

УДК 621.4

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ НК-14СТ-10 С МОДУЛЬНЫМИ ГОРЕЛКАМИ

© 2011 Е. П. Кочеров, А. Д. Росляков, Ю. И. Цибизов

ОАО «КУЗНЕЦОВ», г. Самара

Выполнена разработка конструкции кольцевой камеры сгорания с модульными горелками, обеспечивающей малое содержание вредных примесей в выхлопных газах. С помощью пакета для имитации газодинамических процессов с использованием программы FLUENT смоделированы газодинамические процессы в нескольких вариантах моделей горелок и выявлены их оптимальные геометрические параметры. Выполнена количественная оценка качества смешения метана с воздухом во втором контуре горелки.

Камера сгорания, экологические характеристики, модульные горелки.

В настоящее время в ОАО «КУЗНЕЦОВ» выполняют работы в области создания и модернизации камер сгорания газотурбинных двигателей (ГТД), в том числе и наземного применения. Это вызвано как постоянно усиливающимися законодательными ограничениями содержания вредных примесей в выхлопных газах, так и необходимостью перехода на альтернативные виды топлива, в том числе и низкосортные, а также необходимостью постоянного улучшения технико-экономических показателей техники.

При разработке камер сгорания, обеспечивающих малое содержание вредных примесей в выхлопных газах, обычно возникают следующие основные проблемы:

- нахождение относительно простого технического решения и снижение стоимости;
- различие требований к одному и тому же типу ГТД при применении этого двигателя на транспорте, в качестве привода на электрогенерирующих предприятиях или на газоперекачивающих станциях.

Для ГТД общие требования к параметрам камер сгорания по своей значимости можно расположить в следующей последовательности:

- обеспечение равномерного поля температур газа на выходе из камер сгорания для увеличения ресурса ГТД и уменьшения расхода воздуха в системе охлаждения;
- многоступенчатая подача топлива для уменьшения содержания оксидов азота NO_x , окиси углерода CO и несгоревших углеводородов CH в выхлопных газах;

- снижение эксплуатационных расходов;
- уменьшение потерь полного давления для снижения расхода топлива;
- обеспечение устойчивой работы и надёжного запуска;
- обеспечение прочности элементов - для повышения надежности конструкции.

Многие из требований носят противоречивый характер и обуславливают необходимость принятия компромиссных решений.

Одним из перспективных направлений удовлетворения этим требованиям является разработка высокоэффективных камер сгорания с модульными горелками.

Если камера сгорания обычного типа имеет богатую смесь в первичной зоне горения, то можно обеспечить высокий коэффициент полноты сгорания на режиме малого газа и отсутствие дыма и оксидов углерода в выхлопных газах на максимальном режиме. Однако при смешении продуктов сгорания первичной зоны с дополнительным воздухом возможно образование значительного количества NO_x , если процесс смешения протекает недостаточно быстро. В камерах сгорания с бедной рабочей смесью в первичной зоне горения основная проблема, как правило, связана с низкой полнотой сгорания на пониженных режимах работы двигателя.

Разработка камер сгорания с подачей топлива в двух отдельных зонах позволяет устранить недостатки двух вышерассмотренных типов камер сгорания. Для этого параметры в одной зоне оптимизированы для режимов относительно небольшой мощности ГТД (до 50 % мощности). При этом в

данной зоне камеры сгорания реализуются богатые топливные смеси. Вторая зона подачи и горения топлива рассчитана на режимы повышенной мощности и характеризуется бедными смесями. При конструкторской разработке камеры сгорания предусмотрено, чтобы время пребывания в первой зоне было малым, а во второй зоне - достаточно большим.

Для интенсификации смешения используется принцип взаимодействия пересекающихся струй или соосных потоков, вращающихся как в одном направлении так и в противоположных направлениях. Каждая модульная предкамера пропускает определенное количество воздуха и обеспечивает также организацию поля рециркуляционных течений в зоне горения. Для этого служит стабилизатор пламени в форме плохобтекаемого тела или завихрителя.

