

УДК 621.452.3.034

## ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ ГОРЕЛОЧНОГО УСТРОЙСТВА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГТУ, РАБОТАЮЩЕЙ НА ГАЗООБРАЗНОМ ТОПЛИВЕ

© 2011 А. Н. Маркушин<sup>1</sup>, А. В. Бакланов<sup>2</sup>, Н. Е. Цыганов<sup>1</sup>,<sup>1</sup>ОАО «Казанское моторостроительное производственное объединение»<sup>2</sup>Казанский государственный технический университет им. А.Н.Туполева

Исследуется влияние конструкции горелочного устройства на основные характеристики камеры сгорания. Данные мероприятия были проведены с целью улучшения экологических характеристик ГТУ, что позволило значительно снизить уровень выбросов токсичных веществ по сравнению с серийной камерой сгорания.

*Камера сгорания, горелочное устройство, оксид азота, окислы углерода, токсичность, эксперимент, экология.*

Важную роль в камере сгорания (КС) играет зона горения, определяющая интенсивность выгорания топливно-воздушной смеси, диапазон устойчивой работы, тепловое состояние элементов жаровой трубы, эмиссионные и пусковые характеристики камеры.

Процессы в этой части КС в значительной степени зависят от конструкции и режима работы базового элемента фронтального устройства – вихревой газовой горелки.

В данной работе представлены технические решения, реализованные в ходе модернизации конструкции камеры сгорания (КС) ГТУ НК-16СТ мощностью 16 МВт, созданной на базе авиационного газотурбинного двигателя НК-8-2У.

Целью данной модернизации явилось снижение уровня эмиссии окиси углерода СО и окислов азота NO<sub>x</sub> в продуктах сгорания серийной КС, а элементом модернизации - горелочное устройство.

В конструкции фронтального устройства серийной кольцевой КС вихревые газовые горелки (рис.1) устанавливаются равномерно по окружности между внутренней и наружной стенками жаровой трубы (ЖТ). Топливо, подаваемое газовыми форсунками 1 вдоль оси каждой из горелок, перемешивается в камере смешения 3 с закрученным в завихрителе 2 потоком воздуха. В результате в первичной зоне камеры сгорания за сопловым насадком 4 каждой из вихревых горелок формируются потоки топливовоздушной смеси, имеющие при-

осевые циркуляционные области. Наличие таких областей обеспечивает циркуляцию горячих продуктов сгорания и активных центров из зоны горения к корню факела свежей смеси, что создает условия для устойчивого воспламенения и стабилизации пламени.

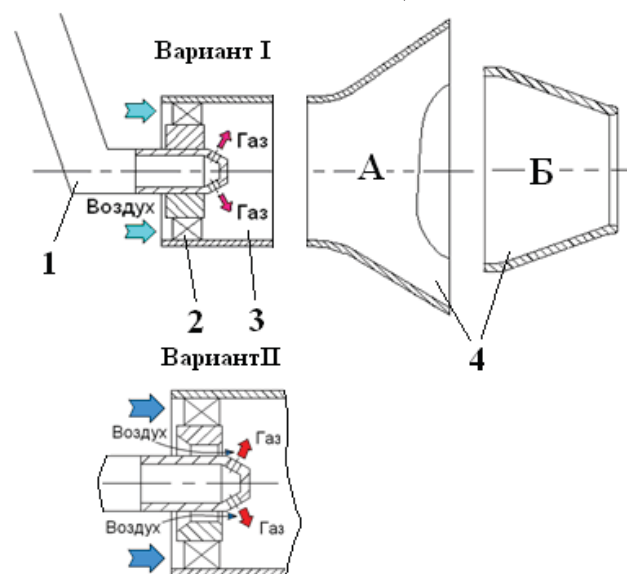


Рис.1. Схема горелочных устройств:  
1- струйная форсунка, 2- завихритель,  
3- камера смешения, 4- сопловый насадок

В работе изучалось влияние формы насадка горелочного устройства (рис. 1 А, Б) на рабочий процесс КС при постоянном законе подвода воздуха по длине ЖТ. Исследовались две формы насадка: диффузорный и конфузорный.

Исследования, проведенные на одногорелочном отсеке, показали, что изменением конструкции горелочного устройства можно реализовать как приосевое, так и периферийное горение. В первом случае градиент

поперечной скорости топливоздушной смеси на выходе из соплового насадка максимален, что обеспечивает полное выгорание топлива на малой длине. При периферийном горении поток имеет низкое значение градиента скорости в радиальном направлении на всей длине зоны рециркуляции топливоздушной смеси в первичной зоне КС.



Рис.2. Внешний вид полноразмерной камеры сгорания ГТД НК-16СТ

В ходе испытаний полноразмерной камеры сгорания проводилось измерение радиальной и окружной эпюр неравномерности поля температуры газа. Для чего в выходном сечении ЖТ была установлена подвижная в окружном направлении шеститочечная гребенка термомпар (рис.2).

