

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ АВИАЦИОННЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ГТД

Лисовин И.Г., Грибков И.Н., Бармин А.Л., Гвозденко С.В.  
АО «ОДК-Авиадвигатель», г. Пермь, [barmin-al@avid.ru](mailto:barmin-al@avid.ru)

*Ключевые слова:* математическая модель, газотурбинный двигатель, напорные характеристики.

Математическое моделирование газотурбинных двигателей выполняется для оценки выбора проектных решений. Моделирование позволяет уменьшить количество и обеспечить безопасность проводимых испытаний.

Математическое моделирование газотурбинных двигателей основано на следующих принципах построения модели:

- система уравнений должна наиболее полно отражать физические процессы, протекающие в двигателе на переходных и установившихся режимах;
- математическая модель двигателя должна позволять удобное подключение дополнительных модулей.

Математическая модель газотурбинного двигателя представляет систему нелинейных дифференциальных уравнений в обыкновенных производных с переменными коэффициентами и нелинейных алгебраических уравнений.

Математические модели используются для расчета характеристик двигателя на режимах запуска, приемистости и сброса.

В связи с увеличением количества проектируемых газотурбинных установок возрастает количество разрабатываемых математических моделей. В основе модели газотурбинного двигателя лежат напорные характеристики узлов, а именно, компрессора, камеры сгорания, турбины. Поскольку имеющиеся расчетно-экспериментальные характеристики основных узлов имеют отклонения от расчетных режимов требуется их уточнение, для этого используется методика идентификации.

Идентификация математических моделей газотурбинных двигателей выполняется следующим образом:

1. Вводятся коэффициенты, за счет которых будет производиться уточнение.
2. Для каждой «ветки» напорной характеристики в математическую модель двигателя добавляется следующая система уравнений:

$$A(1:j, i) = A(j, i) * K(1) \quad (1)$$

$$A(j + 1:2j, i) = A(j, i) * K(2) \quad (2)$$

$$A(2j + 1:3j, i) = A(j, i) * K(3), \quad (3)$$

где уравнение (1) содержит параметр степени сжатия компрессора, уравнение (2) содержит расход воздуха через компрессор, уравнение (3) содержит параметры КПД компрессора.

3. Проводится перебор коэффициентов  $K$  для уточнения результатов моделирования.

4. В результате проведения идентификации получаем новую напорную характеристику.

Данный процесс идентификации математических моделей занимает достаточно продолжительное время (3-5 рабочих дней), поскольку проводится вручную путем «подбора» коэффициентов для уточнения характеристик. Из-за большого количества математических моделей и необходимости сокращения времени уточнения характеристик, методика идентификации была автоматизирована.

Методика «оперативной» идентификации основана на автоматической оценке параметров ГТД.

Работа инструмента, оценивающего параметры, происходит следующим образом:

- на первом этапе выполняется оценка параметров и начального состояния модели в сравнении с результатами измерений;

– на втором этапе инструмент увеличивает точность модели так, чтобы модель отразила измеренное поведение объекта моделирования.

Процесс идентификации состоит из следующих этапов:

- выбираются режимы, по которым математическая модель будет идентифицирована;
- в качестве входных параметров выбираются значения  $T_{вх}$ ,  $P_{вх}$  и  $G_T$  соответствующие конкретному режиму из технических условий или испытаний;
- в качестве параметров на выходе выбираются значения  $G_{квд0}$ ,  $T_T$ ,  $P_K$ ,  $n_{вд пр}$ ;
- выбираем расчетные параметры, с помощью которых будет выполняться уточнение характеристик. В данном случае таким параметром является вектор  $K$ ;
- результатом выполнения идентификации является новый вектор  $K$ .

Напорная характеристика до и после проведения идентификации представлена на рис. 1.

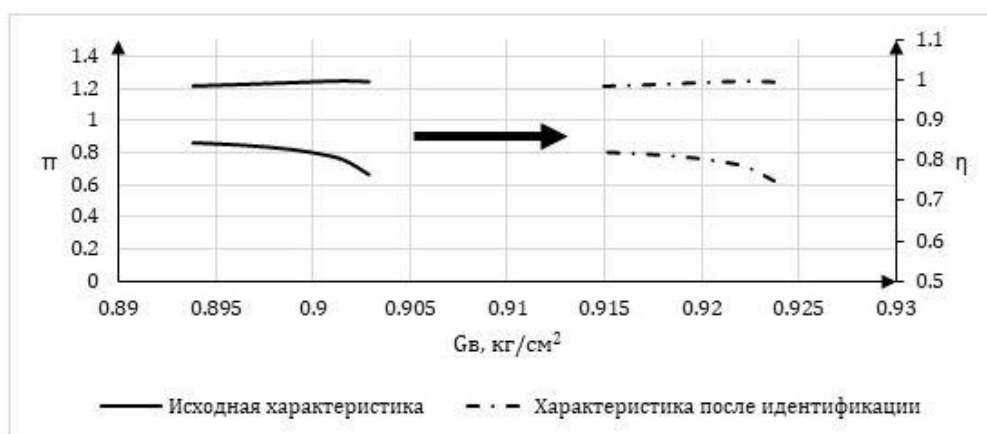


Рисунок 1 – Исходная характеристика и характеристика после идентификации

Технология «оперативной» идентификации позволяет уточнять математическую модель в темпе испытаний.

### Сведения об авторах

Лисовин И.Г., кандидат технических наук, начальник отделения систем автоматического управления.

Грибков И.Н., начальник отдела расчетно-экспериментальных работ и проектирования САУ.

Бармин А.Л., инженер-конструктор-расчетчик отдела расчетно-экспериментальных работ и проектирования САУ.

Гвозденко С.В., начальник бригады расчетно-экспериментальных работ и математического моделирования.

## IDENTIFICATION OF MATHEMATICAL MODELS AIRCRAFT AND INDUSTRIAL GTE

Lisovin I.G., Gribkov I.N., Barmin A.L., Gvozdenko S.V.  
UEC-Aviadvigatel, Perm, Russia, [barmin-al@avid.ru](mailto:barmin-al@avid.ru)

*Keywords: mathematical model, gas turbine engine, general characteristics.*

Mathematical simulation of gas turbine engine is performed to evaluate the choice of design solutions. A simulation allows you to reduce the number and ensure the safety of the tests.

Due to the large number of mathematical models and the need to reduce the time to refine the characteristics, the identification was automated.