

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЗОНЫ СМЕШЕНИЯ КОЛЬЦЕВОЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГТД НА НЕРАВНОМЕРНОСТЬ ПОЛЕЙ ТЕМПЕРАТУР НА ВЫХОДЕ ИЗ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ

Дмитрий Александрович ДЬЯЧЕНКО родился в 1982 г. в городе Одинцово Московской области. Начальник конструкторского бюро ОАО «ММП им. В.В. Чернышева». Основные научные интересы — в области аэродинамики камер сгорания. Автор 10 научных работ.

Dmitry A. DIACHENKO, was born in 1982, in the Moscow Region. He is the Head of a Design Bureau at the Chernyshev Moscow Engineering Enterprise. His research interests are in gas dynamics of combustion chambers. He has published 10 technical papers.

В статье излагаются экспериментальные исследования по снижению окружной эпюры температур перед турбиной на камерном стенде. Для получения требуемой эпюры температур необходимым условием является обеспечение достаточной глубины проникновения струй воздуха в поток в зоне смешения. Рассмотрены зависимости неравномерности температурного поля в окружном направлении от величины расхода воздуха, от шага между отверстиями, а также от относительного импульса подводимого воздуха при равномерном поле температур перед зоной смешения.

Обозначения и сокращения

$G_{\text{отв}}$ — секундный расход воздуха через отверстия в зоне смешения;

G_{Σ} — суммарный секундный расход воздуха перед зоной смешения;

$v_{\text{отв}}$ — относительный объем воздуха, проходящего через отверстия в зоне смешения;

$v_{\text{ср}}$ — относительный объем воздуха перед зоной смешения;

H — глубина проникновения струй в зоне смешения;

$\bar{t}_{\text{ср}}$ — шаг между двумя соседними отверстиями в зоне смешения;

$F_{\text{отв}}$ — площадь отверстия в зоне смешения;

$F_{\text{ж}}$ — суммарная площадь отверстий;

$T_{\text{х}}$ — температура в поясе на выходе из зоны смешения;

$T_{\text{ср}}$ — средняя температура на выходе из зоны смешения;

T_{max} — максимальная температура на выходе из зоны смешения;

$T_{\text{си max}}$ — максимальная температура в поясе на выходе из зоны смешения.

Поля температур газа в выходном сечении камеры сгорания газотурбинного двигателя оказывают существенное влияние на ресурс работы турбины. Опыт разработки камер сгорания показывает, что требуемую эпюру температур удается получить

в результате сравнительно небольшой доводочной работы. Более значительные трудности вызывает доводка полей температур по окружной неравномерности. Неравномерность полей температур в камерах сгорания обусловлена целым рядом причин: неравномерностью полей скоростей воздуха в диффузоре и кольцевых каналах камеры, неравномерностью распределения топлива и воздуха в зоне горения камеры, дискретностью подвода воздуха в жаровую трубу и т. д. Поэтому для уменьшения неравномерности полей температур необходимо совершенствовать все узлы камеры сгорания, в том числе и зону смешения. Исследования камер сгорания показывают, что неравномерность полей температур газа в выходном сечении камеры в значительной степени обусловлена неравномерностью поля температур газов, вытекающих из зоны горения.

Установлено, что необходимым условием для получения требуемой эпюры температур является обеспечение достаточной глубины проникновения струй воздуха в поток в зоне смешения. В кольцевой камере сгорания эта величина должна быть не меньше половины высоты сечения жаровой трубы.

На рис. 1 показана многосекционная жаровая труба двигателя РД-33. Для отработки температурного поля варьировались количество и диаметр отверстий в зоне смешения. Исследования проводились на специальном камерном стенде. В кольцевом зазоре на выходе из камеры сгорания с помощью кругового замера измерялась температура.

