

и полярности не привели к каким-либо изменениям процесса теплоотдачи к газообразному метану во всем диапазоне режимных параметров по давлению ( $p$ ) и температуре ( $T$ ). А электростатические поля влияют на увеличения коэффициента теплоотдачи ( $\alpha$ ) и на предотвращение негативного процесса осадкообразования. Поэтому дальнейшие исследования по вынужденной конвекции метана были проведены только с электростатическими полями.

На основе полученных результатов исследования разработаны и запатентованы:

- новые методики расчёта тепловых процессов в газообразном метане при его естественной и вынужденной конвекции без влияния электростатических полей;

- новые методики расчёта тепловых процессов в газообразном метане при его естественной и вынужденной конвекции при влиянии электростатических полей;

- новые методики применения электростатических полей в газообразных углеводородных горючих и охладителях;

- новые методики проектирования топливно-охлаждающих систем (рубашек охлаждения и теплообменников, фильтров, кана-

лов, форсунок) без использования и с использованием электростатических полей.

Во всех перечисленных методиках учитывались особенности влияния электростатических полей (и электрического ветра) на теплоотдачу и осадкообразование:

- с учётом обнаруженных зон насыщения;

- с учётом режима включения электростатических полей в работу (в постоянном режиме, в импульсном режиме, без смены и со сменой полярностей на рабочих соосных иглах);

- с учётом размеров и конфигурации рабочих участков (электродов);

- с учётом расстояния между рабочими соосными иглами и подаваемого высоковольтного напряжения на отдающую иглу;

- с учётом давления и скорости прокачки газообразного метана.

Применение результатов исследований позволит проектировать, создавать и эксплуатировать двигатели и энергоустановки наземного, воздушного, аэрокосмического и космического базирования повышенных характеристик по ресурсу, надёжности, эффективности и экологичности.

УДК 621.45.022.5 + 004.942

## **ВЫБОР УГЛА УСТАНОВКИ ЛОПАТОК ЗАВИХРИТЕЛЯ И ДИАМЕТРА ОТВЕРСТИЙ СМЕШЕНИЯ ЖАРОВОЙ ТРУБЫ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ НА ОСНОВАНИИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ**

©2018 Н.И. Гураков, И.А. Зубрилин, О.В. Коломзаров, С.Г. Матвеев

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

### **SELECTION OF THE SWIRLER'S ANGLE AND DIAMETER OF DILUTION HOLES OF THE COMBUSTION CHAMBER BASED OF NUMERICAL MODELING OF COMBUSTION PROCESSES**

Gurakov N.I., Zubrilin I.A., Kolomzarov O.V., Matveev S.G. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

*One of the most important tasks at the design stage of the combustion chamber is to determine its environmental characteristics. There are several methods for determining the degree of influence of factors on the characteristics of combustion chamber, one of which is the three-dimensional modeling of processes in the combustion chamber. The factors are divided into constructive and regime ones. In this paper, the influence of structural design parameters of the front device and the flame tube on the characteristics of the combustion chamber is considered. The studies were carried out on a three-dimensional model of the combustion chamber of the gas turbine power plant; methane gas was used as the fuel. To study the effect of the geometry of the axial swirler on the pollutant emission, two variants of the swirler's angle are chosen:  $\psi = 55^\circ$  and  $\psi = 45^\circ$ . In order to take into account the effect of the amount of air drawn into the combustion zone, geometric models are constructed with a different diameter of the dilution holes in the range from 0 to 7 mm. As a result, the recommended parameters of the front device elements are determined: 1) the recommended swirler's angle  $\beta = 55^\circ$ ; 2) the recommended range of dilution holes of the liner is  $d = 3 \dots 4$  mm. The results obtained in this paper are based on a series of calculations of combustion processes in a three-dimensional stationary formulation.*

Особое внимание в течение последних нескольких десятков лет уделено вопросу о снижении эмиссии вредных веществ, таких как оксиды азота (NOx) и монооксида углерода (CO), производимых газотурбинными двигателями и энергетическими установками на их основе при сжигании углеводородных топлив.

Снижение образования оксидов азота достигается за счёт интенсификации процессов смешения и уменьшения времени пребывания газов в области высоких температур. Для организации такого режима горения используют метод сжигания бедных предварительно перемешанных смесей. Одним из недостатков данного метода является тот факт, что вследствие неполного сгорания топлива в сильно обеднённых топливовоздушных смесях образуется монооксид углерода. Следовательно, необходимо организовать оптимальный режим горения для удовлетворения требований по эмиссии вредных веществ.

