

Анализ результатов расчётов показал следующее:

- 1) Учёт неадиабатности стенок вихревой камеры играет значительную роль в формировании поля температур в торцевой части вихревой камеры.
- 2) Применение поправки на кривизну линий тока позволяет более точно предсказать окружную компоненту скорости и расположение фронта пламени в вихревой камере.
- 3) Расчёты показали, что в зависимости от начального приближения, можно получить в расчёте несколько возможных устойчивых решений.

### Список литературы

1. Najim S.E., Styles A.C., Syred N. Flame movement mechanisms and characteristics of gas fired cyclone combustors/ Eighteen Symposium (International) on Combustion. The Combustion Institute, 1981
2. Spalart, P.R., and Shur, M. On the sensitization of turbulence models to rotation and curvature, Aerospace Sci. Tech., 1(5), pp. 297-302, 1997.
3. ANSYS CFX-Solver Modelling Guide. / ANSYS Inc.– ANSYS CFX Release 17.– 2016.

УДК 621.438.082.2

## МЕТОДОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ СОВРЕМЕННОЙ МАЛОЭМИССИОННОЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ С ВЫСОКИМИ ПАРАМЕТРАМИ РАБОЧЕГО ЦИКЛА НА ПРИМЕРЕ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГТД ДГ-90

Харисов Т.С., Скиба Д.В., Кашапов Р.С., Максимов Д.А.  
ООО «НПФ «Теплофизика», г.Уфа, [kharisov\\_ts@mail.ru](mailto:kharisov_ts@mail.ru)

*Ключевые слова: малоэмиссионная камера сгорания; предварительное смешение топлива; розжиг; виброгорение; оксиды углерода; оксиды азота.*

Разработка малоэмиссионных камер сгорания для уже существующих ГТД с высокими параметрами рабочего цикла, разработанными до появления современных требований к эмиссиям вредных веществ осложняется двумя основными проблемами:

- недостаточный объем зоны горения затрудняет обеспечение работы камеры сгорания в малоэмиссионном режиме работы при работе ГТД на пониженных нагрузках;

- отсутствие управляющих элементов в проточной части ГТД не позволяет снизить вариацию среднemasсовой температуры продуктов сгорания в первичной зоне камеры сгорания при дросселировании ГТД;

- возникновение пульсаций давления в зоне горения заранее смешанных газов (виброгорение).

Кроме этих основных проблем возникают дополнительные проблемы, связанные с особенностями розжига малоэмиссионной камеры сгорания и необходимостью организации нескольких коллекторов подачи топлива, в отличие от одноколлекторных диффузионных камер сгорания применявшихся ранее на этих типах ГТД.

В данной работе представлены результаты исследований и инженерные решения, предложенные ООО «НПФ «Теплофизика», для преодоления данных проблем на примере широко применяемого в наземных энергетических установках ГТД ДГ-90, работающего на природном газе.

В настоящее время штатные камеры сгорания ГТД ДГ-90 обладают следующими недостатками:

- Ненадежный розжиг;
- Прогар горелочных устройств и жаровых труб, что приводит к малому фактическому ресурсу камеры сгорания;
- Высокие уровни выбросов продуктов неполного окисления топлива и оксида углерода II и (или) высокие уровни выбросов оксидов азота.

В ПАО «Газпром» оборотный фонд двигателей производства ГП НККТ «Зоря» – «Машпроект» составляет 963 единицы, в т.ч. 309 двигателей серии ДГ-90 (ДГ-90Л2, ДГ-90Л2.1, ДГ-90П, ДГ-90П2), в которых установлены 11 вариантов конструкций камер сгорания – результат поэтапного изменения разработчиком конструкции элементов камеры сгорания для борьбы с вышеуказанными недостатками, которые, в результате, так и не были решены разработчиком в полном объеме.

Основой методологии ООО «НПФ «Теплофизика» для создания малоэмиссионной камеры сгорания является идентификация линии рабочих режимов камеры сгорания в зависимости от нагрузки ГПА и условий окружающей среды. В ходе данного этапа работ на основе экспериментальных данных была идентифицирована модель двигателя. Дополнительно были проведены экспериментальные работы на агрегате, позволившие определить расходы воздуха и топлива через камеры сгорания в зависимости от нагрузки двигателя и верифицировать полученную модель ГПА.

Разработка МЭКС для ДГ-90 осложнялась отсутствием подвижных частей в газоздушнoй части двигателя, за исключением входного направляющего аппарата, который независимо управляется гидравлической системой для облегчения запуска и в работу ВНА вмешиваться через САУ невозможно.

