

## РАСЧЕТ АВТОКОЛЕБАНИЙ ГАЗА В МАЛОЭМИССИОННЫХ КАМЕРАХ СГОРАНИЯ ГТУ, РАБОТАЮЩИХ НА ГАЗООБРАЗНОМ ТОПЛИВЕ

М.В. Дробыш<sup>1</sup>, А.Н. Дубовицкий<sup>1</sup>, А.Б. Лебедев<sup>1</sup>, Д.С. Тарасов<sup>2</sup>,  
Н.И. Фокин<sup>2</sup>, В.И. Фурлетов<sup>1</sup>, К.Я. Якубовский<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФАУ Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова, г. Москва

<sup>2</sup>АО «Силовые машины», г. Санкт-Петербург

*Ключевые слова:* газотурбинная установка, камера сгорания, автоколебания газа, пульсации тепловыделения, вычислительная газовая динамика.

Разработан экономичный метод расчета самовозбуждения колебаний газа для исследования термоакустической устойчивости рабочего процесса в выносных малоэмиссионных камерах сгорания (КС) типа ГТЭ 65.1, работающих на газообразном топливе. Метод основан на решении нестационарных уравнений Навье-Стокса, осредненных по Фавру, с использованием подхода SAS и модели турбулентности SST  $k-\omega$  в сочетании с моделью турбулентного горения FGM. Для моделирования автоколебаний газа во входящем в модель горения модифицированном уравнении для переменной степени завершенности реакции в источник член этого уравнения введен множитель, связанный с колебаниями давления газа через параметр взаимодействия  $n$ . Специальные граничные условия – неотражения акустических волн, распространяющихся из камеры сгорания, – заданы перед фронтом КС в ее кольцевом канале подвода воздуха и в канале на выходе из КС после загромождения, имитирующего сопловой аппарат турбины.

На заданном режиме работы ГТЭ склонность КС к возбуждению отдельных мод колебаний газа оценивается по минимальным значениям параметров взаимодействия  $n$ , которые необходимо задать для их возбуждения, или по логарифмическим декрементам затухания колебаний газа, которые определяются после обнуления параметров  $n$ , вызвавших появление колебаний. В данной работе выбран второй подход, менее затратный по времени счета. Чем меньше оказывается значение логарифмического декремента, тем более опасной считается анализируемая мода колебаний.

Расчеты проведены для периодического  $90^\circ$  сектора КС ГТЭ 65.1 на сетке с 21 млн. ячеек с использованием пакета программ FLUENT.

На максимальном режиме работы ГТЭ в КС с отдельной подачей воздуха и топлива прежде всего при минимальном значении  $n$ , соответствующем чувствительности скорости химической реакции к колебаниям давления и температуры газа в звуковой волне, возбудилась первая продольная мода колебаний с частотой 300 Гц. Наиболее вероятной причиной ее появления являются колебания состава смеси на входе в КС.

С увеличением  $n$  преимущественное развитие получили радиальные колебания с частотой 2700 Гц. Причиной колебаний стали возмущения скорости тепловыделения в зонах неустойчивой стабилизации пламени за двумя телескопическими соединениями на стенке жаровой трубы КС с «бедной» приосевой зоной стабилизации пламени.

Показано, что радиальные колебания газа можно эффективно гасить с помощью небольших резонансных поглотителей, располагаемых на стенке жаровой трубы. Расчет выполнен с одним и с двумя резонансными поглотителями, расположенными по длине КС на участках с максимальными амплитудами колебаний газа. Для полного подавления 1-й радиальной моды колебаний потребовалось установить два резонансных поглотителя; каждый из них подавлял колебания только в своей зоне установки.

По результатам проведенных расчетов наиболее опасной формой неустойчивого горения в КС оказалась первая продольная мода колебаний с частотой 300 Гц. Даны рекомендации по её устранению.

### **Сведения об авторах**

Дробыш Максим Владимирович, начальник сектора. Область научных интересов: Моделирование процессов горения, термодинамика.

Дубовицкий Алексей Николаевич, заместитель начальника отдела промышленных и транспортных ГТУ. Область научных интересов: Камеры сгорания стационарных ГТУ и авиационных ГТД. Экспериментальное исследования и моделирование процессов горения, термодинамика.

Лебедев Александр Борисович, ведущий научный сотрудник отдела неравновесных физико-химические процессов в газовых потоках. Область научных интересов: Турбулентность. Турбулентное диффузионное и гомогенное горение. Теория и численное моделирование.

Тарасов Дмитрий Сергеевич, к.ф.-м.н. начальник отдела камер сгорания. Область научных интересов: Камеры сгорания стационарных ГТУ, моделирование процессов горения, термодинамика, эксплуатация стационарных ГТУ.

Фокин Николай Иванович, Главный конструктор- начальник СКБ ГТУ. Область научных интересов: Проектирование и эксплуатация стационарных газотурбинных установок.

Фурлетов Виктор Иванович, к.т.н., заместитель начальника отдела горения и камер сгорания. Область научных интересов: Камеры сгорания стационарных ГТУ и авиационных ГТД. Экспериментальное исследования и моделирование процессов горения, термодинамика.

Якубовский Константин Яковлевич, научный сотрудник конструкторского бюро РПД. Область научных интересов: Камеры сгорания ГТУ, ГТД и РПД. Экспериментальное исследования и моделирование процессов горения, термодинамика.

### **GAS SELF-OSCILLATIONS CALCULATION IN LOW-EMISSION COMBUSTION CHAMBERS OF GAS TURBINE ENGINES OPERATING WITH GASEOUS FUEL**

M.V. Drobyshev<sup>1</sup>, A.N. Dubovitsky<sup>1</sup>, A.B. Lebedev<sup>1</sup>, D.S. Tarasov<sup>2</sup>, N.I. Fokin<sup>2</sup>,  
V.I. Furletov<sup>1</sup>, K.Ya. Yakubovsky<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>FAU Central Institute of Aviation Motors named after P.I. Baranov, Moscow

<sup>2</sup>JSC "Power machines", St. Petersburg

*Keywords: gas turbine power plant, combustion chamber, gas self-oscillations, heat release pulsations, CFD.*

The efficient method for the gas self-oscillations calculating has been developed to study the thermoacoustic stability in semi-external low-emission combustion chambers (CC) of the GTE 65.1 type operating with gaseous fuel. The method is based on the solution of non-stationary Favre averaged Navier-Stokes equations using the SAS approach and the  $k-\omega$  SST turbulence model in combination with the FGM turbulent combustion model. To simulate gas self-oscillations a multiplier associated with gas pressure fluctuations through the interaction parameter  $n$  is introduced into the source term of the combustion model progress variable modified equation. Special boundary conditions such as non-reflection of acoustic waves propagating from the combustion chamber are set the CC front in its annular air supply channel and in the channel at the CC outlet after an encumbering device simulating the turbine nozzle diaphragm.

According to the calculation results the first longitudinal gas oscillations mode with a frequency of 300 Hz was stated as the most dangerous form of unstable combustion in CC. Recommendations for its suppression are given.