

## **СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

Александров Ю.Б., Мингазов Б.Г., Шарафутдинов Р.Р., Королькова Е.В.  
Казанский национальный исследовательский технический университет  
имени А.Н. Туполева-КАИ (КНИТУ-КАИ), г. Казань, Alexwischen@rambler.ru

*Ключевые слова: камера сгорания, предварительное проектирование, смешение, процесс горения, полнота сгорания, эмиссионные характеристики.*

От эффективности работы камеры сгорания непосредственно зависят: эффективность, надежность и экологические характеристики всего двигателя. На начальном этапе проектирования существует довольно много вариантов компоновки камеры сгорания. В основном применяют известные конструктивные решения и накопленный на протяжении многих лет опыта. Итоговые компоновки доводят до требуемых параметров путем опытно-конструкторских работ на экспериментальном стенде с помощью большого количества численных экспериментов. В настоящее время, эффективным инструментом оптимизации является применение при проектировании камер сгорания численного 3D моделирования. Однако, при параметрическом моделировании проводить детальные 3D расчеты всех множеств вариантов не представляется возможным в виду их трудоемкости и поэтому используют упрощенные математические модели ноль- и одномерного уровня. Такие методики позволяют конструктору практически в диалоговом режиме проследить того или иного изменения конструкции камеры на возможность достижения поставленных целей проектирования. Современные программные комплексы для термодинамического моделирования всего двигателя (GasTurb, ThermoGTE, ГРАД и др.) рассматривают участок камеры сгорания как «черный» ящик», с вводом и выводом данных, при этом не рассматривая изменения процессов, происходящие в самой камере. Это может затруднять понимание происходящих процессов в камере сгорания и усложнить правильное определение характеристик двигателя на различных режимах его работы.

Отсюда можно сделать вывод, что при создании камер сгорания наиболее продуктивным и ускоряющий процесс является комплексное использование методик различного уровня.

На основании работ [1-3] сформирована методика проектирования камер сгорания ГТД. Весь алгоритм работы основывается на последовательно-одномерном методе, в рамках которого вся проточная часть камеры сгорания разделяется на четыре зоны: диффузор, жаровая труба, внешняя и внутренняя полость подвода вторичного воздуха. Каждая из этих зон разделяется на множество участков, для которых рассматриваются параметры на входе и выходе. Для этих участков производится расчет по предложенному алгоритму и таким образом рассчитываются параметры распределенные по длине камеры сгорания. Тем самым достигается детализация происходящих процессов в камере сгорания и оперативность получаемых результатов. На последующем этапе проводится верификация и дополнение полученных данных расчета посредством детального трехмерного расчета.

Сочетание использования различных программ, одно-, двух- и трехмерного проектирования, основывающихся на фундаментальных теориях горения и теплообмена, формирует метод многоуровневого расчета камер сгорания.

Методика реализована в виде компьютерного приложения (свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2016611770), которое можно интегрировать в симулятор и использовать в качестве цифрового двойника камеры сгорания

газотурбинного двигателя. Такой подход позволяет оперативно предсказывать основные параметры работы камеры сгорания на различных режимах в реальном времени или даже с его опережением. Кроме того, модули более детальных расчетов могут быть использованы при проектировании и доводке КС, в то время когда нет необходимости в оперативном получении параметров работы камеры сгорания.

### **Список литературы**

1. Мингазов Б.Г., Александров Ю.Б., Костерин А.В. и Токмовцев Ю.В. Процессы горения и автоматизированное проектирование камер сгорания ГТД и ГТУ: учебное пособие – Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2015. 160 с.

2. Александров Ю.Б., Нгуен Т.Д., Мингазов Б.Г., Сулаиман А.И. Влияние расчетной сетки на результаты численного расчета трехмерного нестационарного закрученного потока за лопаточным завихрителем. Вестник Московского авиационного института. 2020. Т. 27. № 1. С. 122-132.

3. Александров Ю.Б., Нгуен Т.Д., Мингазов Б.Г. Проектирование и доводка камер сгорания газотурбинных двигателей на основе расчётов различного уровня сложности. Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2021. Т. 20. № 3. С. 7-23.

### **Сведения об авторе**

Александров Юрий Борисович, к.х.н, доцент кафедры «Реактивные двигатели и энергетические установки» КНИТУ - КАИ им. А.Н. Туполева. Область научных интересов: численные расчеты, газодинамика, процессы смешения и горения в камерах сгорания ГТД.

Мингазов Билал Галавтдинович, д.т.н, профессор кафедры «Реактивные двигатели и энергетические установки» КНИТУ - КАИ им. А.Н. Туполева. Область научных интересов: газодинамика, процессы смешения и горения в камерах сгорания ГТД, стабилизационные характеристики.

Шарафутдинов Рамис Равилевич - студент кафедры «Реактивные двигатели и энергетические установки» КНИТУ — КАИ им. А.Н. Туполева. Область научных интересов: диффузоры камер сгорания ГТД.

Королькова Екатерина Владимировна – студентка кафедры «Реактивные двигатели и энергетические установки» КНИТУ — КАИ им. А.Н. Туполева. Область научных интересов: смешение потоков, фронтные устройства камер сгорания ГТД.

## **SYSTEM FOR SIMULATION OF THE OPERATION OF THE COMBUSTION CHAMBER OF A GAS TURBINE ENGINE**

Aleksandrov Yu.B., Mingazov B.G., Sharafutdinov R.R., Korolkova E.V.  
Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI,  
Kazan, Russia, Alexwischen@rambler.ru

*Keywords: combustion chamber, preliminary design, mixing, combustion process, combustion efficiency, emission characteristics.*

The paper proposes a method for the multidimensional design of combustion chambers for gas turbine engines. This technique allows you to quickly carry out the finishing work for the combustion chambers.