Для получения требуемого избытка воздуха α подбирают соответствующим образом проходные сечения воздушного канала в модулях. В целях повышения полноты сгорания топлива предкамеры располагают близко друг к другу, интенсифицируют рециркуляционные течения и обеспечивают достаточный объем для завершения реакций горения топлива. Снижение образования NO_x достигается за счет сведения к допустимому минимуму времени пребывания в зонах рециркуляции. Благоприятно применение большого количества малоразмерных модульных предкамер, поскольку объем зоны рециркуляции пропорционален кубу диаметра предкамеры. Поле температур на выходе из камеры сгорания выравнивается по мере увеличения параметра (L/D_p) (L/P), где L - длина камеры сгорания; P - шаг установки предкамер; D_p - протяженность зоны первичного горения. Для предупреждения дымообразования необходимо исключить возникновение сильно обогащенных топливом зон вблизи форсунок.

При изменении требований к двигателю (например, в случае перехода от транспортного двигателя к двигателю, используемому в качестве привода в электрогенерирующем агрегате или при утверждении новых законодательных ограничений на содержание вредных примесей в выхлопных газах) производится замена модульных

предкамер, а остальная конструкция камеры сгорания сохраняется без изменений.

На основе вышерассмотренных теоретических концепций выполнены разработки кольцевой камеры сгорания с модульными горелками, обеспечивающей малое содержание вредных примесей в выхлопных газах. Основными особенностями конструкции этой камеры сгорания являются:

- диффузионные горелки, в которые подается 15...20 % топлива и которые оптимизированы для работы на режимах малой мощности и обеспечивают при этом необходимую полноту сгорания основной части топлива;

- гомогенные горелки, которые оптимизированы для работы на режимах высокой мощности и обеспечивают минимальное содержание дыма CO и NO_x в выхлопных газах;

- применение конвективного охлаждения в первичной зоне позволяет свести к минимуму торможение реакций холодным воздухом.

С учетом передового опыта создания малоэмиссионных камер сгорания двигателей НК-38СТ, НК-36СТ, НК-37СТ и зарубежных двигателей аналогичного назначения выполнено проектирование малоэмиссионной камеры сгорания с модульными горелками (рис. 1) для двигателя НК-14СТ-10.

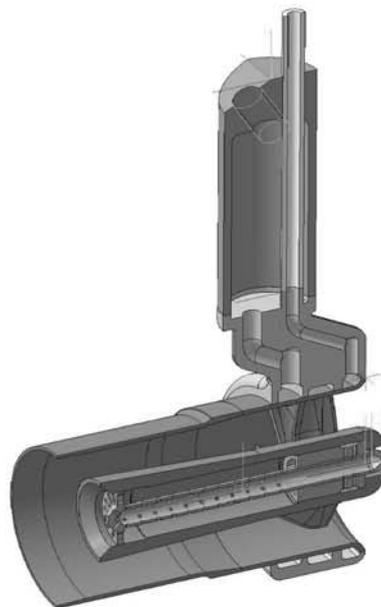


Рис. 1. Трехмерная модель горелочного устройства

Проект выполнен с применением современных методов 3-мерного компьютерного моделирования геометрии камеры сгорания и рабочего процесса [2].

Построены компьютерные модели горелочных устройств, диффузора, жаровой трубы и камеры сгорания в целом (рис. 2).

