

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КАМЕР СГОРАНИЯ ГТД

Гриценко Е.А., Лавров В.Н., Постников А.М., Цыбизов Ю.И.

ОАО СНТК им. Н.Д.Кузнецова, г. Самара

В ОАО СНТК им. Н.Д.Кузнецова отработана, оправдавшая себя на практике, методология создания камер сгорания (КС) авиационных и конвертируемых двигателей, ориентированная на приоритеты, отвечающие триаде 3Э - "экология, экономика, эксплуатационная эффективность" [1].

Известно, что КС авиационных ГТД достигли высокого совершенства. Хорошо зарекомендовали себя многофорсунчатые КС, реализованные на авиационных двигателях семейства "НК" как на дозвуковых, так и сверхзвуковых самолётах. Работа этих КС опробована в условиях эксплуатации на жидких топливах (керосине), на криогенном топливе (водород) и сжиженном природном газе. Применение многофорсуночной КС, в частности, на винтовентиляторном двигателе пятого поколения НК-93 со сверхвысокой степенью двухконтурности, позволило без существенного изменения подхода к проектированию обеспечить существующие и перспективные нормы ИКАО по выбросу вредных веществ (ВВ) продуктами сгорания. Этот вывод подтвержден результатами измерений эмиссионных характеристик газогенератора при испытаниях в ТБК ЦИАМ. Появление за рубежом новых направлений в конструкциях КС связано, в основном, с желанием улучшения эмиссии ВВ и, в частности, с уменьшением выброса оксидов азота NO_x . Однако и здесь с целью уменьшения сложности и повышения надежности КС, а также снижения расходов на техобслуживание в последнее время просматривается тенденция на сохранение традиционных, хорошо зарекомендовавших в эксплуатации конструктивных решений. Примером может служить информация о применении однозонной КС на вновь разрабатываемом объединении фирм "Дженерал Электрик" и "Прайт Уитни" двигателе нового поколения GP 7267.

В работе [2] проанализированы экологические характеристики ряда лучших отечественных и зарубежных авиационных двигателей. Показано, что удовлетворение нормам ИКАО по эмиссии NO_x не обеспечивает требованиям существующего ГОСТ по нормированию выброса этого ВВ при кон-

вертировании такого двигателя для наземного применения ни в качестве газоперекачивающего агрегата, ни в качестве привода электрогенератора. Таким образом, при конвертировании современного авиационного двигателя с высокими параметрами термодинамического цикла (степень сжатия компрессора > 20) возникает проблема существенного снижения выброса NO_x . Принципиальное решение проблемы создания малоэмиссионной КС ГТД наземного применения заключается в дальнейшем совершенствовании процесса горения. Сущность такого совершенствования КС составляет:

- организация низкотемпературного горения при температуре пламени не выше 1800 К;
- высокоэффективное перемешивание бедной смеси (гомогенизация) перед подачей в зону горения;
- снижение уровня турбулентных пульсаций в зоне горения.

В результате обобщения опыта эксплуатации таких широко распространенных ГТД наземного применения как НК 12СТ, НК 16СТ, НК 18СТ и внедрения в эксплуатацию высокоэффективных двигателей НК 36СТ для ГПА Ц25, НК - 38СТ для ГПА - Ц 16Р, НК - 37 для привода электрогенератора на БТЭЦ (Самара) разработаны следующие направления развития малоэмиссионных КС:

1. Усовершенствование традиционной КС диффузионного типа.
2. Организация горения с частичным смешением топлива с воздухом в карбюраторах двухзонной КС.
3. Организация горения с полным смешением топлива и воздуха в двухзонной КС.
4. Реализация указанных направлений практически осуществлена на разработанных ГТД семейства ИЖ.

Так еще в 1990 г. впервые был испытан двигатель НК -36 СТ, созданный на базе современного авиадвигателя НК 321, с исходной КС традиционного типа.

Выбросы NO_x составили 560 мг/нм³ (здесь и далее значения концентраций приведены к номинальному режиму и условному содержанию кислорода в выхлопных газах, равному 15%). В 1992 г. в результате опытно-конструкторских работ было обеспечено снижение NO_x до 250 мг/нм³ путём двукратного укорочения камеры сгорания (по времени пребывания), обеднения смеси и интенсификации процесса в зоне горения. На серийном заводе

ОАО “Моторостроитель” изготовлено 3 двигателя (РГ - 101 , 102 , 103) с такой камерой сгорания, один из которых в настоящее время проработал на ГПА Ц - 25/76 в г. Тольятти более 12000 часов без замечаний по камере сгорания и двигателя в целом.

С целью дальнейшего снижения выбросов NO_x СНТК разработал двухзонную кольцевую камеру сгорания, рабочий процесс которой основан на концепции низкотемпературного сжигания бедной, предварительно перемешанной топливовоздушной смеси. Двигатель обеспечивает на номинальном режиме выбросы $\text{NO}_x \leq 150 \text{ мг/нм}^3$ и $\text{CO} < 300 \text{ мг/нм}^3$, что удовлетворяет требованиям ГОСТа 29775-90 и является лучшим показателем в Российской Федерации для двигателей такой класса ($\pi_k^* \geq 24$) Он успешно прошёл Межведомственные испытания, первый серийный двигатель РГ-104 с двухзонной камерой прошёл контрольные и сдаточные испытания.

Как показал опыт СНТК по отработке двухзонных камер одновременному снижению NO_x и CO до уровня в 50 мг/нм^3 препятствуют следующие проблемы:

- невозможность дальнейшего обеднения смеси в горелках из-за недопустимости увеличения их количества и габаритов в кольцевой камере и дефицита воздуха вследствие его большого расхода на плёночное охлаждение жаровой трубы (до 30%);
- “замораживание” реакции горения в толстых пограничных слоях воздуха уже упомянутого плёночного охлаждения;
- самовоспламенение и проскок пламени в зону смешения горелок, что, как известно, является основной проблемой для высоконапряжённых камер.

