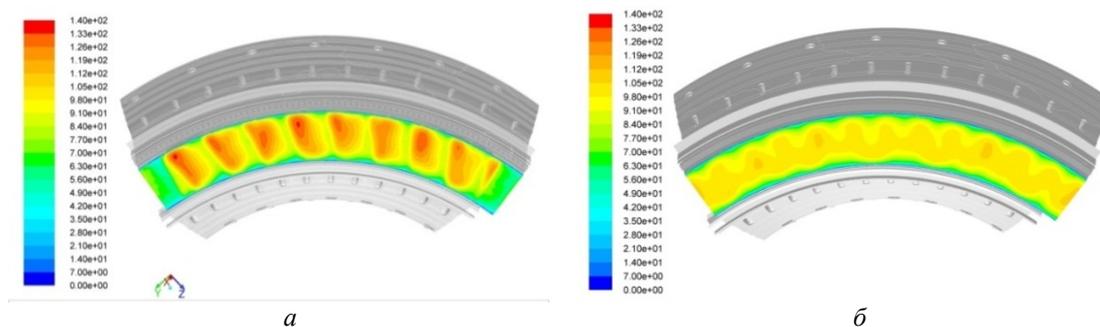


Рис. 10. Поле скорости на выходе из КС: а - с учётом СА; б - без учёта СА

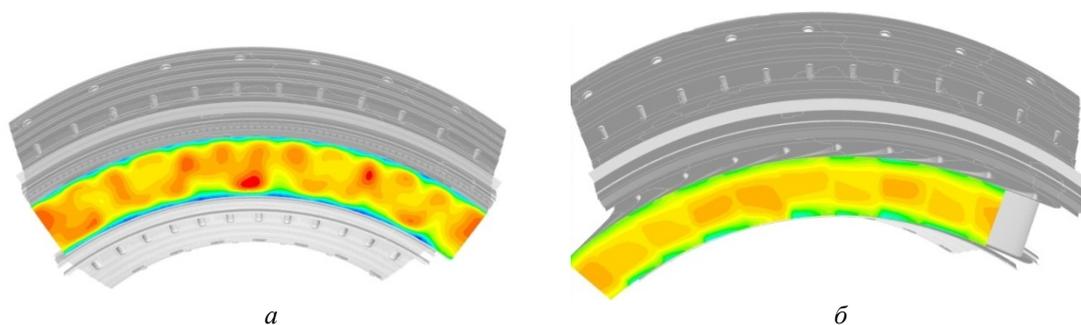


Рис. 11. Поля температуры: а - на выходе из КС; б - на выходе из СА

Выполненная работа позволяет утверждать, что наличие подвеса ЖТ и воспламенителя способствует:

- ухудшению работы системы охлаждения;
- повышению суммарных потерь полного давления в КС;
- изменению закона подвода воздуха, положения и размеров зон образования окислов азота, неравномерности поля температуры на выходе из КС.

Численное моделирование КС совместно с СА показало, что наличие СА изменяет направление движения потока непосредственно перед выходом из КС и выравнивает температуру потока, прекращая процесс образования окислов азота за КС. Все вышеотмеченное подлежит учету при проектировании КС и СА.

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

Библиографический список

1. Моделирование аэродинамической структуры течения в камере сгорания малоразмерного ГТД с помощью САЕ-систем [Текст] / С.Г. Матвеев, М.Ю. Орлов, В.Ю. Абрашкин [и др.] // Вестн. СГАУ. Самара. – 2011. – №5 (29). – С.168-176.
2. Определение размеров зоны обратных токов трехмерной модели камеры сгорания ГТД с помощью пакета ANSYS Fluent [Текст] / В.В. Бирюк, М.Ю. Орлов, И.А. Зубрилин [и др.] // Вестн. СГАУ, Самара. – 2011. – №5 (29). – С.44-48.
3. Матвеев, С.Г. Проблемы использования компьютерных технологий при проектировании камеры сгорания ГТД как объекта и пути их решения [Текст]: материалы докладов / С.Г. Матвеев, М.Ю. Орлов, И.А. Зубрилин // Проблемы и перспективы развития двигателестроения. Ч. 2. – Самара, 2011.
4. Многофорсуночная малоэмиссионная камера сгорания современных ТРДД – творческое наследие Н.Д. Кузне-

цова [Текст] / Д.Ю. Бантиков, В.И. Васильев, В.Н. Лавров [и др.] // Вестн. СГАУ. – Самара. – 2012. – №2 (33).

5. <http://www.siemens.com>.

6. Гончаров, П. С. NX для конструктора-машиностроителя [Текст] / П.С. Гончаров. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 504 с.

7. <http://hpc.ssau.ru/>.

INFLUENCE OF THE TURBINE IGNITION, FLAME TUBE SUSPENSION AND NOZZLES ON THE COMBUSTION CHAMBER CHARACTERISTICS

© 2013 S. G. Matveev, M. Y. Orlov, I. A. Zubrilin

Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov
(National Research University)

The paper presents a mathematical model of the working process of a gas turbine engine combustion chamber that makes it possible to take into account the effect of the flame tube suspension, ignition and turbine nozzles on the working process of the combustion chamber and to estimate the effect.

Numerical simulation of the combustion chamber, aerodynamics of the combustion chamber, hydraulic losses in the structure of the flow, flame tube suspension, nozzle assembly, engineering packages.

Информация об авторах

Матвеев Сергей Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники и тепловых двигателей, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: pfu@ssau.ru. Область научных интересов: методы моделирования камер сгорания ГТД, процессов горения и смесеобразования, выбросы вредных веществ, химическая кинетика горения.

Орлов Михаил Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники и тепловых двигателей, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: adler65@mail.ru. Область научных интересов: рабочий процесс в КС ГТД, образование и выброс вредных веществ.

Зубрилин Иван Александрович, инженер НОЦ ГДИ, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: zubrilin416@mail.ru. Область научных интересов: применение CAE/CAD-технологий в расчетах процессов горения и турбулентных течений.

Matveev Sergey Gennadyevich, candidate of technical science, associate professor of the department of heat engineering and heat engines, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: pfu@ssau.ru. Area of research: combustion, mixing, emissions and formation of hazardous substances, chemical kinetics.

Orlov Mikhail Yuryevich, candidate of technical science, associate professor of the department of heat engineering and heat engines, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: adler65@mail.ru. Area of research: experimental research of combustion chambers, emissions and formation of hazardous substances.

Zubrilin Ivan Alexandrovich, laboratory engineer, scientific and educational center of gas dynamic research, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: zubrilin416@mail.ru. Area of research: application of CAE/CAD-technologies in the processes of combustion and turbulent flows (jets).