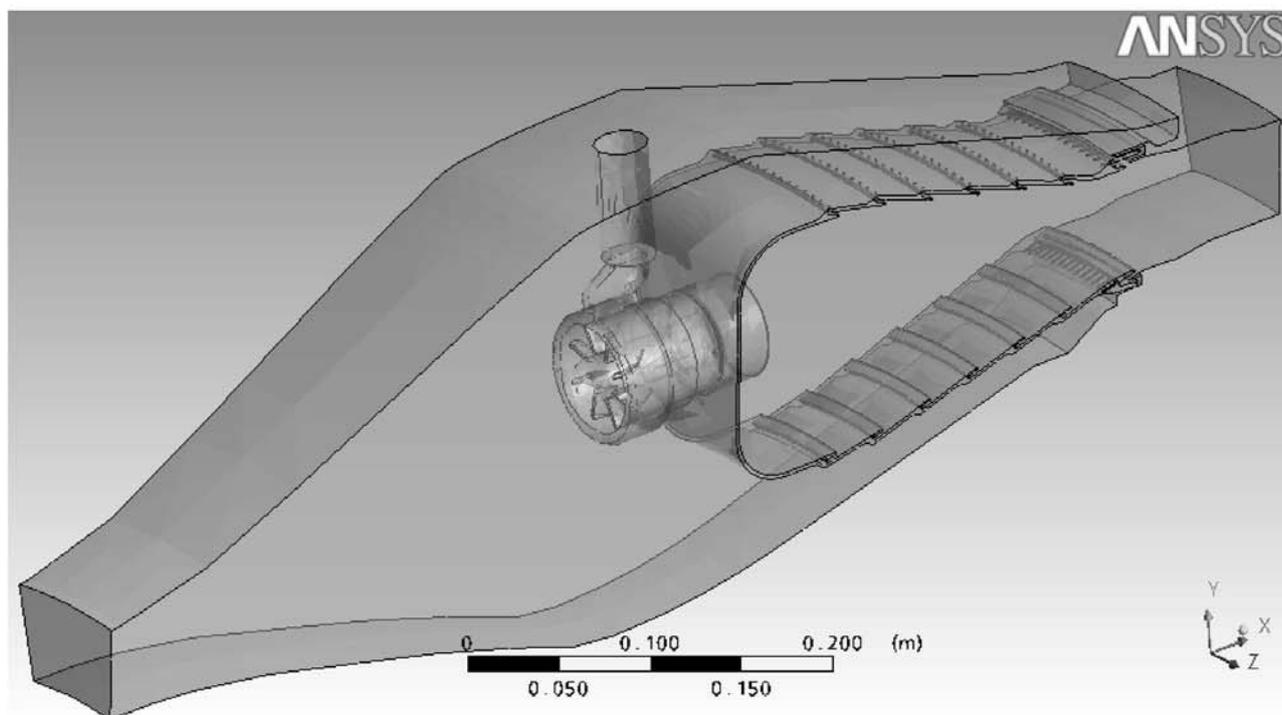


Рис. 2. Компьютерная модель сектора камеры сгорания

С помощью пакета для имитации газодинамических процессов с использованием программы FLUENT смоделированы процессы продувки нескольких вариантов моделей и выявлены их оптимальные геометрические параметры. Выполнена количественная оценка качества смешения метана с воздухом во втором контуре горелки (рис. 3).

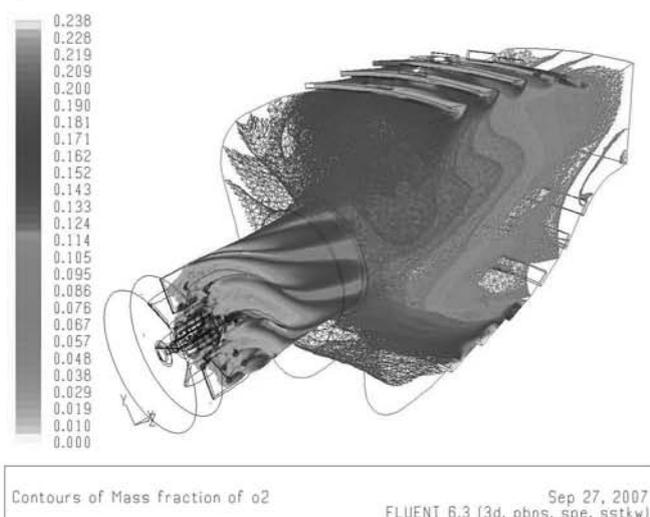


Рис. 3. Картина смешения метана с воздухом по длине горелки

Во всех схемах применены некоторые упрощения. Например, участки входа и выхода имеют искусственно увеличенные длины с целью получения в действительных сечениях поля давлений и скоростей, соответствующих установившемуся потоку. Другие особенности оговорены в каждом случае отдельно. В результате расчета выполнено:

