

## ОПЫТ ОКБ ИМ. А. ЛЮЛЬКИ ПО ВЕРИФИКАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ГТД ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕРИМЕНТА

Вовк М.Ю., Даничев А.В.

ПАО «ОДК-УМПО» филиал ОКБ им. А. Люльки, г. Москва, mihail.vovk@okb.umpro.ru

*Ключевые слова:* термогазодинамический расчёт, математическая модель, верификация, эксперимент.

Несмотря на бурное развитие цифровых технологий в части трёхмерных методов расчёта деталей и узлов газотурбинных двигателей, термогазодинамический расчёт (ТГДР) ещё долго будет являться одним из основных способов получения информации о параметрах газоздушного тракта авиационных газотурбинных двигателей (АГТД). Преимущество термогазодинамического расчёта в простой одномерной постановке заключается в высокой скорости проведения расчетов, а также точности определения интегральных параметров АГТД таких как тяга, расход топлива, расход воздуха, частота вращения роторов, температуры рабочего тела и т.д. [1].

Развитие вычислительной техники и расчётных технологий открывает широкие возможности использования ТГДР в управлении двигателем, диагностике технического состояния, предсказания величины остаточного ресурса двигателя. Поэтому особое место при проектировании двигателя занимают вопросы формирования математических моделей способных с максимальной точностью (с заданной степенью адекватности) описывать термодинамические процессы в ГТД. Разработка таких ММ является итерационным процессом, который продолжается на всех этапах жизненного цикла (ЖЦ) ГТД. Математическая модель разрабатываемого ГТД должна быть адекватной, где под понятием «адекватность ММ» подразумевается степень соответствия результатов расчётов по математической модели задачам, решаемым данной моделью.

Обеспечение адекватности расчётов ГТД, реализуется за счёт применения основных фундаментальных уравнений газовой динамики и достоверности характеристик узлов и элементов двигателя [2, 3].

Приведена классификация математических моделей на каждом этапе жизненного цикла ГТД и показано, что не каждая ММ подходит для идентификации по результатам эксперимента, это требует предварительной подготовки прогнозной математической модели.

В докладе рассматриваются шаги и этапы, необходимые для получения качественной ММ ГТД, позволяющей с высокой точностью предсказывать поведение термогазодинамических параметров двигателя. С целью проведения качественной идентификации выполняются следующие шаги:

- 1) подготовка прогнозной ММ;
- 2) установка измерительных приборов по тракту двигателя;
- 3) снятие дроссельной характеристики в широком диапазоне частот вращения;
- 4) первичная (графическая) обработка результатов измерений;
- 5) ввод данных в программный комплекс ThermoGTE;
- 6) поиск корректирующих множителей на характеристики узлов;
- 7) поверочный расчёт дроссельной характеристики и сравнение с результатами эксперимента.

Процесс верификации математических моделей максимально автоматизирован, для чего в отделе перспективных разработок ОКБ им. А. Люльки проводится работа по разработке специализированного программного обеспечения. К такому обеспечению относится программный комплекс UniSKAD – универсальная система хранения и анализа результатов эксперимента и вспомогательное Windows приложение для автоматизированной записи и форматирования исходных данных в файл программы ThermoGTE.

Таким образом, разработанная и многократно апробированная технология идентификации математических моделей по результатам эксперимента составляет не более 1,5-2 рабочих дней после проведения эксперимента.

### **Список литературы**

1. Кулагин В.В. Теория, расчёт и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок: учебник. 2-е изд., исправленное. Совместная работа узлов выполненного двигателя и его характеристики. Кн. 2. М.: Машиностроение, 2003. 616 с., ил.
2. Котовский В.Н., Вовк М.Ю. Математическое моделирование рабочего процесса и характеристик ГТД прямой реакции. М.: Перо, 2018. 309 с, ил.
3. Лещенко И.А. Роль термодинамического моделирования авиационных газотурбинных двигателей в решении задач повышения их эффективности. URL: <http://thermogte.ru/>, дата обращения 15.04.2023 г.

### **Сведения об авторах**

Вовк М.Ю., кандидат технических наук, заместитель главного конструктора по НТЗ. Область научных интересов: математическое моделирование, расчет ВСХ, верификации ММ.  
Даничев А.В., аспирант МАИ, ведущий конструктор отдела перспективных разработок. Область научных интересов: математическое моделирование, расчет ВСХ, верификации ММ.

## **EXPERIENCE OF A. LYULKA DESIGN BUREAU ON THE VERIFICATION OF MATHEMATICAL MODELS OF GAS-TURBINE ENGINES BASED ON THE RESULTS OF EXPERIMENT**

Vovk M.Yu., Danichev A.V.

A. Lyulka design bureau, subsidiary of PJSC “UEC-UMPO”, Moscow, mihail.vovk@okb.umpo.ru

*Keywords: thermogasdynamic computation, mathematical model, verification, experiment.*

The paper considers issues of verifying the mathematical models of gas-turbine engines based on the results of experimental data at the stage of the engine parametric refinement. It gives the classification of mathematical models at each stage of the gas-turbine engine life cycle and demonstrates that not every mathematical model is appropriate for identification based on the results of experiment. It considers the algorithm of actions that enables to obtain a high-quality thermogasdynamic mathematical model of a gas-turbine engine.