Факторы, влияющие на эмиссию CO и NOx можно разделить на режимные (температура на входе, давление, состав смеси и др.) и конструктивные (параметры фронтального устройства и жаровой трубы). Поскольку режимные параметры обычно обозначены в техническом задании заказчика, организация необходимых условий для снижения уровня эмиссии вредных веществ сводится к

поиску конструкции параметров камеры сгорания, которые обеспечат требуемый уровень эмиссии.

Целью данной работы являлось получение зависимостей эмиссии вредных веществ, полноты сгорания топлива, неравномерности температурного поля и границы бедного срыва пламени от конструктивных параметров фронтального устройства и жаровой трубы камеры сгорания.

Для исследования влияния параметров фронтального устройства рассмотрено две конфигурации осевого лопаточного завихрителя: с углом установки лопаток  $\beta_1=55^\circ$  и  $\beta_2=45^\circ$ . Для исследования влияния конфигурации жаровой трубы, построено несколько геометрических моделей с различным диаметром отверстий смешения жаровой трубы, в результате чего относительная площадь фронта камеры сгорания изменялась в диапазоне . Для данного исследования режимные параметры камеры сгорания не изменялись:  $T_k=423K$ ;  $\Delta P_k=3\%$ ;  $\alpha=1,85$ ; в качестве топлива использовался метан.

В работе описаны результаты, основанные на расчётах процессов горения в модели индивидуальной камеры сгорания (рис. 1) в трёхмерной стационарной постановке в программном пакете Ansys Fluent 18.2.

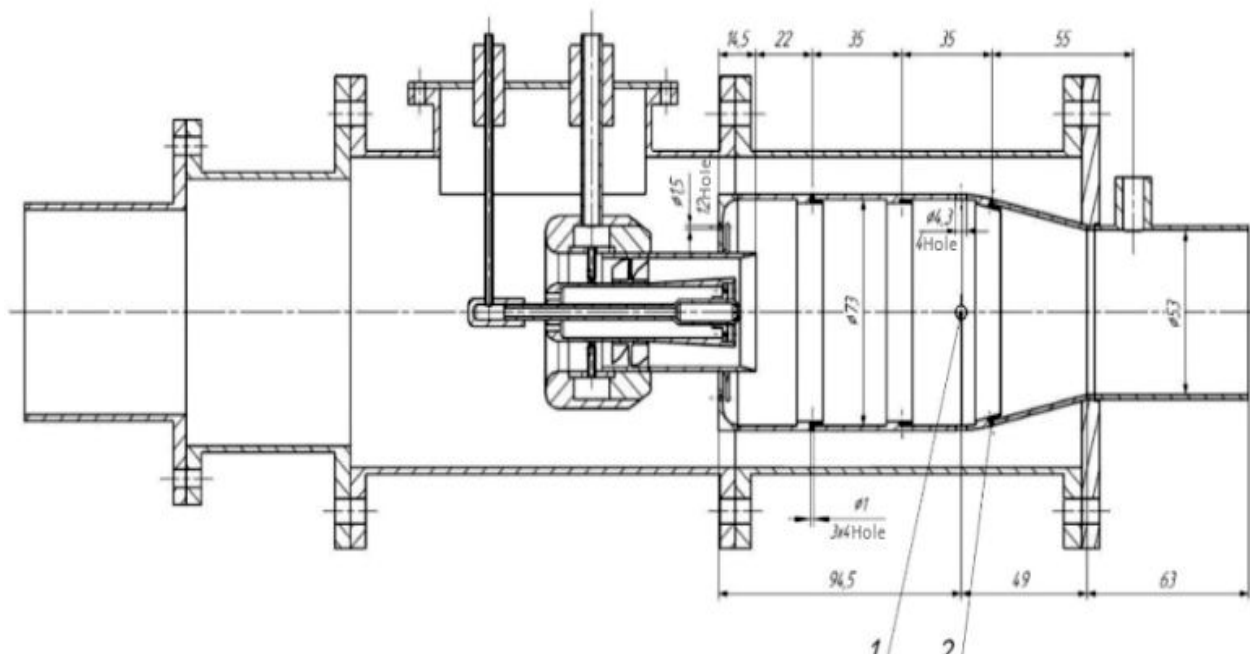


Рис. 1. Схема индивидуальной камеры сгорания:  
1- отверстия смешения, 2 - третий пояс отверстий охлаждения

Для описания процессов горения использована модель горения Flamelet Generated Manifold. Данная модель в сочетании с моделью вероятностной функции плотности (PDF) позволяет оценить количество выбросов оксидов азота.