- определение влияния ребра в диффузоре картера турбины на картину течения ниже по потоку, в том числе определение поля скоростей потока воздуха по длине канала до горелок;
- определение зоны обратных токов на выходе из горелки;
- расчет неравномерности концентрации метана в воздухе, выбор оптимального диаметра и расположения отверстий для подачи топлива и их расположения;
- определение скорости потока и степени турбулентности по длине канала;

- определение структуры потока на выходе из горелки с учетом изменения режима работы I контура;
- расчет поля температур перед турбиной;
- определение экологических характеристик камеры сгорания.

В качестве граничных условий в модели приняты: на входе массовый расход воздуха, а на выходе – давление воздуха (при постоянном расходе). За исходные параметры были приняты параметры воздуха: значение расхода воздуха за компрессором с учетом отбора $G = 31,46$ кг/с при статическом давлении $p = 1,077$ МПа (10,565 атм) и температуре $T = 610$ К, плотность $\rho = 6,444$ кг/м³, динамическая вязкость при той же температуре – $\eta = 3,906 \cdot 10^{-5}$ Па·с.

Точность решения вблизи рёбер картера и стенок была повышена путем специальной укладки ячеек с помощью процедуры «Пограничный слой». При такой постановке задачи становится возможным фиксировать местные отрывы потока.

В задаче рассмотрен случай, когда при изготовлении сборочной единицы может образоваться ступенька (попутный редан) высотой до 2 мм на стыке корпуса компрессора и диффузора. Как показывает расчет, вихрь, который образуется в этом месте, разрушается, не доходя до ребра картера турбины.

Согласно полученным результатам расчёта ребра картера турбины не вносят существенного изменения в структуру потока, набегающего на горелки. Зона обратных токов за ребром картера турбины на номинальном режиме имеет протяженность не более 60 мм. За 80 мм до горелок поле скоростей набегающего потока в достаточной степени равномерное. Значение скорости потока между ребрами картера турбины – 80 м/с, далее по диффузору скорость падает до 40 м/с. На входе в горелки скорость составляет не более 25 м/с.

Представленная конструкция диффузора имеет аэродинамические характеристики, обеспечивающие отсутствие отрывных зон, выравнивание скоростей потока на входе в горелки и может быть использована при проектировании малоэмиссионной камеры сгорания с минимальной доводкой и умень-

шенным объемом натурных испытаний.

Общий вид камеры сгорания с модульными горелками приведен на рис. 4.