В соответствии с ранее наработанным опытом ООО «НПФ «Теплофизика», полученными параметрами рабочего цикла ДГ-90, разработанной математической моделью двигателя и расчёта температур пламени на различных режимах его работы, была выбрана следующая концепция малоэмиссионной камеры сгорания для ДГ-90: одnogорелочная компоновка фронтального устройства с многоканальной подачей топливного газа, и установкой запальных устройств в каждой индивидуальной камере сгорания; с применением внешнего конвективного и (или) ударно-конвективного охлаждения жаровой трубы и без пламяперехватных патрубков. При этом управление работой камеры сгорания по расчётному значению температуры пламени.

Для решения проблемы недогорания топлива на режимах пониженной нагрузки было апробировано шесть вариантов горелочных устройств. Были разработаны и испытаны варианты двухзонного сжигания топлива с переключением зон горения, аксиальные и тангенциальные горелочные устройства с одной и несколькими зонами смешения топливовоздушной смеси. Результаты экспериментальных исследований показали, что наибольшее значение при решении задачи многофакторной оптимизации горелочного устройства связаны с обеспечением большого объема зоны рециркуляции продуктов сгорания и обеспечением равномерного поля скорости в зоне смешения.

Использование многозонных камер сгорания и горелочных устройств, несмотря на все положительные стороны этих инженерных решений, ведет к уменьшению объема зон рециркуляции продуктов сгорания и тем самым не приводит в конечном итоге к снижению эмиссии продуктов неполного сгорания на режимах пониженной мощности ГТД. Данный эффект подтверждается результатами аналитических исследований процесса горения, которые показывают, что в зонах рециркуляции при низких среднemasсовых температурах в первичной зоне горения может обеспечиваться объемная нагрузка на порядок больше, чем на турбулентном фронте пламени в основном потоке. Выравнивание поля скорости в зоне смешения позволяет уменьшить скорость потока на выходе из горелочного устройства без проскока внутрь горелочного устройства. Снижение скорости потока на выходе из горелочного устройства уменьшает длину факела и тем самым увеличивает время пребывания продуктов сгорания в первичной зоне горения.

Малоэмиссионные камеры сгорания, как хорошо известно, требуют установки систем пассивного подавления колебаний. Из-за ограниченности объема камеры сгорания потребовалась разработка оригинальной конструкции двухчастотного резонатора Гельмгольца для подавления двух основных мод колебаний.

Одной из проблем при создании камеры сгорания стала разработка системы розжига. Камера сгорания ДГ-90 имеет четное количество переходных патрубков (16штук), что, при наличии пламяперебросных патрубков, может приводить к возбуждению так называемых *push-pull* колебаний, когда в соседних жаровых трубах попеременно возникают пульсации давления с разным знаком. Для предотвращения данного вида колебаний необходимо обеспечить независимый розжиг каждой жаровой трубы, однако, для такого розжига, из-за ограниченности в габаритах камеры сгорания необходима система розжига со свечой зажигания малого диаметра. В ходе исследований ООО «НПФ «Теплофизика» разработала две новые системы розжига, в одной из которых применяется свеча накаливания оригинальной конструкции, а в другой системе зажигания используется искровая свеча зажигания с новой оригинальной системой герметизации свечи зажигания.

ООО «НПФ «Теплофизика» на основе анализа собственного опыта разработки, известных конструктивных решений зарубежных фирм и результатов экспериментальных и аналитических исследований разработала свою реализацию малоэмиссионной камеры сгорания для ГТД с высокими параметрами рабочего цикла. Данные инженерные решения были признаны патентоспособными и защищены патентом на изобретение. В этом году планируется начать промышленные испытания разработанной конструкции камеры сгорания.

УДК 621.452.3

## **ЭТАПЫ СОЗДАНИЯ И ДОВОДКИ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГТУ НА БАЗЕ КОНВЕРТИРОВАННОГО АВИАЦИОННОГО ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

Маркушин А.Н., Бакланов А.В.

АО «Казанское моторостроительное производственное объединение»,  
[andreybaklanov@bk.ru](mailto:andreybaklanov@bk.ru)

*Ключевые слова: камера сгорания, выбросы вредных веществ, конструкция, доводка*

Процесс создания нового образца камеры сгорания газотурбинного двигателя, в том числе и конвертированного [1], состоит из нескольких этапов:

Этап 1. На этом этапе вырабатывается требование по созданию новой камеры сгорания или модификации серийной.