

МЕТОДИКА ИДЕНТИФИКАЦИИ МОДЕЛИ ГТД

Авдеев С.В.

Самарский университет, г. Самара, avdeevsergeyvik@gmail.com

Ключевые слова: идентификация, ГТД, математическая модель, аппроксимация.

При решении задачи идентификации модели ГТД характеристики узлов, зачастую, описываются линейными, либо полиномиальными функциями в окрестности заданного режима. А математическая модель идентифицируется последовательно для каждого отдельного режима работы ГТД. Однако подобная методика не использует для идентификации всю совокупность доступных экспериментальных данных. В связи с этим является перспективным использование методик идентификации с учётом многорежимности. Это, в свою очередь, определяет необходимость разработки соответствующих способов аппроксимации характеристик узлов ГТД.

Для удовлетворения требованиям, которые возникают при решении задач идентификации модели ГТД, было предложено два способа аппроксимации характеристик компрессоров, которые можно использовать и для аппроксимации характеристик турбин.

Первый способ состоит в последовательной аппроксимации изолиний КПД кривыми по уравнению, заданному в полярной системе координат. Уравнение аппроксимации задаётся в полярной системе координат:

$$\rho(\eta_k^*) = \frac{a^2}{\sqrt{1+b^2 \cdot \sin^2(\varphi)}} \cdot (1-c) \cdot \sin(\varphi),$$

где a , b , и c – коэффициенты аппроксимации; φ – полярный угол; $\rho(\eta_k^*)$ – радиальная координата.

Аппроксимация проводится путём подбора 6-ти статистических коэффициентов. Помимо коэффициентов a , b , и c (коэффициенты в полярной системе координат) требуется подбор координат центра эллипса, а также угол его поворота (коэффициенты перехода из полярной системы координат в Декартову). Данный метод имеет существенные недостатки, которые делают неудобным его применение в САЕ-системах: возможность взаимного пересечения аппроксимированных изолиний КПД, сложность в интерполяции значений.

Во втором способе предлагается аппроксимировать изолинии КПД характеристик компрессоров эллипсами. Аппроксимация при этом проводится для одной исходной изолинии КПД, а последующие определяются на её основе с помощью корректирующих коэффициентов (расширения, смещения центра исходного эллипса, а также соотношения малых полуосей эллипсов). Данное уравнение аппроксимации включает зависимость от КПД, что позволяет проводить аппроксимацию не дискретно (каждой отдельной изолинии), а всей характеристики в целом. Функция аппроксимации в полярной системе координат имеет следующий вид:

$$\rho(\bar{n}_{\text{пр}}) = \frac{d^2}{\sqrt{1+h^2 \cdot \sin^2(\varphi)}} \cdot (k_1 \cdot \bar{n}_{\text{пр}}^2 + k_2 \cdot \bar{n}_{\text{пр}} + k_3),$$

где d и h – параметры эллипса, k_1 , k_2 , k_3 – коэффициенты полинома, а $\bar{n}_{\text{пр}}$ – относительная частота вращения ротора компрессора.

Таким образом, второй способ позволяет избежать недостатков, присущих предыдущему.

Аппроксимация напорных веток характеристик компрессоров проводилась также в полярной системе координат. Это позволило избавиться от необходимости выбирать очень малый шаг при аппроксимации полиномами по расходу воздуха через компрессор на режимах, близких к запариванию, а на высоких режимах – во всём диапазоне значений [2].

Среднеквадратичное отклонение полученных аппроксимаций изолиний КПД для обоих методов составило менее 10%, что говорит о приемлемом качестве аппроксимаций. Для напорных веток среднеквадратичное отклонение составило менее 3%.

Ввиду того, что способ аппроксимации №2 является наиболее подходящим для реализации в САЕ-системах, его алгоритм был выполнен в САЕ-системе «АСТРА». Затем в данной САЕ-системе создана математическая модель газотурбинного двигателя, учитывающая влияние режимного фактора с помощью аппроксимаций его характеристик. На основе полученной математической модели проведена апробация методики многорежимной идентификации, которая заключается в подборе коэффициентов аппроксимирующих функций модели ГТД. Соответствующие коэффициенты модели подбирались, исходя из условия минимизации невязок расчётных значений признаков состояния относительно их экспериментальных значений для всей совокупности режимов.

Список литературы

1. Кофман В.М. Методология и опыт параметрической идентификации математических моделей газотурбинных двигателей и их узлов по результатам испытаний. Уфа: УГАТУ, 2014. 182 с.

2. Григорьев В.А., Калабухов Д.С., Радько В.М. Применение методов теории искусственных нейронных сетей при обобщении и представлении характеристик осевых компрессоров авиационных ГТД // Вестник СГАУ. 2012. №3, ч. 3. С. 67-75.

Сведения об авторе

Авдеев Сергей Викторович, аспирант кафедры теории двигателей летательных аппаратов им. В.П. Лукачева. Дипл. инж.-констр. (Самарский университет, 2019). Готовит дис. о методике многорежимной идентификации модели ГТД.

IDENTIFICATION TECHNIQUE OF GTE MODEL

Avdeev S.V.

Samara National Research University, Samara, Russia, avdeevsergeyvik@gmail.com

Keywords: engines, gas turbine, modeling, analytical methods.

Disclosed is a method of identifying a model of a gas turbine engine using multi-mode. To this end, methods were used to approximate the maps of compressors and turbines using equations in the polar coordinate system. The developed method was tested in the CAE-system «ASTRA».