

## КОМПЛЕКС ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ СОПРОВОЖДЕНИЯ РАЗРАБОТКИ ГТД

Марчуков Е.Ю., Вовк М.Ю., Лещенко И.А., Горшков А.Ю., Даничев А.В.  
ОКБ им. А. Льюльки, г. Москва, danichev@mail.ru

*Ключевые слова: идентификация, математическая модель, Thermo GTE.*

Разработка и доводка авиационных двигателей на текущем этапе развития невозможна без многофункциональных программных продуктов, поэтому ОКБ им. А. Льюльки в своей работе активно применяет современный программный комплекс (ПК) Thermo GTE, предназначенный для термогазодинамических расчетов ГТД.

Термодинамический анализ является неотъемлемой частью на любом этапе жизненного цикла газотурбинного двигателя, который можно разделить на следующие основные этапы:

1. выбор основных параметров двигателя, прогноз его возможностей и характеристик;
2. изготовление двигателя, его испытание в целях параметрической и прочностной доводки;
3. опытная и серийная эксплуатация газотурбинного двигателя.

Расчётная поддержка проектирования и эксплуатации ГТД на каждом из приведенных этапов в ОКБ им. А. Льюльки проводится с использованием ПК Thermo GTE.

Многофункциональность программного комплекса обеспечивает эффективность работы подразделений ОКБ им. А. Льюльки для решения всех задач на этапе закладки и доводки нового двигателя:

- выбор и оптимизация основных параметров двигателя, определение параметров рабочего тела в сечениях двигателя;
- расчёт высотно-скоростных характеристик двигателя;
- расчёт дроссельных характеристик двигателя;
- оценка изменения параметров двигателя при изменении характеристик узлов и элементов двигателя;
- разработка программ управления двигателем;
- верификация математической модели двигателя по результатам экспериментов.

Последовательная работа специалистов ОКБ им. А. Льюльки над функционалом ПК Thermo GTE обеспечивает решение важной задачи функционирования цифрового двойника ГТД: определение основных параметров двигателя при изменении или отклонении геометрических показателей деталей двигателя и, как следствие, изменение характеристик узлов двигателя. Для решения этой задачи отрабатывается интерфейс взаимодействия ПК с пользователем, в частности автоматизируются рутинные операции за счёт использования макросов. Таким образом, характеристики узлов и элементов двигателя, рассчитанные в 3D-постановке при работе цифрового двойника, могут быть использованы для проведения поверочных термогазодинамических расчётов ГТД. Так же программный комплекс применяется в работах заказчика двигателей [1]. Например, ОКБ «Сухого» интегрирует математическую модель ГТД на базе Thermo GTE в свое программное обеспечение.

Кроме расчётного сопровождения НИР и ОКР двигателей традиционных для ОКБ им. А. Льюльки термогазодинамических схем (ТРДФ, ТРДДФсм) проводятся поисковые работы по изучению уникальных термогазодинамических схем, среди которых можно отметить следующие:

- ТРД с рекуперацией тепла выхлопных газов (двигатель АЛ-34);
- комбинированный трёхвальный ТРД для вертолёта с силовой турбиной для привода вентилятора;
- трёхконтурный двигатель с отбором воздуха в третий контур из промежуточной ступени;
- вспомогательная силовая установка ВСУ-117 (ТРД с силовой турбиной с раздельными воздухозаборниками у основного и служебного компрессоров;

- газогенератор с промежуточным корпусом, наружным контуром, с наддувом и подогревом воздуха на входе в газогенератор и отдельными соплами;
- газотурбинная установка с силовой турбиной типа АЛ-31СТ.

В настоящий момент в библиотеке ПК Thermo GTE находится более 20 схем двигателей.

Эксплуатация ПК в ОКБ подтвердила повышение качества и скорости выполнения типовых расчётных задач. Так, к примеру, расчёт полного объема ВСХ двигателя ТРДДФсм, включающий в себя такие работы как разработка программ управления, расчёт ВСХ и дроссельных характеристик, а также оформление отчётногo документа квалифицированным специалистом выполняется в срок, не превышающий одного месяца. Значительно повышена скорость обработки результатов экспериментальных данных. Эта процедура имеет следующую цепочку: эксперимент – передача данных в отдел – ввод данных в ПК Thermo GTE – расчётный анализ в ПК – выпуск отчётногo документа. По опыту работы среднее время экспресс-анализа результатов эксперимента при любом количестве измеренных точек с момента получения данных с испытательной станции занимает не более 4 дней.

Проведение большого разнообразия термодинамических расчётов происходит в интуитивно понятном интерфейсе, благодаря чему молодой инженер может быстро освоить программный комплекс и научиться решать поставленные задачи. Применение программного комплекса Thermo GTE позволяет существенно оптимизировать время на термодинамические расчёты в конструкторском бюро. Результат внедрения данного комплекса отражается на ускорении создания отчётных документов, ускорении параметрической доводки и сокращении времени на разработку двигателя, что прямо влияет на сокращение денежных расходов, но самое главное – является удобным инструментом для работы инженера и отличной учебной партой для студента.

### Список литературы

1. Единая система расчётов ВРД: Термогазодинамические расчёты ГТД. URL: [http://thermogte.ru/news/edinaja\\_sistema\\_raschjotov\\_vrd/2020-02-25-41](http://thermogte.ru/news/edinaja_sistema_raschjotov_vrd/2020-02-25-41). (Дата обращения: 15.06.2020)

### Сведения об авторах

Марчуков Евгений Ювенальевич, генеральный директор ОКБ им. А. Ляулки. Область научных интересов: развитие газотурбинных двигателей.

Вовк Михаил Юрьевич, канд. техн. наук, зам. главного конструктора по НТЗ. Область научных интересов: доводка и оптимизация газотурбинных двигателей.

Лещенко Игорь Алексеевич, д-р техн. наук, главный специалист отдела САУ. Область научных интересов: термодинамический расчёт газотурбинных двигателей.

Горшков Алексей Юрьевич, инженер-конструктор отдела перспективных разработок. Область научных интересов: термодинамический расчёт газотурбинных двигателей.

Даничев Александр Владимирович, инженер-конструктор отдела перспективных разработок. Область научных интересов: идентификация математических моделей ГТД.

## THE COMPLEX OF THERMODYNAMIC ANALYSIS TO SUPPORT THE DEVELOPMENT OF A GTE

Marchukov E.Y., Vovk M.Y., Leschenko I.A., Gorshkov A.Y., Danichev A.V.  
Design bureau A. Lulka, Moscow, danichev@mail.ru

*Keywords: identification, mathematic model, gas turbine engine, ThermoGTE.*

The development and fine-tuning of aircraft engines at the current stage of development is impossible without multifunctional software products, therefore, the ОКБ им. А. Lyulki in his work actively uses the modern software package (PC) ThermoGTE, designed for thermogasdynamic calculations of gas turbine engines.