

МЕТОДОЛОГИЯ МНОГОУРОВНЕВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КАМЕР СГОРАНИЯ

Александров Ю.Б., Нгуен Т.Д., Мингазов Б.Г.

Казанский национальный исследовательский технический университет
имени А.Н. Туполева-КАИ (КНИТУ-КАИ), 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 опыт. 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, ввиду их трудоемкости, и поэтому используют упрощенные математические модели ноль- и одномерного уровня. Такие методики позволяют конструктору практически в диалоговом режиме проследить то или иное изменение конструкции камеры, оценивая 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 ускоряющим процесс является комплексное использование методик различного уровня.

На основании работ [1-3] сформирована методика проектирования камер сгорания ГТД. Она включает в себя ряд последовательных расчетов. Основными этапами поверочного расчета являются:

1. Определение динамики процесса смешения в жаровой трубе на основе рассмотрения взаимодействия струй первичного и вторичного воздуха.
2. Определение изменения гидравлических потерь по тракту камеры сгорания.
3. Определение полнотных характеристик на основе теории турбулентного горения.
4. Расчёт эмиссионных показателей камеры сгорания.

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 квазидвумерного расчета посредством детального трехмерного расчета.

Сочетание использования различных программ, одно-, двух- и трехмерного проектирования, основывающихся на фундаментальных теориях горения и теплообмена, формирует метод многоуровневого проектирования камер сгорания. Схематично, на рис. 1 показано взаимодействие при проведении расчетов по предложенной методике.

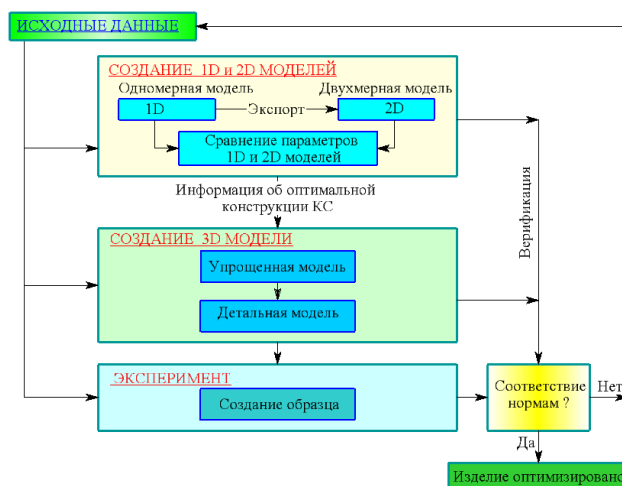


Рис. 1 – Схематичное представление многоуровневого подхода при проектировании и доводке КС

Методика расчета тестировалась для различных современных камер сгорания. Для примера, на рис. 2 показано сопоставление расчетного алгоритма с данными эксперимента и детальными трехмерными расчетами камеры сгорания двигателя ПС-90А. Геометрические и режимные характеристики этого двигателя были взяты из [4].

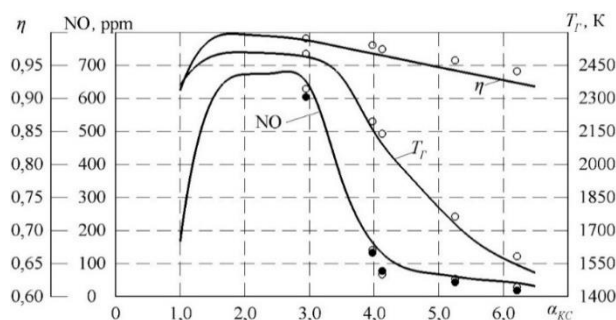


Рис. 2 – Расчетные и экспериментальные сопоставление по режимам работы камеры сгорания: ● – эксперимент [5]; ○ – численный трехмерный расчет; — – расчет по разработанному алгоритму

Анализ результатов указывает на достаточно хорошее соответствие численных данных с экспериментальными. Полученные подходы и методы позволяют предсказывать основные закономерности работы камеры сгорания и могут быть использованы при проектировании и доводке КС. При этом значительно повышается оперативность работ при использовании упрощенных алгоритмов работы и достигается детализация получаемых результатов на окончательном этапе при применении трехмерного алгоритма работы.

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 Сулаиман А.И., Мингазов Б.Г., Александров Ю.Б., Нгуен Т.Д. Смешение поперечных струй с газовым потоком. Всероссийская научно-техническая конференция молодых ученых и специалистов «Авиационные двигатели и силовые установки». Москва, ЦИАМ. 2019. С. 127–128.

4 Иноземцев, А.А. Авиационный двигателей ПС–90А / А.А. Иноземцев, Е.А. Коняев, В.В. Медведев, А.В. Нерадько, А.Е. Ряссов. М.: Либра-К. 2007. 320 с.

5 Куценко, Ю.Г. Численные методы оценки эмиссионных характеристик камер сгорания газотурбинных двигателей / Ю.Г. Куценко. Екатеринбург–Пермь: УрО РАН. 2006. 140 с.

Сведения об авторах

Александров Юрий Борисович, канд. хим. наук, доцент кафедры реактивных двигателей и энергетических установок КНИТУ–КАИ им. А.Н. Туполева. Область научных интересов: численные расчеты, газодинамика, процессы смешения и горения в камерах сгорания ГТД.

Нгуен Тхэ Дат, аспирант кафедры «Реактивные двигатели и энергетические установки» КНИТУ–КАИ им. А.Н. Туполева. Область научных интересов: процессы смешения и горения в камерах сгорания ГТД, эмиссионные характеристики.

Мингазов Биалал Галавдинович, д-р техн. наук, 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.

METHODOLOGY OF MULTI-LEVEL DESIGN OF COMBUSTION CHAMBERS

Aleksandrov Yu.B., Nguyen T.D., Mingazov B.G.

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.