

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ThermoGTE ДЛЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

д.т.н. Лещенко И.А.

ООО «Инженерный центр численных исследований», г. Санкт-Петербург
igor.leshchenko@yandex.ru

Работа по созданию газотурбинного двигателя (ГТД) неразрывно связана с проведением большого объема термодинамических расчетов. При этом термодинамический анализ в квазиодномерной постановке остается весьма востребованным и безальтернативным благодаря оперативности получения результатов и достаточного для практических нужд уровня их точности.

Своевременность и качество выполнения термодинамических расчетов базируется не только на уровне подготовки и опыта инженера-исследователя, но и на возможности быстро подготовить математическую модель к работе и оперативно оценивать полученные результаты. Поэтому роль графического интерфейса в программах термодинамического расчета становится все более важной, наряду с устойчивыми математическими алгоритмами и встроенными системами контроля корректности исходных данных.

В настоящей работе представлен программный комплекс ThermoGTE [1], предназначенный для решения широкого круга задач, связанных с термодинамическим расчетом газотурбинных двигателей различных схем. Основной задачей при создании данного программного комплекса (ПК) было существенно (в разы) повысить эффективность работы специалиста по термодинамическим расчетам. Программа базируется на значительном опыте ВВИА им. проф. Н.Е.Жуковского в области разработки математических моделей авиационных ГТД [2], а также на глубоком анализе требований, которые следует предъявлять к программным продуктам для работы в ОКБ. ПК ThermoGTE является существенным развитием программы Uni_MM, созданной в ОКБ им. А.Люльки [3]. Главным отличием от «предшественника» является предоставление пользователю возможности самостоятельного формирования схемы двигателя для расчета.

В основе «математики» ПК лежит известный и широко применяемый подход к термодинамическому расчету ГТД [4, 5], в котором задача получения одной точки сводится к решению системы нелинейных алгебраических уравнений. Независимые переменные указанной системы описывают положения рабочих точек на характеристиках элементов, а правые части определяются алгоритмически исходя из физических условий совместной работы элементов двигателя. Задаваемые в табличном виде характеристики элементов интерполируются. Для решения

системы уравнений используется модифицированная процедура Ньютона в комбинации с симплекс-методом, которая обладает весьма высокой скоростью сходимости и устойчивостью работы. Существенной особенностью ПК является расчет по единой методике термодинамических процессов на установившихся и неустановившихся режимах работы двигателя.

В настоящее время ПК ThermoGTE нашел свое широкое применение для решения таких задач, как:

- формирование термодинамического облика нового двигателя (параметрический анализ схемы, формирование программ управления, анализ эксплуатационных характеристик);
- идентификация математической модели по результатам эксперимента (уточнение характеристик элементов в составе двигателя, уточнение программ управления);
- стендовая отладка двигателя (разработка программ испытаний, синтез формул пересчета);
- отработка систем автоматического управления двигателем (формирование программ управления по углу установки РУД, оптимизация динамических процессов);
- передача математической модели двигателя заказчику, в т.ч. интеграция модели в программный комплекс расчета летательного аппарата;
- подготовка кадров для ОКБ (установка ПК в учебном классе, расчет дипломных работ).

Имеется успешный опыт проведения комплексных исследований по перспективному направлению разработки авиационных ГТД сложных схем – трехконтурному двигателю [6].

ПК реализует концепцию «Приложение + документ», в соответствии которой математическая модель конкретного двигателя представляет собой совокупность собственно программы ThermoGTE (приложения, работающего под управлением ОС Windows), и всех данных (отражающих свойства элементов двигателя, настройки заданий на расчет, все результаты расчета, опции ввода-вывода и т.д.). Эта особенность дает возможность использования ММ разными структурными подразделениями предприятия при обеспечении единства результатов, а также передачи ММ заказчику.

Среди особенностей программы Uni_MM следует выделить многочисленные опции обмена данными через буфер обмена и операции экспорта / импорта. Такие возможности позволяют легко и быстро оперировать с различными типами объектов данных, снижая временные затраты на подготовку к расчетам и риски

внесения ошибок. К указанным объектам данных относятся характеристики элементов двигателя, программы управления по замкнутым и разомкнутым контурам, задачи и задания на расчет, графики, атрибуты линий и маркеров для рисования графиков, списки параметров для вывода результатов (перечень параметров и формат вывода), и многое другое.

Нужной для работы особенностью является возможность ввода списка поправок на характеристики элементов для каждого задания на расчет. Это позволяет быстро и просто получить результат расчета для различных отклонений в характеристиках элементов (например, смоделировать ситуацию ухудшения КПД лопаточной машины, либо изменения потерь давления в канале), а также отборов воздуха из проточной части и мощности от роторов.

Представленный ПК подтвердил свою эффективность в нескольких отечественных двигателестроительных и самолетостроительных ОКБ. Созданный специально для снижения сроков решения конкретных задач, он успешно применяется на практике и повышает производительность труда инженеров-конструкторов.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Интернет-ресурс www.thermogte.ru
2. Егоров И.Н., Кретинин Г.В., Лещенко И.А. Особенности математического моделирования авиационных ГТД. Учебное пособие. М., ВВИА им. проф. Н.Е.Жуковского, 1998.
3. Марчуков Е.Ю., Лещенко И.А., Вовк М.Ю., Инюкин А.А. Опыт использования программы UNI_MM для выполнения термодинамических расчетов турбореактивных двухконтурных двигателей. Воронеж: Научно-технический журнал «Насосы. Турбины. Системы», ISSN 2226-177X, №2 (15) 2015, с. 45-53.
4. Дружинин Л.Н., Швец Л.И. Система программ для определения параметров и характеристик турбореактивных двигателей. Технический отчет, ЦИАМ, 1979.
5. Тунаков А.П. Универсальный программный комплекс для доводки сложных машиностроительных изделий. М., Изв. вузов. Авиационная техника. - 1995. - № 1.- С. 96-100.
6. Шмотин Ю.Н., Кикоть Н.В., Кретинин Г.В., Лещенко И.А., Федечкин К.С. Исследование термодинамической эффективности силовой установки многорежимного самолета с независимо управляемым третьим контуром. Воронеж: Научно-технический журнал «Насосы. Турбины. Системы», ISSN 2226-177X, №2 (19) 2016, с. 40-48.