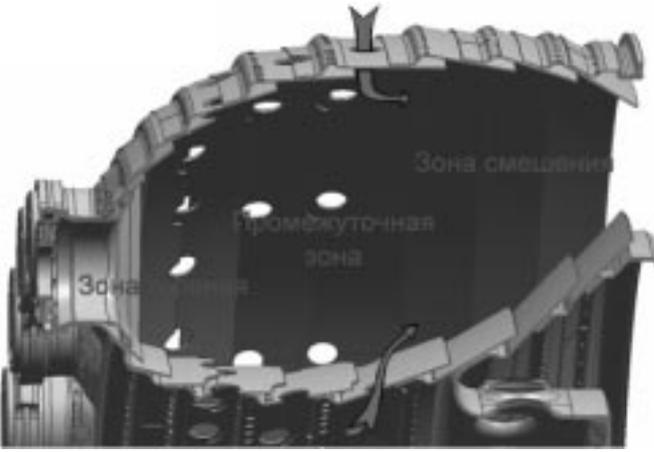


Рис. 1. Жаровая труба двигателя РД-33

С этой целью вращающийся на 360° барабан был снабжен семью термопарами. Исходя из возможностей экспериментальной установки, скорость потока воздуха на входе в диффузор камеры сгорания поддерживалась близкой к существующей на двигателе ($\lambda = 0,29$), а температура и давление на входе в камеру сгорания воздуха менялись в диапазоне $t_{в}^* = 150 \div 200 \text{ }^\circ\text{C}$, $p_{в}^* = 1,2 \div 1,5 \text{ ата}$. Коэффициент избытка воздуха поддерживался $\alpha \approx 3,0$.

Структура течения и интенсивность процессов турбулентного обмена в зоне смешения определяются в основном относительным импульсом подводимого воздуха

$$\bar{I}_{отв} = \frac{G_{отв} v_{отв}}{G_{\Sigma} v_{ср}}$$

и относительным шагом отверстий в окружном направлении $\bar{t}_{ср} / H$. Неравномерность полей температур также определяется указанными параметрами. Увеличение параметра $\bar{I}_{отв}$ сопровождается уменьшением неравномерности полей температур, так как в этом случае интенсифицируются как процессы смешения струй со сносимым потоком, так и процессы турбулентного обмена в зоне смешения.

Рассмотрим влияние на поле температур величины $\bar{t}_{ср}$. С увеличением значений $\bar{t}_{ср}$ повышается интенсивность турбулентного обмена в зоне смешения, что должно способствовать выравниванию неравномерностей температур. Однако при больших значениях $\bar{t}_{ср}$ могут недопустимо возрасти неравномерности температур, обусловленные дискретным подводом холодного воздуха в зону смешения. Поэтому следует ожидать, что выбор величины $\bar{t}_{ср}$,

при которой получается минимальная неравномерность полей температур, связан с видом поля температур сносимого потока.

Конструктивные параметры зоны смешения можно разделить на две группы. Первая группа — параметры, характеризующие особенности конструкции камеры сгорания в целом: относительные значения суммарной площади отверстий

$$\left(\bar{F}_{отв} = \frac{F_{отв}}{F_{ж}} \right), \text{ расхода } \left(\bar{G}_{отв} = \frac{G_{отв}}{G_{\Sigma}} \right) \text{ и температуры}$$

$$\text{воздуха } \left(\frac{T_x}{T_{ср}} \right), \text{ подводимого в зону смешения. От}$$

этих же параметров зависит величина $\bar{I}_{отв}$. Вторая группа — параметры, характеризующие число и расположение отверстий в зоне смешения.

В качестве основной характеристики неравномерности полей температур в зоне смешения при равномерном и периодическом в окружном направлении распределении температуры в сносимом потоке принята величина

$$Q_{\max} = \frac{T_{\max} - T_{ср}}{T_{си \max} - T_{ср}}$$

Рассмотрим влияние на неравномерность полей температур относительного расхода воздуха и относительной суммарной площади отверстий в зоне смешения. Величины θ_{\max} в зависимости от $\bar{G}_{отв}$

при значении $\bar{F}_{отв} = 0,17$ и $\bar{t}_{ср} = 0,56$ приведены на рис. 2. Значения θ_{\max} в зависимости от $\bar{I}_{отв}$ при-

