

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВСЕРЕЖИМНОЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТРДД ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СОЗДАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО РЕГИОНАЛЬНОГО САМОЛЕТА

Лещенко И.А.¹, Буров М.Н., Чудаков Ю.С.

ПАО «ОДК-Сатурн», г. Рыбинск Ярославской области, ¹igor.leschenko@uec-saturn.ru

Ключевые слова: пусковые режимы двухконтурного двигателя, авторотация, характеристика компрессора, совместная работа узлов двигателя.

Математические модели играют важную роль в процессе создания, доводки и совершенствования авиационных силовых установок с газотурбинными двигателями. Несмотря на бурное развитие трехмерных численных методов, поэлементные нелинейные математические модели (ММ), также называемые термодинамическими, занимают довольно большую нишу и остаются безальтернативным инструментом для решения широкого круга практических задач. Незаменимость таких моделей обусловлена их высоким быстродействием при приемлемом уровне точности. Работа поэлементной нелинейной ММ основана на численном решении системы нелинейных алгебраических уравнений (СНАУ), в которой независимые переменные описывают положения рабочих точек на характеристиках элементов, а правые части определяются алгоритмически исходя из физических условий совместной работы элементов двигателя.

Термодинамическая ММ ТРДД, разработка которого ведется в ПАО «ОДК-Сатурн», реализована на платформе программного комплекса (ПК) ThermoGTE [1]. Отличительной чертой указанного ПК является то, что полное описание собственно ММ, всех шаблонов расчетных заданий и всех актуальных результатов расчетов, полученных с ее помощью, хранится в одном файле специального формата, имеющего расширение «emt». Эта особенность позволяет обеспечить технически простую процедуру передачи ММ двигателя от одного специалиста другому, состоящую в пересылке единственного файла, открываемого программой ThermoGTE. Таким образом, ММ, разработанная ответственным специалистом на двигателестроительном предприятии, в неизменном виде передается другим пользователям. Это могут быть как другие конструкторские отделы (КО) предприятия-разработчика двигателя, так и другие организации, связанные с разработкой, использованием или эксплуатацией создаваемого двигателя.

Режим использования ММ разными пользователями может существенно различаться. В этой связи важным условием пригодности единой ММ к использованию является ее всережимность, или, иными словами, способность вести расчет во всей области возможных режимов полета и работы двигателя. В данной работе акцент по части всережимности делается на возможность расчета пусковых и авторотационных режимов. Одной из первых публикаций, посвященных разработке подходов к термодинамическому расчету таких режимов, является [2]. В отечественных публикациях, например, в [3], предложен метод преобразования характеристик компрессоров и турбин для их использования в составе поэлементной ММ, а также продемонстрированы результаты расчета пусковых и авторотационных режимов одновального ТРД. В настоящей работе область применения подходов из [3] расширена на двухвальный ТРДД со смешением потоков.

Основная идея подхода из [3] состоит в том, что вместо КПД компрессоров и турбин используется крутящий момент, приведенный к давлению на входе в элемент – $M_{кр\ np}$. Для основной области режимов работы элемента величина $M_{кр\ np}$ однозначно определяется по значениям критериальных параметров, описывающих характеристику в традиционной форме – формулы (1) и (2). Для области пусковых режимов характеристика $M_{кр\ np}$ экстраполируется.

$$M_{кр\ npКомпр} = \frac{L_K}{T_B^*} \cdot \frac{G_{B\ np}}{n_{np}} \cdot 2751.63 \quad (1)$$

$$M_{кр\ npТурб} = \frac{L_T}{T_\Gamma^*} \cdot \frac{G_Z}{n} \cdot 9.8666 \quad (2)$$

На рис. 1 показаны рабочая линия вентилятора, а также зависимость приведенной частоты вращения ротора низкого давления от числа М полета на режиме авторотации. Зависимости получены с использованием термодинамической ММ и характеристик компрессоров и турбин в форме приведенного крутящего момента.

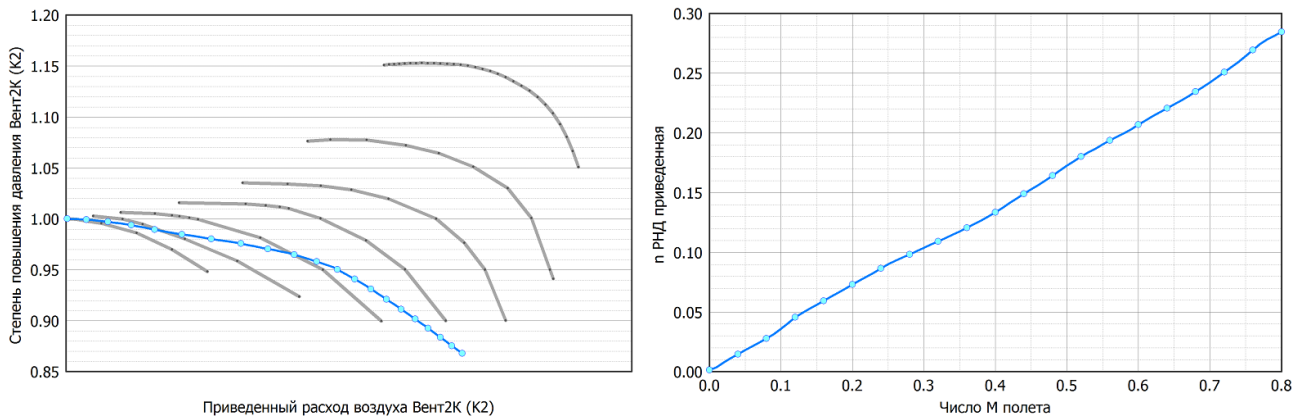


Рисунок 1 – Пример расчета скоростной характеристики на режиме авторотации

Список литературы

1. Web-ресурс www.thermogte.ru, дата обращения 25.04.2023 г.
2. Pavlos K Zachos. Gas Turbine Sub-idle Performance Modelling; Altitude Relight and Windmilling. Ph. D. Thesis. UK, Cranfield University School of Engineering, 2010.
3. Лещенко И.А., Вовк М.Ю., Буров М.Н. Метод расчета пусковых и авторотационных режимов в поэлементных нелинейных квазиодномерных математических моделях газотурбинных двигателей // Журнал «Полет». 2022. № 7. С. 36-44. ISSN 1684-1301.

Сведения об авторах

Лещенко Игорь Алексеевич, д.т.н., с.н.с., начальник бригады термодинамики. Разработка математических моделей и оптимизация сложных технических систем.

Буров Максим Николаевич, к.т.н., Главный конструктор по перспективным разработкам. Проектирование авиационных, наземных и морских ГТД.

Чудаков Юрий Сергеевич. Начальник конструкторской бригады. Термодинамическое проектирование газотурбинных двигателей.

THE EXPERIENCE OF DEVELOPMENT AND APPLICATION OF ALL-MODES THERMODYNAMIC MATHEMATICAL MODEL OF TURBOFAN ENGINE AIMED AT EFFICIENCY INCREASING OF ACCOMPLISHING A TASK OF CREATING THE ENGINE FOR DOMESTIC REGIONAL JET

Leshchenko I.A.¹, Burov M.N., Chudakov Yu.S.

PSC "UEC-Saturn", Rybinsk, Yaroslavl' Region, ¹igor.leschenko@uec-saturn.ru

Keywords: sub-idle modes of turbofan engine, windmill, compressor performance map, joint work of engine elements.