Измерения показали, что на выходе из КС с конфузорным насадком в районе термомпары №5 наблюдается увеличение температуры по сравнению с вариантом камеры, имеющим диффузорный насадок (рис.3). Это позволяет считать, что конфузорный насадок горелочного устройства формирует в зоне горения более горячее ядро потока. Процесс объясняется смыканием вихревого слоя и уменьшением поперечных размеров зоны рециркуляции, что привело к локализации высокотемпературных масс газа в приосевой области горелки [2].

Поэтому для эффективного уменьшения поверхностей пламени со стехиометрическим составом было реализовано техническое решение, основанное на локальном обеднении смеси в горячей приосевой зоне (рис.1 вариант II). Данное решение заключается в доработке горелочного устройства путем организации между форсункой и завихрителем кольцевого канала. В результате чего была обеспечена на ~15% большая площадь проходного сечения горелочного устройства, чем в исходном серийном варианте. Это мероприятие позволило снизить температуру ядра потока и привести радиальную эпюру в соответствие с нормами ТУ.

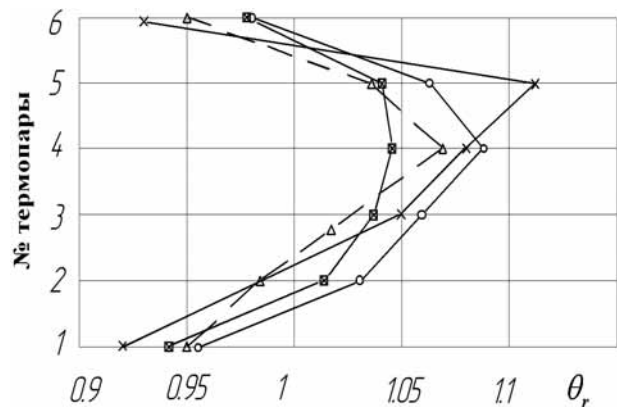


Рис.3. Влияние конструкции горелки на радиальную эпюру температурного поля в выходном сечении КС:

×-конфузор; □-диффузор; Δ-конфузор с кольцевым каналом; ○-нормиТУ

$$C_{ax} = 115 \text{ м/с}; T_K^* = 200 \text{ }^\circ\text{C}; \alpha_\Sigma = 5$$

К тому же, несмотря на существенное уменьшение размеров зоны рециркуляции, камеры сгорания с конфузорными горелками показали весьма высокую полноту сгорания по сравнению с горелками, имеющими диффузорный насадок, что привело к существенному снижению выброса CO (рис.4). Здесь измерения концентрации токсичных веществ были проведены в составе полноразмерного двигателя НК-16СТД на режиме максимальной мощности и приведены к условному содержанию кислорода в выхлопных газах, равному 15%, согласно [1].

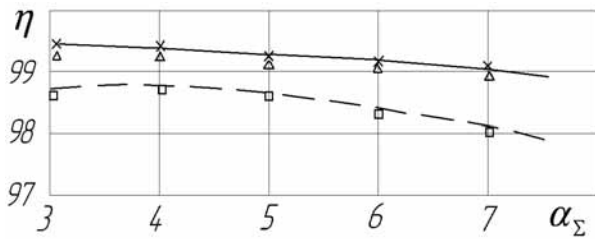


Рис. 4 Характеристики полноты сгорания топлива на выходе из КС:

×-конфузор; □-диффузор; Δ-конфузор с кольцевым каналом;

$$C_{ax} = 115 \text{ м/с}; T_K^* = 200 \text{ }^\circ\text{C}$$

Уменьшение уровня выбросов оксидов азота в камере сгорания с конфузорным насадком (рис.5) связано с увеличением скорости истекающего из сопла горелки потока, что приводит к уменьшению времени пребывания продуктов сгорания в зоне горения. Вторая причина - это частичная подготовка топливоздушная смеси в горелке с конфузорным насадком и, как следствие, реализация получения гомогенной топливоздушная смеси и введение ее в зону горения. В результате из времени пребывания в зоне высоких температур исключается время смесеобразования, что также уменьшает выход  $\text{NO}_x$ .

Что касается снижения выбросов  $\text{CO}$ , то согласно исследованиям [3] конфузорная форма горелочного устройства повышает интенсивность процессов в рециркуляционной зоне, поэтому снижение концентрации  $\text{CO}$  в таком варианте КС по сравнению с серийной объясняется более интенсивным окислением  $\text{CO}$  в  $\text{CO}_2$ , так как это превращение практически полностью определяется элементарной реакцией:  $\text{CO} + \text{OH} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}$ .

