

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ РАСЧЕТ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ПО ОДНО- И ТРЕХМЕРНОЙ ПОСТАНОВКЕ С РАЗНЫМИ МОДЕЛЯМИ ГОРЕНИЯ

Александров Ю.Б., Alexwischen@rambler.ru

Нгуен Т.Д., Nguyenthedat1609@gmail.com

Мингазов Б.Г., BGMingazov@kai.ru

Казанский национальный исследовательский технический университет
имени А.Н. Туполева-КАИ» (КНИТУ-КАИ), Казань,

Ключевые слова: камера сгорания, процесс горения, модели горения.

Работа посвящена сравнительному трехмерному численному анализу термогазодинамических и эмиссионных параметров работы камеры сгорания (КС) перспективного авиационного двигателя, работающего на жидком топливе и сопоставление с данными, полученными по упрощенной одномерной модели.

Описание и математическое моделирование процессов, происходящих в камере сгорания ГТД в виду его разнообразия и взаимного влияния отдельных процессов друг на друга, представляется сложной задачей. Для решения этой задачи используют статистические подходы описания турбулентного течения и горения, реализуемые на основе численного расчета.

Объектом исследования являлась камера сгорания авиационного двигателя, работающая на жидком топливе. Для реализации сопоставительного анализа моделей горения были выбраны: основанная на распаде турбулентного вихря Eddy Dissipation (ED); модель химии с конечной скоростью Finite-Rate (FR); комбинированная Finite-Rate/ Eddy Dissipation (FR-ED); модель ламинарных микропламён для неперемешанной смеси (flamelet), где в качестве набора химических реакций для окисления керосина использовался химический механизм Jet-A (17 компонентов смеси и 28 химических реакций) [1, 2].

Нужно отметить, что все модели горения имеют зависимость от используемой моделей турбулентной вязкости. В расчетах была применена модель вязкости k-ε RNG [3], которая обеспечивает высокую точность расчетов для течений с закруткой потока [4, 5].

Для определения граничных параметров КС был проведен термогазодинамический расчет по методике описанной в [6], а для расчета геометрических размеров камеры сгорания был использован подход изложенный в [7]. По итогам этих расчетов был определен облик камеры сгорания, посчитанный в программе одномерного расчета [8], основные принципы и

алгоритмы такого расчета изложены в [7]. Результаты были сопоставлены с трехмерным расчетом 2/48 сектора камеры сгорания, выполненным в соответствии с обликом КС в одномерном расчете. Двухсекторная геометрическая модель КС была выбрана в соответствии с полученными результатами в работе [9], где показано, что погрешности гидравлических, газодинамических и термических параметров моделирования при таком подходе не превышают 0,2 %. По границам сектора использованы условия периодичности, на входе задавался массовый расход и температура воздуха за компрессором, на выходе контролировалось постоянство статического давления.

Для расчета горения жидкого топлива было выбрано газофазное приближение (стационарное) в виду того, что в современных камерах сгорания с высокими давлениями за компрессором преобладают высокие температуры воздуха на входе в КС, которые практически мгновенно испаряют жидкое топливо. Это упрощение позволяет сильно сэкономить на времени, по сравнению с нестационарным, который учитывает распыл и испарения жидкого топлива. К тому же стационарный расчет по данным работы [10] имеет наилучшее соответствие с экспериментальными результатами замеров температур.

Были проанализированы среднеинтегральные параметры по длине жаровой трубы КС. Эмиссионные характеристики не рассматривались, это является отдельной темой для анализа и сопоставления. Решение поставленной задачи проводилось средствами программного продукта ANSYS-Fluent.

Результаты расчетов показали завышенные температуры для моделей горения основанные на распаде турбулентного вихря. Расхождения между трехмерными моделями с разными моделями горения по среднemasсовой температуре на выходе из КС составляло не более 4%, а рассогласование с расчетом одномерного расчета для Jet-A –4,4%; ED – 3,0%; FR-ED – 7,0%; FR – 8,5%.

Для моделей горения ED наблюдалось горение внутри горелочного устройства, чуть меньше этот эффект проявлялся при использовании и механизма Jet-A. В моделях FR и FR-ED такое горение не проявлялось.

Для различных моделей горения наблюдалось сходство по гидравлическим сопротивлениям (расхождения среди разных моделей горения не более 3,5 %) и коэффициенту восстановления полного давления (расхождения не более 1%).

Довольно хорошее сходство полученных результатов по одномерной модели, позволяет порекомендовать ее в качестве быстрого предварительного метода для анализа и оптимизации конструкции камеры сгорания по основным параметрам ее работы. Трехмерные расчеты позволяют получить более детальные проработки на окончательном этапе работ, однако трудоемкие и затратные по времени.

Список литературы

1. Варнатц Ю. Горение. Физические и химические аспекты, моделирование, эксперименты, образование загрязняющих веществ / Ю. Варнатц, У. Маас, Р. Диббл; пер. с англ. Г.Л. Агафонова под ред. П.А. Власова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 352 с.
2. Molnar M., Marek C. Reduced Equations for Calculating the Combustion Rates of Jet-A and Methane Fuel. NASA/TM–2003-212702
3. Orszag, S. A. Renormalization Group Modeling and Turbulence Simulations / S. A. Orszag, V. Yakhot, W. S. Flannery, F. Boysan, D. Choudhury, J. Maruzewski, and B. Patel., In International Conference on Near-Wall Turbulent Flows, Tempe, Arizona. 1993.
4. Куценко Ю.Г. Численные методы оценки эмиссионных характеристик камер сгорания газотурбинных двигателей. Екатеринбург-Пермь: УрО РАН, 2006. 140 с.
5. Сабирзянов А.Н., Явкин В.Б., Александров Ю.Б., Маркушин А.Н., Бакланов А.В. Моделирование эмиссионных характеристик камер сгорания ГТД // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева, 2014. С.62-70.
6. Булавкин А.А., Рогожин Б.А. Выбор параметров, термогазодинамический расчет и расчет ВСХ ТРД, ДТРД и ТВД: Учебное пособие. - Казань: КАИ, 1985. - 67с.
7. Мингазов Б.Г. Камеры сгорания газотурбинных двигателей. Теория, конструкция, испытание и расчет: Учебное пособие. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2015. 197с.
8. Александров Ю.Б., Мингазов Б.Г., Токмовцев Ю.В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2016611770 Программа одно- и двух- мерного расчета и оптимизации камер сгорания газотурбинных двигателей (Combustion chamber 1D-2D), заявка № 2015662645, поступл. 22.12.2015, регистр. 10.02.2016., г. Москва.
9. Александров Ю.Б., Сабирзянов А.Н., Явкин В.Б. Влияние упрощения геометрической модели камеры сгорания ГТД на результаты численного моделирования // Известия вузов Авиационная техника, 2017. - №4 – С. 90-96.
10. Сабирзянов А.Н., Тихонов О.А., Александров Ю.Б., Явкин В.Б., Малышев Ф.А. Математическая модель рабочего процесса камеры сгорания малоразмерного ГТД с вращающейся форсункой. Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли: Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием, 8-10 августа 2018 г.: Материалы конференции. Материалы докладов. Казань: Том 1. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2018. С. 192–196