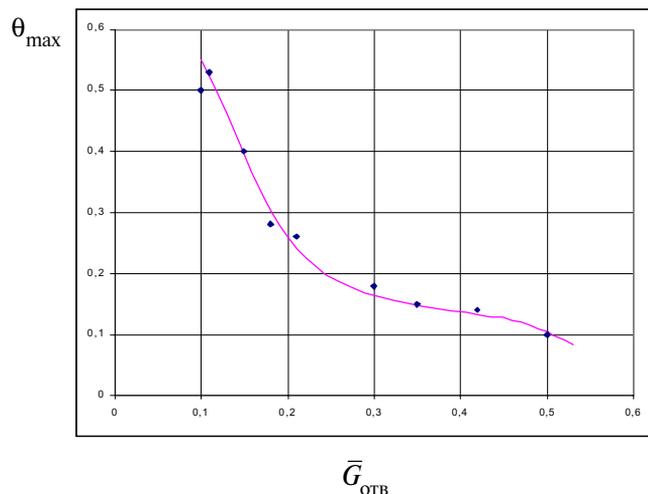


Рис. 2. Экспериментальные значения θ_{\max} в зависимости от величины $\bar{G}_{отв}$ при равномерном поле температур перед зоной смешения

ведены на рис. 3, 4 при различных значениях $\bar{F}_{отв}$,

$\bar{t}_{ср}$.

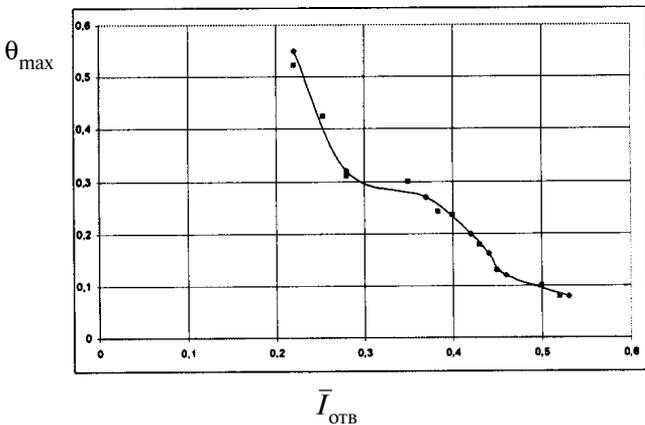


Рис. 3. Изменение значений θ_{max} в зависимости от величины $\bar{I}_{отв}$ при равномерном поле температур перед зоной смешения:

$$\bar{F}_{отв} = 0,17 \text{ и } \bar{t}_{ср} = 0,56$$

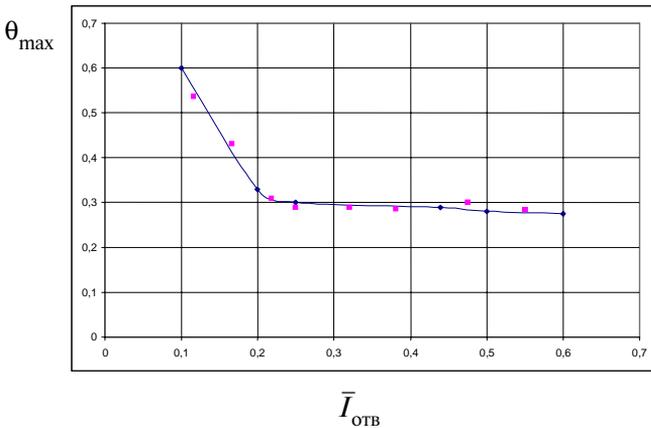


Рис. 4. Изменение значений θ_{max} в зависимости от величины $\bar{I}_{отв}$ при равномерном поле температур перед зоной смешения:

$$\bar{F}_{отв} = 0,17 \text{ и } \bar{t}_{ср} = 0,42$$

Как видно, увеличение значений $\bar{G}_{отв}$ приводит к уменьшению неравномерности полей температур.

Рассмотрим влияние значений $\bar{t}_{ср}$ на неравномерность полей температур. Сравнение величин θ_{max} при этом будет проводиться при одинаковых значениях $\bar{I}_{отв}$. Значения θ_{max} в зависимости от $\bar{t}_{ср}$ приведены на рис. 5. Увеличение неравномерности полей температур с увеличением шага между отверстиями обусловлено уменьшением перекрытия струй в окружном направлении.

