

НАПРАВЛЕНИЕ
«РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС ГАЗОТУРБИНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ» /
«TURBOMACHINERY AND GAS TURBINE PERFORMANCE»

ПОДНАПРАВЛЕНИЕ
«МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ГАЗОТУРБИНЫХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК» /
«MATHEMATICAL MODELING AND SIMULATION OF GAS
TURBINE POWER PLANTS»

УДК 621.45.01:004.942

МЕТОДИКА КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ГАЗОТУРБИНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ МНОГОУРОВНЕВОЙ МОДЕЛИ

Остапюк Я.А.

Самарский университет, г. Самара, ostapyuk.tdla@ssau.ru

Ключевые слова: газотурбинный двигатель, концептуальное проектирование, термогазодинамическое проектирование, многоуровневая модель, нольмерная модель, одномерная модель, методика проектирования, алгоритм проектирования.

Одной из важнейших задач при создании авиационного газотурбинного двигателя (ГТД) является повышение эффективности процесса его проектирования, которое заключается в сокращении сроков проектирования при обеспечении высокого качества и конкурентоспособности проекта. Влияние неопределенности исходных данных на основные показатели двигателя в совокупности с ужесточением допускаемых отклонений этих показателей от проекта требует максимально возможного перехода от прогнозируемых на основе статистики величин исходных проектных данных к расчетным при последовательном решении проектных задач. Применение математических моделей разного уровня сложности и размерности позволит снизить уровень неопределенности исходных данных по мере развития проекта и тем самым сократить сроки поиска эффективных проектных решений.

Для этого необходима математическая модель, непрерывно развивающаяся на протяжении всего жизненного цикла. Исходя из этих условий в работах ЦИАМ, ПНИПУ, NASA и др. была предложена идея многоуровневого моделирования. Многоуровневая модель ГТД представляет из себя совокупность моделей всех элементов и систем двигателя, используемых на различных этапах жизненного цикла.

Для типового набора проектных задач были определены наиболее целесообразные структуры применяемых моделей. На основании этого типового набора проектных задач была разработана методика концептуального проектирования газотурбинных двигателей на основе многоуровневой модели. Алгоритм методики состоит из трех блоков, каждый из которых соответствует своей модели: поузловая нольмерная модель двигателя, поузловая нольмерная модель двигателя с одномерными моделями лопаточных машин, то же с добавлением двухмерных моделей лопаточных машин.

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 – летательного аппарата.

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. Если рассматривался один критерий, то сравнивая показатели эффективности, можно выбрать оптимальный проект ГТД. При двух и более критериях эффективности используются процедуры принятия решений на основе выбора принципа оптимальности (минимакс, свертка критериев в одну целевую функцию), экспертных оценок, таких как таблица взвешенных обоснований или матрица решений, метод ранжирования, метод попарного сравнения и другие. Таким образом по окончании первого

этапа становится известна информация по типу и схеме ГТД, параметрам рабочего процесса двигателя и показателям эффективности летательного аппарата. Кроме того, используемая нольмерная модель принимает свой окончательный вид, в которой в дальнейшем лишь будут уточняться характеристики лопаточных машин (ЛМ).

На втором этапе, используя полученные результаты, формируются одномерные модели лопаточных машин и интегрируются с используемой ранее нольмерной моделью двигателя. Поскольку задать в первом приближении геометрические параметры лопаточных машин с детализацией по венцам без предварительных расчетов крайне сложно, то на следующем шаге проводится расчет геометрии ЛМ под эффективность (КПД), заданную при расчете по нольмерной модели. Далее, имея в первом приближении геометрические параметры лопаточных венцов, проводится оптимизация этих параметров, где в качестве целевой функции выступают показатели эффективности двигателя, в результате чего уточняются параметры рабочего процесса двигателя и показатели эффективности летательного аппарата, формируется конструктивно-геометрический облик турбокомпрессора, а также получается окончательная 0D+1D модель. После того, как определены геометрические параметры ЛМ, проводится расчет их характеристик, которые передаются в соответствующие нольмерные модели взамен обобщенных характеристик. На последнем шаге данного этапа рассчитываются эксплуатационные характеристики и выбираются законы и программа управления двигателем.

На последнем этапе формируются двумерные модели лопаточных машин, которые интегрируются с используемой ранее моделью двигателя. Проводится расчет по 0D+1D+2D модели, в результате чего уточняются параметры рабочего процесса двигателя и показатели эффективности летательного аппарата, уточняется конструктивно-геометрический облик турбокомпрессора. На последнем шаге концептуального проектирования уточняются характеристики лопаточных машин, которые затем передаются в соответствующие элементы нольмерной модели.

В данном примере было продемонстрировано использование одномерных и двумерных моделей только лопаточных машин для упрощения, однако в общем случае таким образом могут быть использованы модели любых узлов, например, камеры сгорания.

Работа выполнена по проекту FSSS-2022-0019, реализуемого в рамках федерального проекта «Развитие человеческого капитала в интересах регионов, отраслей и сектора исследований и разработок», результат «Созданы новые лаборатории, в том числе под руководством молодых перспективных исследователей».

Сведения об авторе

Остапюк Ярослав Анатольевич, старший преподаватель кафедры теории двигателей летательных аппаратов имени В.П. Лукачева. Область научных интересов: теория газотурбинных двигателей, испытания газотурбинных двигателей.

GAS TURBINE ENGINES CONCEPTUAL DESIGN APPROACH BASED ON A MULTILEVEL MODEL

Ostapyuk Ya.A.

Samara University, Samara, Russia, ostapyuk.tdla@ssau.ru

Keywords: gas turbine engine, conceptual design, thermogasdynamic design, multilevel model, zero-dimensional model, one-dimensional model, design approach, design algorithm.

The development of the design process of gas turbine engines has been the use of multilevel models. Taking into account the requirements for the multi-level model and the design process allowed us to determine the most appropriate structures of the model used for a typical set of design tasks. Based on this, a gas turbine engines conceptual design approach of using a multilevel model was developed.

The use of this approach makes it possible to shorten the calculation time by reducing the uncertainty level of the initial data and reducing the number of iterations between calculations due to the fact that the units are optimized in the engine system.