

## МЕТОДИКА КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ МНОГОУРОВНЕВОЙ МОДЕЛИ

Остапюк Я.А.

Самарский университет, г. Самара, [ostapyuk.tdla@ssau.ru](mailto:ostapyuk.tdla@ssau.ru)

*Ключевые слова: параметры цикла, рабочий процесс, КПД, компрессор, турбина, эффективность, моделирование, термогазодинамический расчёт, анализ.*

Использование традиционных методик проектирования связано с рядом проблем, которые с каждым годом вызывают все большие сложности. С одной стороны, многовариантность решения задач проектирования приводит к необходимости выполнения комплексного анализа и оценки эффективности газотурбинных двигателей (ГТД) по многим критериям, однако невозможность анализа достаточно большого числа вариантов проектных решений приводит к неоптимальным решениям в проектировании. С другой стороны, наблюдается ужесточение допускаемых отклонений от проекта по основным показателям с 15...10% до ~3% [1].

При проектировании новых двигателей «с чистого листа» дополнительно возникают трудности, связанные с неопределенностью исходных данных, принципиальным ограничением по точности определения количественных параметров, отсутствием точных характеристик узлов и систем двигателя, а также с их параллельным проектированием.

Таким образом, необходимость повышения технического уровня сложных технических систем, какими являются авиационные ГТД, и существенного сокращения сроков их создания при одновременном ужесточении требований к ним, привели к активному использованию автоматизированных средств математического моделирования, сначала на стадии проектирования двигателя, а затем и на этапах испытаний и доводки.

Разработанная методика отличается тем, что для последовательного решения разных проектных задач этапа концептуального проектирования газотурбинных двигателей применяются не только традиционные нольмерные термодинамические модели, но и одно-, двухмерные термогазодинамические модели лопаточных машин (ЛМ). Методика концептуального проектирования газотурбинных двигателей на основе многоуровневой модели включает в себя три этапа.

На первом этапе формируются нольмерные модели ГТД различных типов  $T_i$  и схем  $S_j$  в системе летательного аппарата. Затем проводится оптимизация и выбор параметров рабочего процесса ГТД по комплексу критериев эффективности системы более высокого уровня – ЛА. После этого выбирается наилучший вариант проекта из рассчитанных на этом этапе. Метод выбора наилучшего варианта зависит от количества критериев эффективности летательного аппарата, используемых при оптимизации.

На втором этапе, используя полученные результаты, выполняют проектный расчет лопаточных машин. Результаты данного расчета позволяют сформировать одномерные модели лопаточных машин (модели расчета ЛМ по среднему радиусу), которые интегрируются с используемой ранее нольмерной моделью двигателя. Далее, имея в первом приближении геометрические параметры лопаточных венцов, проводят оптимизацию этих параметров, где в качестве целевой функции выступают показатели эффективности двигателя, в результате чего уточняются параметры рабочего процесса двигателя и показатели эффективности летательного аппарата и формируется конструктивно-геометрический облик турбокомпрессора. После того, как определены геометрические параметры ЛМ, проводится расчет их характеристик, которые могут быть использованы в соответствующих нольмерных моделях узлов, взамен обобщенных характеристик. На последнем шаге данного этапа рассчитываются эксплуатационные характеристики и выбираются законы и программа управления двигателем.

На последнем этапе формируются двухмерные модели лопаточных машин, которые интегрируются с используемой ранее моделью двигателя. Проводится расчет модели, в результате чего уточняются параметры рабочего процесса двигателя и показатели эффективности летательного аппарата, а также уточняется конструктивно-геометрический облик турбокомпрессора за счет проверки выполнения большего количества ограничений.

Отличительной особенностью применяемых одномерных моделей является возможность их использования для задач синтеза (по заданным показателям эффективности узла определяются его геометрические параметры); для задач анализа (по заданной геометрии лопаточных машин определяются показатели их эффективности) и для идентификации по результатам экспериментальных данных. Данные модели обеспечивают адекватные результаты применительно и к узлам полноразмерных ГТД, и к узлам малоразмерных двигателей. Одномерные и одномерные модели узлов ГТД были реализованы в САЕ-системе АСТРА [2], разработанной в Самарском университете.

Разработанная методика позволяет решить ряд проблем:

1) уровень неопределенности исходных данных снижается за счет перехода от прогнозируемых на основе статистики величин исходных проектных данных к расчетным при последовательном решении проектных задач;

2) узлы двигателя проектируются не изолированно, а в системе двигателя, что позволяет уменьшить количество итераций при согласовании параметров этих узлов;

3) применение одномерных и двухмерных моделей лопаточных машин на этапе концептуального проектирования, с одной стороны, позволит сократить затраты времени и вычислительных ресурсов при проведении CFD-расчетов на этапе эскизного проектирования, а с другой – позволит рассмотреть большее количество вариантов проекта за счет использования менее ресурсоемких моделей;

4) объем информации по двигателю на ранних этапах проектирования возрастает, что позволяет принимать более обоснованные проектные решения.

### **Список литературы**

1. Научный вклад в создание авиационных двигателей. В 2 кн. Кн. 1 / под общ. ред. В.А. Скибина и В.И. Солонина. М.: Машиностроение, 2000. 725 с.

2. Ткаченко А.Ю., Филинов Е.П., Остапюк Я.А. Оптимизация параметров газотурбинного двигателя на этапе концептуального проектирования // Вестник УГАТУ. 2018. Т. 22, № 2 (80). С. 64-72.

### **Сведения об авторе**

Остапюк Ярослав Анатольевич, старший преподаватель каф. ТДЛА им. В.П. Лукачева. Область научных интересов: рабочие процессы газотурбинных двигателей; автоматизированные средства концептуального проектирования газотурбинных двигателей.

## **THE METHOD OF GAS TURBINE ENGINES CONCEPTUAL DESIGNING BASED ON A MULTI-LEVEL MODEL**

Ostapuyuk Ya.A.

Samara National Research University, Samara, Russia, ostapuyuk.tdla@ssau.ru

*Keywords: cycle parameters, cycle, efficiency, compressor, turbine, model, thermogasdynamic calculation, analysis.*

In this paper, a method of conceptual design of gas turbine engines based on a multi-level thermogasdynamic model is proposed. It allows to reduce the uncertainty of the source data, as well as reduce the design time while ensuring high quality and competitiveness of the project.