При малых значениях $\bar{t}_{ср}$ (до 2) струи сильно перекрываются в окружном направлении, величина окружной неравномерности в этом случае низ-

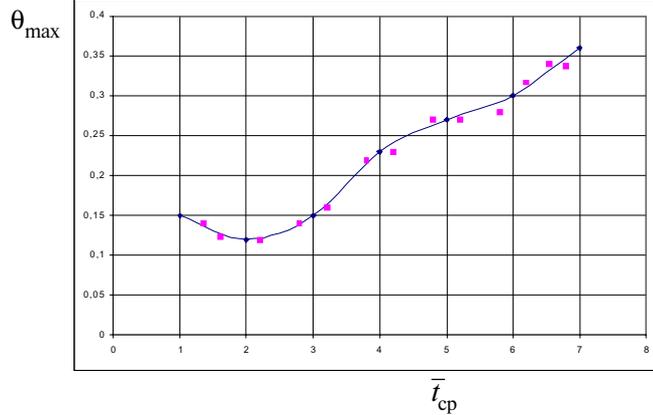


Рис. 5. Изменение значений θ_{max} в зависимости от величины $\bar{t}_{ср}$ при равномерном поле температур перед зоной смешения

ка и практически не зависит от $\bar{I}_{отв}$. Период окружной неравномерности при этом не зависит от числа отверстий, подводящих воздух. В этом случае окружная неравномерность полей температур вызывается не подводом воздуха через отдельные отверстия, а возможным взаимодействием (слипанием) струй друг с другом. Уменьшение значений $\bar{t}_{ср}$ не будет сопровождаться снижением окружной неравномерности полей температур. При малых значениях $\bar{I}_{отв}$ (0,4 и меньше) уменьшение значений $\bar{t}_{ср}$ может привести к тому, что глубина проникновения струй станет недопустимо малой, и это вызовет существенное возрастание температуры в центральных поясах сечения. При $\bar{t}_{ср} \geq 1,2$ неравномерность полей температур в основном обусловлена дискретностью подвода воздуха в поток в зоне смешения. В этих случаях число «пиков» температуры в окружном направлении соответствует числу струй.

Неравномерность полей температур в зоне смешения при неизменном числе и расположении отверстий определяется параметром $\bar{I}_{отв}$, который, как и в случае равномерного поля температур перед зоной смешения, учитывает влияние параметров $\bar{G}_{отв}$ и $\bar{F}_{отв}$. Увеличение $\bar{I}_{отв}$ приводит к уменьшению неравномерности полей температур, что объясняется интенсификацией процессов турбулентного обмена в зоне смешения.

Выводы

Необходимым условием для получения требуемой эпюры температур является обеспечение достаточной глубины проникновения струй воздуха в поток в зоне смешения.

Структура течения и интенсивность процессов турбулентного обмена в зоне смешения определя-

ются относительным импульсом подводимого воздуха.

Увеличение значений относительного расхода воздуха приводит к уменьшению неравномерности полей температур.

Увеличение неравномерности полей температур с увеличением шага между отверстиями обусловлено уменьшением перекрытия струй в окружном направлении.

Summary

Experimental investigations are described for an annular combustion chamber of gas-turbine engine. The investigations are aimed to decrease a hoop temperature distribution before the turbine on a combustion chamber test bench. Ensuring of sufficient penetration depth of

air jets into the flow in a mixing zone is used to assure required temperature distribution. Relations between hoop non-uniformity of temperature field and some influencing factors are analyzed. These factors include air consumption, hole pitch as well as relative momentum for delivered air on conditions that temperature field is uniform before the mixing zone.

Библиографический список

1. *Лефевр А.* Процессы в камерах сгорания ГТД: Пер. с англ. — М.: Мир, 1986.

2. *Пчелкин Ю.М.* Камеры сгорания газотурбинных двигателей. — М.: Машиностроение, 1984.

ОАО «ММП им. В.В. Чернышева»
Статья поступила в редакцию 14.03.2008