В последнем варианте горелки, в результате внедрения кольцевого канала, произошло перераспределение расхода воздуха между первичной и вторичной зонами КС. Через фронтное устройство в первичную зону поступило большее количество воздуха, что снизило в ней среднюю температуру и, как следствие, уменьшило выброс оксидов азота. Согласно [4], главным определяющим фактором  $\eta$  является состав смеси в первичной зоне, где обеднение последнего приводит к снижению пол-

ноты сгорания и, как следствие, к повышению  $\text{CO}$ , что подтверждается экспериментально (рис 4,5).

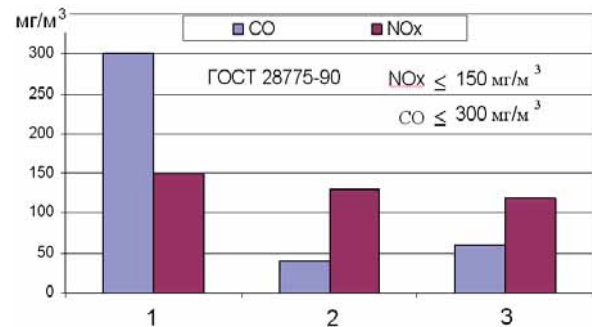


Рис.5. Концентрации  $\text{CO}$  и  $\text{NO}_x$  камер: 1- с диффузором (серийная); 2 – с конфузором; 3- с конфузором и кольцевым каналом

Полученные данные позволили сделать вывод, что изменением конструкции горелочного устройства при постоянном законе подвода воздуха по длине жаровой трубы и идентичных параметрах закрутки потока можно влиять на основные характеристики КС, такие как время пребывания продуктов сгорания, полнота сгорания топлива, неравномерность температурного поля и концентрация выбросов токсичных веществ.

### Библиографический список

- ГОСТ 28775-90. Агрегаты газоперекачивающие с газотурбинным приводом. Общие технические условия [Текст] - М.: Стандартинформ, 2005. -12с.
- Ланский, А.М. Рабочий процесс камер сгорания малоразмерных ГТД [Текст] / А.М. Ланский, С.В. Лукачев, С.Г. Матвеев - Самара: СНЦ РАН, 2009. - 335с.
- Белоусов, А.Н. Влияние интенсивности закрутки первичного воздуха на процесс выгорания газообразного топлива в авиационной камере сгорания [Текст] / А.Н. Белоусов, А.М. Ланский, С.В. Лукачев // Горение в потоке. - Казань, 1982. - С. 61-64.
- Мингазов, Б.Г. Камеры сгорания газотурбинных двигателей [Текст] / Б.Г. Мингазов - Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2006. - 220 с.

## **THE INFLUENCE OF BURNER DESIGN ON THE CHARACTERISTICS OF THE COMBUSTION CHAMBER WITH GASEOUS FUELS**

© 2011 A. N. Markushin<sup>1</sup>, A. V. Baklanov<sup>2</sup>, N. E. Tsyganov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Joint-Stock Company «Kazan motor production association»

<sup>2</sup>Kazan State Technical University

Examines the influence of burner design, the main characteristics of the combustion chamber. These activities were carried out in order to improve the environmental performance of gas turbines, which significantly reduce toxic emissions in comparison with the serial main combustor

*Combustion chamber, burner, nitric oxide, carbon oxides, toxicity, experiment, ecology.*

### **Информация об авторах**

**Маркушин Андрей Николаевич**, главный конструктор Казанского моторостроительного производственного объединения. E-mail: [AMarkushin@kmpo.ru](mailto:AMarkushin@kmpo.ru). Область научных интересов: разработка и производство газотурбинных двигателей.

**Бакланов Андрей Владимирович**, аспирант Казанского государственного технического университета. E-mail: [andreybaklanov@bk.ru](mailto:andreybaklanov@bk.ru). Область научных интересов: горение в турбулентном потоке, моделирование, исследование.

**Цыганов Николай Евгеньевич**, инженер-конструктор отдела главного конструктора Казанского моторостроительного производственного объединения. E-mail: [AMarkushin@kmpo.ru](mailto:AMarkushin@kmpo.ru). Область научных интересов: проектирование камер сгорания ГТД.

**Markushin Andrey Nikolaevich**, The main designer of Joint-Stock Company «Kazan motor production association». E-mail: [AMarkushin@kmpo.ru](mailto:AMarkushin@kmpo.ru). Area of research: development and manufacture gas turbine engines.

**Baklanov Andrey Vladimirovich**, The post-graduate student of Kazan State Technical University. E-mail: [andreybaklanov@bk.ru](mailto:andreybaklanov@bk.ru). Area of research: Burning in a turbulent stream, modelling.

**Tsyganov Nikolay Evgenevich**, The engineer-designer of Department of the main designer of Joint-Stock Company «Kazan motor production association». E-mail: [AMarkushin@kmpo.ru](mailto:AMarkushin@kmpo.ru). Area of research: Designing of combustion chambers of GTE.