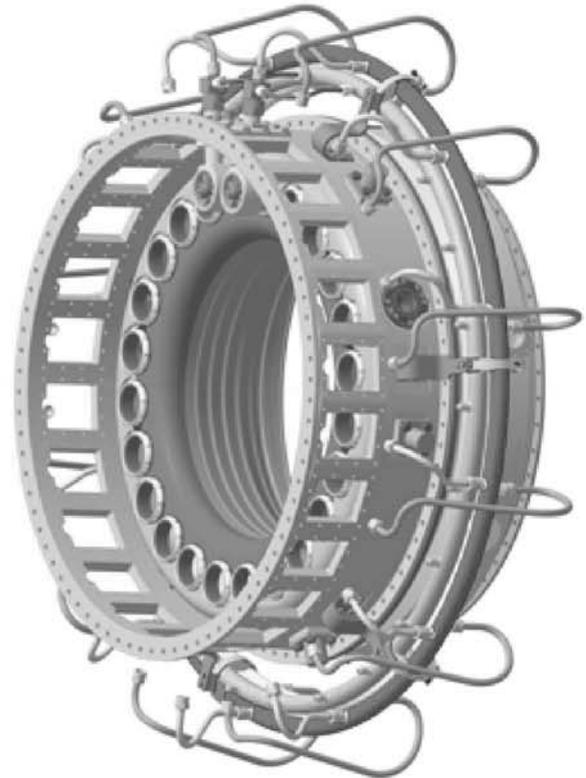


Рис. 4. Конструкция малоэмиссионной камеры сгорания двигателя НК-14СТ-10

В настоящее время выпущена техническая документация и проводится подготовка производства под изготовление малоэмиссионной камеры сгорания. Параллельно выполняется доводка горелок на автономных стендах и в составе камер сгорания на двигателях НК-37.

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации (Минобрнауки), на основании постановления Правительства РФ №218 от 09.04.2010.

Библиографический список

1. Лефевр, А. Процессы в камерах сгорания ГТД: [Текст] / А.Лефевр; пер. с англ.– М.: Мир, 1986. – 566с.
2. Беляев, В.В. Повышение экологической безопасности ГТУ путем организации малоэмиссионного горения в камерах сгорания ГТД. [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук; СГАУ / В.В. Беляев // - Самара: - 24 с.

**WORKING OUT OF THE DESIGN OF THE CHAMBER OF COMBUSTION
OF ENGINE NK-14ST-10 WITH MODULAR TORCHES**

©2011 E. P. Kocherov, A. D. Rosljakov, J. I. Tsibizov

Open Society "KUZNEZOV", Samara

Working out of a design of the ring chamber of combustion with the modular torches, providing the small maintenance of harmful impurity in exhaust gases is executed. By means of a package for imitation газодинамических processes with use of program FLUENT are simulated газодинамические processes in several variants of models of torches and their optimum geometrical parameters are revealed. The quantitative estimation of quality of mixture of methane with air in the second contour of a torch is executed.

The combustion chamber, ecological characteristics, modular torches.

Информация об авторах

Кочеров Евгений Павлович, генеральный конструктор ОАО «Кузнецов». Тел.: (846) 955-07-94. E-mail: kotherov@motor-s.ru. Область научных интересов: прочность и работоспособность элементов горячей части ГТД, вопросы охлаждения и теплопередачи, экология.

Росляков Алексей Дмитриевич, доктор технических наук, главный специалист Инженерного центра ОАО "Кузнецов". Тел.: (846) 246-91-84. E-mail: roslykov_ad@mail.ru. Область научных интересов: вопросы горения и теплопередачи, образование углеродистых отложений в топливных каналах, экология.

Цибизов Юрий Ильич, доктор технических наук, начальник отдела 3 Инженерного центра ОАО «Кузнецов». Тел.: (846) 998-54-30. Область научных интересов: газовая динамика сверхзвуковых течений в каналах и соплах, вопросы горения и теплопередачи, экология.

Kocherov Evgenie Pavlovich, the General designer of Open Society "Kuznetsov". Phone: (846) 955-07-94. E-mail: kotherov@motor-s.ru. Area of research: durability and working capacity of elements of hot part GTE, cooling and heat transfer questions, ecology.

Rosljakov Alexey Dmitrievich, doctor of technical science, the Chief specialist of the Engineering center of Open Society "Kuznetsov". Phone: (846) 246-91-84. E-mail: roslykov_ad@mail.ru. Area of research: burning and heat transfer questions, formation of carbonaceous adjournment in fuel channels, ecology.

Tsibizov Yury Ilich, doctor of technical science, the Chief of department 3 Engineering centers of Open Society "Kuznetsov". Phone: (846) 998-54-30. Area of research: gas dynamics of supersonic currents in channels and nozzles, burning and heat transfer questions, ecology.