Для моделирования эмиссии CO была использована реакторная модель Reactor Network. Данная модель разбивает расчётную область на заданное количество реакторов таких как реактор идеального смешения (PSR), реактор идеального вытеснения (PFR), турбулизатор (MIX) и другие [5]. В данной работе использован только тип реакторов идеального смешения, количество ре-

акторов, на которое была разбита расчётная область – 300.

В результате работы получено, что в завихрителе с углом установки лопаток  $\beta=45^\circ$  индексы эмиссии NOx и CO во всех случаях выше по сравнению с завихрителем, угол установки лопаток которого  $\beta=55^\circ$  (рис. 2), вследствие интенсификации процессов смешения при большом угле установки лопаток завихрителя. Ещё одно следствие завихрителя с большим углом установки лопаток – уменьшение неравномерности температурного поля на выходе из камеры сгорания.

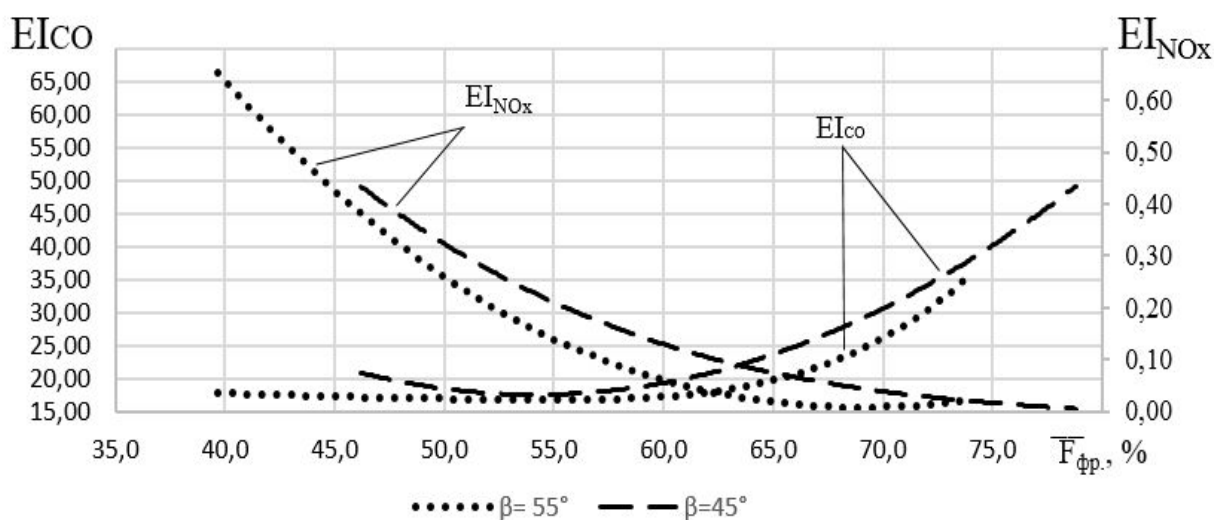


Рис. 2. Индексы эмиссии оксидов азота и монооксида углерода в зависимости от величины относительной площади фронта

Также установлено, что с увеличением диаметра отверстий смешения жаровой трубы уменьшается коэффициент избытка воздуха в первичной зоне, вследствие чего увеличивается температура горения, что приводит к увеличению эмиссии NOx. При этом, поскольку увеличение температуры горения в первичной зоне приводит к увеличению полноты сгорания топлива эмиссия CO снижается. Установлено, что для удовлетворения требований по эмиссии как по NOx, так и по CO, необходимо чтобы величина относительной площади фронта для данной камеры

сгорания находилась в диапазоне 60-70%. Самые низкие значения неравномерности температурного поля на выходе из камеры сгорания так же были получены при величине относительной площади фронта 60-70%.

Данная работа была поддержана Министерством образования и науки Российской Федерации в рамках реализации Программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно - технологического комплекса России на 2014-2020 годы» (RFMEFI58716X00033).