

УДК 621.45

МЕТОДИКА МНОГОРЕЖИМНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ МОДЕЛИ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

© Авдеев С.В., Ткаченко А.Ю.

*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

e-mail: avdeevsergeyvik@gmail.com

Основной проблемой идентификации является недостаток экспериментальных данных, что связано с трудностью препарирования двигателя. Зачастую идентификация не учитывает режимный фактор и проводится для какого-либо конкретного режима. Характеристики узлов при этом описываются линейными либо полиномиальными функциями в окрестности заданного режима, что может стать причиной неточности при идентификации модели [1]. В связи с этим перспективным с точки зрения увеличения количества известной информации о работе двигателя без использования дополнительного препарирования является использование методик идентификации с учетом 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.

Первый способ состоит в последовательной аппроксимации изолиний КПД кривыми по уравнению, заданному в полярной системе координат. Уравнение аппроксимации получено на основе усовершенствованного уравнения эллипса:

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

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

Аппроксимация проводится путем 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 ее 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. Аппроксимирующая функция для данного способа задается в полярной системе координат в следующем виде:

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

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 запиранию, а на высоких режимах – во всем 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 %.

Так как 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 расчетных значений признаков состояния относительно их экспериментальных значений для всей совокупности режимов.

Библиографический список

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.