

- алгоритм управления малоэмиссионной камерой сгорания в составе ГТД;
- система охлаждения жаровой трубы конвективного типа;
- система надежного запуска камеры сгорания с защитой свечей зажигания от перегрева продуктами сгорания;
- система подавления пульсаций давления в камере;
- система подачи пилотного топлива обеспечивающая отсутствия нагара на поверхностях камеры сгорания, подавляющая возбуждение автоколебаний в камере сгорания, исключая наличие паразитных течений продуктов сгорания в топливных контурах камеры сгорания;
- система саморегуляции концентрации топливовоздушной смеси.

Результаты эксплуатации газоперекачивающих агрегатов Балтика-25, Ладога-32, ДГ-90 показывают, что даже известные зарубежные двигателестроительные фирмы не всегда могут показать владения данными ключевыми технологиями в полном объеме.

ООО НПФ «Телофизика» на основе анализа собственного опыта разработки и известных конструктивных решений зарубежных фирм разработала свою реализацию ключевых технологий создания малоэмиссионных камер сгорания, на основе которых были разработаны камеры сгорания ПСТ 25И и ПСТ MS3002 для газоперекачивающих агрегатов ГТК-25ИР, ГТНР-25И, ГТК-10И. Опыт промышленной эксплуатации данных камер сгорания показал, что такие проблемы как: внезапный рост пульсаций давления на неисследованном режиме работы ГТД, образование нагара на втулках горелочных устройств, узкий диапазон устойчивой малоэмиссионной работы камеры сгорания требующий применения ненадежных систем перепуска воздуха с подвижными элементами, могут быть преодолены.

УДК 621.45.022

## **ОСОБЕННОСТИ ТЕЧЕНИЙ В ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ ЗОНАХ ПРИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОМ ВДУВЕ СТРУЙ**

Ярмаш А.Д., ОКБ им. А. Люльки, г. Москва, аспирант МАИ  
Онищик И.И., МАИ, г. Москва

Процессы смешения в циркуляционных зонах имеют большое значение для стабилизации процессов горения, так как они определяют время пребывания смеси в циркуляционной зоне  $t_z$ . При экспериментальном определении значений  $t_z$  применяется метод, основанный на подводе в циркуляционную зону трассирующего газа и измерение его средней кон-

центрации  $C_{cp}$  в пределах зоны. Тогда среднее время пребывания  $t_z$  может быть оценено из формулы:

$$t_z(x, y) = \frac{C_{cp} \cdot V_{цз}}{G_{ист}},$$

где  $V_{цз}$  – это объем циркуляционной зоны,  $G_{ист}$  – секундный расход стационарного источника.

Такие исследования проводились при отсутствии горения и позволили оценить по величине  $t_z$  циркуляционные зоны при различных способах их организации. Наиболее распространенным способом является помещение в поток плохообтекаемых тел различных формы.

Однако определенный интерес представляет использование для этого различных струйных течений. Этот способ может обладать (по предположению) рядом преимуществ (уменьшение потерь давления, теплозащита стабилизатора и др.)

В данном докладе приведены некоторые результаты применения метода трассирующего газа, моделируемого с помощью численных расчетных методов, представляемых комплексом ANSYS, при стационарной и нестационарной постановке задачи. Исследовались течения за уступами, уголковыми стабилизаторами в полуоткрытом потоке, а также при различной степени загромождения канала.

Было проведено сопоставление расчетов по указанным методам с некоторыми экспериментальными данными [1], которое показало, что с помощью расчета можно приблизительно (с точностью 5%) моделировать основные особенности циркуляционных течений (структура течения, поля скоростей, характерные размеры)

В докладе даются результаты расчетов для циркуляционных зон, возникающих за уголковыми стабилизаторами и за уступами. Расчеты проводились при давлении набегающего потока  $p = 101325 \text{ Па}$ , температуре  $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$  и скорости  $U = 30 \text{ м/с}$ .

Показано, что за одиночными стабилизаторами могут возникать нестационарные течения, характеризующиеся периодическим срывом вихрей с кромок стабилизатора. Расчет по осредненным параметрам дает для этого случая меньшие значения времени пребывания  $t_z$  по сравнению со стационарным течением.

Течение за уступом всегда является стационарным и время пребывания  $t_z$  в этом случае оказывается большим по сравнению с нестационарным случаем при одинаковых значениях характерного размера уступа  $h$  и стабилизаторов.

Так, при  $h = 30 \text{ мм}$  и  $U = 30 \text{ м/с}$  время  $t_z = 0,02 \text{ сек}$  для стабилизатора и  $t_z = 0,085$  для уступа.

При вдуве плоских струй с кромок уступа под углом  $90^\circ$  к направлению основного потока течение осуществлялось при скоростях набегающего потока  $U = 30$  м/с и вдува струи  $U_{\text{вдува}} = 60$  м/с.

Результаты показали, что вдув струи воздуха с кромки стабилизатора увеличивает объем циркуляционной зоны примерно в два раза, однако, при этом увеличивается скорость в зоне, что приводит к сокращению времени пребывания.

### Список литературы

1. Гагаринские чтения – 2017: XLIII Международная молодёжная научная конференция: Сборник тезисов докладов: М.: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2017.
2. *Щетинков Е.С.* Физика горения газов. М.: Наука, 1978. 740 с.
3. Физические основы рабочего процесса в камерах сгорания воздушно-реактивных двигателей / *Б.В. Раушенбах, С.А. Белый, И.В. Беспалов, В.Я. Бородачев, М.С. Волынский, А.Г. Прудников.* М.: Машиностроение, 1964.
4. *Winterfeld G.*, Zs. Flugwissenschaft 8, 219, 1960.

УДК 629.735.03:62/43.056

## АНАЛИЗ МИРОВОГО ОПЫТА РЕГУЛИРОВАНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С НИЗКОЭМИССИОННОЙ КАМЕРОЙ СГОРАНИЯ ПО РЕЖИМАМ МОЩНОСТИ И В КЛИМАТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНЕ

Нугуманов А.Д., АО «ОДК-Авиадвигатель», г. Пермь, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь  
Сипатов А.М., АО «ОДК-Авиадвигатель», г. Пермь, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь  
Назукин В.А., АО «ОДК-Авиадвигатель», г. Пермь, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь

*Ключевые слова:* низкоэмиссионная камера сгорания (НКС), оксид азота (NOx), двуокись углерода (CO), коэффициент избытка воздуха (альфа), перепуск воздуха, многоколлекторная подача топлива, поворотный ВНА, газотурбинная установка (ГТУ).

НКС имеют очень узкий диапазон устойчивой работы по коэффициенту избытка воздуха. Данный коэффициент может очень сильно меняться при изменении температуры окружающего воздуха  $T_n$ . Как правило, в таких НКС зона реакции настроена максимально «горячо» при темпера-