

## **ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ПРИМЕНЕНИЯ ЧИСЛЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ СОЗДАНИИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ГТД**

**А.Н. Мухин, М.Ю. Вовк**

*ПАО «ОДК-УМПО», филиал ОКБ им. А.Люльки, Москва,  
mihail.vovk@odk.umpo.ru*

Без применения численных исследований невозможно представить современного проектирования газотурбинной техники. Рост производительности вычислительной техники и совершенствование численных методов расчёта расширяет круг задач, решаемых при разработке новых двигателей. Помимо традиционных требований к перспективным двигателям – повышение тяги, снижение удельного расхода топлива и массы, предъявляются такие требования как отбор мощности от двигателя для выработки электрической энергии до 500 кВт, снижение заметности двигателя в радиолокационном и инфракрасном диапазоне, повышение газодинамической устойчивости компрессоров, высотности силовой установки и времени работы на крейсерских и максимальных режимах работы.

Очевидно, что использование численных исследований позволяет провести широкий анализ работоспособности разрабатываемых узлов ещё до стадии изготовления и испытания опытных образцов. Идеальным результатом использования численных исследований можно считать получение заданных характеристик технической системы на первом же изготовленном, собранном и испытанном экземпляре. Это является залогом сокращения ресурсоёмкого этапа жизненного цикла технической системы – параметрической и прочностной доводки двигателя.

В докладе представляются некоторые аспекты направления работ ОКБ им. А. Люльки по «цифровизации» процесса проектирования авиационных двигателей, а также актуальные задачи для численных исследований, возникающие при проектировании перспективной авиационной техники, разрабатываемой в ОКБ.

Одним из заслуживающего внимания является направление по созданию «Цифрового двойника» газотурбинного двигателя. Из всего широкого спектра задач, входящих в понятие «Цифровой двойник» выбраны наиболее значимые, которые позволяют сократить время проектирования с одновременным увеличением количества рассматриваемых и рассчитываемых вариантов. Таким образом, основное назначение пилотной версии «Цифрового двойника» («ЦД») – «цифровизация» процесса проектирования, включая обеспечение прозрачности контролирования хода выполнения работ по проекту и проверки достижения требуемых результатов. Также проект «ЦД» направлен на поиск и дальнейшее использование отечественных программных продуктов. Приводятся вопросы юридического характера, препятствующие скорому внедрению технологии «ЦД» в процесс проектирования авиационной техники.

Особое место в докладе отведено описанию практических задач, возникающих при проектировании перспективных авиационных двигателей.

- Расчёт характеристик компрессоров и турбин, работающих на «нулевых» режимах: Задача актуальна для расчётов режимов запуска ГТД, режимов встречного запуска, определения возможного отбора механической мощности от роторов при работе двигателя в режиме авторотации. Также «нулевые» характеристики узлов требуются для создания имитационных математических моделей, работающих в составе тренажерных комплексов летательных аппаратов.
- Расчёты специальных характеристик двигателя: Отсутствие расчётов на инфракрасное излучение и отражение электромагнитных волн от видимых элементов конструкции приводит к тому, что проектирование узлов обречено на многочисленные экспериментальные работы.
- Расчёты узлов в совмещённой постановке: Современные вычислительные средства позволяют проводить расчёты узлов в совмещённой постановке, например: сквозной расчёт Воздухозаборник + КНД + Промежуточный корпус + КВД, или Камера сгорания + ТВД + ТНД. Такая постановка расчётной задачи, по опыту ОКБ им. А.Льюльки является более приближенной к реальным условиям работы, нежели изолированные расчёты узлов.

- Расчёты процессов горения: В настоящее время данная задача является наиболее сложной при проведении расчётов. Сложность заключается в необходимости выбора адекватного описания механизмов горения для различного топлива и условий в камерах сгорания. Необходимо отметить, что в современных ГТД давления в камерах сгорания меняется в диапазоне от 0,5 до 50 атм. Типы применяемых топлив: керосин, водород, синтетическое топливо.
- Расчёт характеристик адаптивных узлов: Данная задача характеризуется тем, что традиционный расчёт характеристики узла в трёхмерной постановке имеет трудоёмкость прямо пропорциональную количеству дополнительных регулируемых факторов. Например, расчёт характеристики компрессора в зависимости от частоты вращения, угла установки НА, отборов воздуха из промежуточной ступени. При этом необходимо определить режимы где узел не находится в области автономности по числу Рейнольдса и определить на этих режимах потери КПД и пропускной способности канала.
- Согласование работы лопаточных машин с подводом тепла к двигателю в детонационном горении: При детонационном сжигании топлива в камерах сгорания (основной и форсажной) возникают ударные волны различной интенсивности: меньшей амплитуды вверх по потоку и более высокой амплитуды вниз по потоку. Интенсивность и частота ударных волн способны нарушить нормальную работу лопаточных машин.
- Также к важным относятся следующие задачи: расчёт характеристик турбин с «большим» расходом охлаждающего воздуха, распределённым по перу лопатки и каналу течения, учёт шероховатости (шероховатой волнистости) поверхности после аддитивного изготовления деталей, моделирование характеристик узлов с учётом подвода или отвода дополнительной энергии к потоку рабочего тела, моделирование лазерного упрочнения деталей, моделирование режимов работы лазерного оборудования, моделирование разрушения композиционных и керамических материалов.