Для решения этих проблем в СНТК производятся крупные научно-технические работы.

Разработана двухзонная камера сгорания с выносными жаровыми трубами (ВЖТ), позволяющими в 1,5 раза увеличить количество горелок. В 1996 г. началась отработка 2х зонной КС с ВЖТ двигателя НК - 38СТ, созданного на базе двигателя НК - 93 . Первые экологические испытания показали, что конструкция КС пока не обеспечивает требуемое для получения минимальных выбросов вредных веществ NO_x и CO распределения расходов воздуха. Обеднение карбюраторов за счет перелива части топлива в дежурную зону и подача воздуха в основную зону горения через дополнительные отверстия на жаровой трубе позволило обеспечить на этом этапе выбросы NO_x на уровне

140 мг/м³ при уровне выброса CO < 250 мг/м³. Однако проведенные уже в этом году испытания модуля КС на стенде ВТИ г. Москва ($t_k = 400$ °С, $P_k = 1$ ата), показали возможность получения в данной конструкции требуемых уровней эмиссии NO_x < 50 мг/м³ при CO < 100 мг/м³. В настоящее время проводится проверка лучших вариантов КС на работоспособность по недопущению проскока пламени в смесители и обеспечению эмиссии ВВ на специальном отсеке высокого давления (P_k до 20 ата) [3].

Для устранения недожега топлива в пристеночных холодных слоях, уменьшения расхода воздуха на охлаждение в СНТК проводятся исследовательские работы в 2-х направлениях:

- (наиболее радикальное) применение керамики в качестве материала жаровой трубы. Совместно с НПП ЭСТ г. С. Петербург разработана компоновка керамической КС на базе выносной жаровой трубы, изготавливается отсек и в конце текущего года запланировано начало огневых и вибрационных испытаний. (Данное направление рассматривается и как первый этап на пути создания каталитических КС в начале 21 века. Разработка керамической КС включена в Программу перспективного сотрудничества ОАО СНТК им. Н.Д. Кузнецова с ОАО ГАЗПРОМ до 2005 г);
- применение конвективной (без пленки) системы охлаждения стенок жаровой трубы.

С целью обеспечения стабильно низких выбросов ВВ в широком диапазоне нагрузок (40 – 110% N ном) и условий эксплуатации разрабатывается автоматизированная система управления процессами в КС (АСУ КС), позволяющая поддерживать постоянную температуру пламени в районе 1800 К в зонах горения независимо от нагрузки и внешних условий. АСУ КС включает в себя дозаторы типа ДУС, электронный регулятор (разработчик ЭГА и ГосНИИП г. Москва) и систему регулирования воздуха. Первый экземпляр АСУ КС в упрощенном варианте (для 2-х топливных контуров) был испытан на двигателе НК - 36СТ № 4 в июле 1998 г. Испытания продемонстрировали эффективность, управляемость и устойчивость системы. По их результатам принято генеральное направление по внедрению указанных систем на все наземные двигатели семейства НК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гриценко Е.А. Методология создания малоэмиссионных камер сгорания авиационных и конвертируемых двигателей семейства НК. // Тезисы докладов Всероссийской научной конференции по проблемам сжигания углеводородных топлив. -М.: РАН. 1998 .
2. Гриценко Е.А., Постников А.М., Цыбизов Ю.И. Снижение выбросов NO_x при конвертировании авиационных двигателей. // Теплоэнергетика. -1996. -№ 3. -С. 61 - 65 .
3. Вопросы отработки экологических характеристик и надёжности КС ГТД наземного применения. / Епейкин Л.Ф., Крыжановский А.И., Лавров В.Н., Николаев В.Е., Цыбизов Ю.И. // Вестник СГАУ, Сер. Процессы горения, теплообмена и экология тепловых двигателей. Вып. 1, Самар. гос. уэрокосм. ун-т, Самара, 1998. -С.136 – 141.

УДК. 621.45.043

**ТРЕХКОМПОНЕНТНЫЕ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ
КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ОРГАНИЗАЦИИ
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ
В ТЕПЛОВЫХ ДВИГАТЕЛЯХ СОВРЕМЕННЫХ ЭНЕРГОМАШИИ
(АВИАЦИОННЫХ, НАЗЕМНЫХ, СУДОВЫХ И ДР.),
РАБОТАЮЩИХ НА АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ**

Кузнецов Н.Д., Рудницкий А.М.

ОАО СНТК им. Н.Д. Кузнецова, г. Самара

*Посвящается памяти замечательных инженёров ОКБ имени Н.Д. Кузнецова -
Стенькина Евгения Дмитриевича и
Позднякова Игоря Александровича*

Впервые данная работа представлялась на обсуждение по инициативе генерального конструктора Н.Д. Кузнецова на НТС СГНПП "Труд" 24 марта 1992 г. и была впоследствии им дополнена конкретными рекомендациями, учтенными в дальнейшем.

Основные положения новой технологии были обсуждены на заседании научно-технического совета кафедры: "Теплотехника и тепловые двигатели" СГАУ под руководством С.В. Лукачева.

Одной из важнейших научно-технических проблем, стоящих при создании современных тепловых двигателей, работающих на атмосферном воздухе, как окислителе, является обеспечение высоких характеристик рабочего процесса в КС по КПД, надёжности, ресурсу, эмиссии вредных веществ продуктов сгорания (ПС), [5,13,16,17,19].

Обеспечению решения, например, одной только задачи - минимальной генерации оксидов азота (NO_x), посвящены тысячи научных статей,