

СВЯЗАННОЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Кривцов А. В., Шаблий Л. С.

Самарский государственный аэрокосмический университет им. С. П. Королева
(национальный исследовательский университет), г. Самара, Самарская обл., Россия

Прогресс CFD методов, произошедший в последние годы, позволил заменить значительную часть испытаний быстрыми и дешевыми расчетами, способными с допустимой точностью предсказывать характеристики и структуру потока в отдельных узлах ГТД.

В представленной работе было предложено провести одновременное CFD моделирование рабочего процесса всего газогенератора ГТД. Этот расчет позволит получить более достоверные картины распределения параметров по газодинамическому тракту газогенератора с учетом влияния соседних узлов друг на друга. Кроме того, станет возможным оценить влияние разных режимных, внешних и внутренних факторов на характеристики ГТД и закономерности его совместной работы.

При моделировании рабочего процесса в газогенераторе ГТД должны быть соблюдены очевидные закономерности:

- массовый расход рабочего тела на границах смежных расчетных зон должен быть равным;
- величина среднемаховой полной энтальпии потока на границах смежных расчетных зон должна сохраняться постоянной;
- величины давления, температуры и скоростей, а также их распределение на границах расчетных зон должны быть идентичны;
- частота вращения роторов в моделях компрессора и турбины должны совпадать;
- мощности (крутящие моменты) на роторах моделей компрессора и турбины должны совпадать на всех установившихся режимах.

Авторами были разработаны два подхода CFD моделирования рабочего процесса в газогенераторе ГТД:

1. с использованием нескольких специализированных программ, наиболее подходящих для описания рабочего процесса конкретного узла.
2. в единой универсальной программе, позволяющей проводить одновременное моделирование процессов во всех узлах газогенератора.

Первый подход позволяет рассчитать рабочий процесс в каждом узле в наиболее подходящей для этого программе с оптимальными настройками модели и решателя. Это обеспечивает более качественное моделирование процессов и требует меньших вычислительных ресурсов. Недостаток данного подхода заключается в необходимости обмена данными между моделями процессов в узлах, работающих в разных программах, что затрудняется тем, что они обычно используют разные форматы описания входных/выходных данных и свойств рабочего тела. Другой недостаток - одностороннее влияние параметров предыдущего элемента на расположенный ниже по потоку при однократной передаче данных. Для полноценного моделирования рабочего процесса в газогенераторе в разных программах необходимо организовывать серию итерационных расчетов с многократным уточнением граничных условий, что потребует создания специальных управляющих программ.

Таких недостатков лишен второй подход. В едином программном комплексе

создается расчетная модель, состоящая из нескольких отдельных узлов, и легко организуется обмен данными между ними с помощью стандартных инструментов программы. Однако в данном случае настройки модели являются «универсальными» и неоптимальными для каждого узла.

При использовании обоих подходов все описанные выше закономерности рабочего процесса газогенератора ГТД выполняются относительно легко. Значительная сложность заключается только в обеспечении баланса мощностей компрессора и турбины. В расчете они обычно не совпадают. Это может быть вызвано как расчетной ошибкой (например, из-за неточности расчета процесса тепловыделения при горении), так и из-за неверного описания режима работы ГТД. В реальном газогенераторе этот дисбаланс саморегулируется за счет изменения частоты вращения ротора. Автоматическое моделирование такого процесса в универсальной CFD программе не предусмотрено. По этой причине при расчете пользователь должен сам или с помощью специально написанной управляющей утилиты добиться равенства крутящих моментов компрессора и турбины за счет коррекции расхода топлива или частоты вращения ротора. Выбор способа коррекции осуществляется на основании того какой из параметров необходимо выдержать при моделировании (частоту вращения или расход топлива).

В качестве иллюстрации практической возможности проведения связанного расчета рабочего процесса в газогенераторе, авторы рассчитали процесс в газогенераторе простейшего одновалного ГТД, спроектированного в СГАУ. Расчет велся в универсальном программном комплексе ANSYS CFX, реализуя второй подход.

Для расчета была создана расчетная модель, состоящая из моделей рабочего колеса центробежного компрессора, радиально-осевого лопаточного диффузора, противоточной камеры сгорания (сеточная модель камеры сгорания предоставлена группой изучения процессов горения НОЦ ГДИ СГАУ, руководитель группы - к.т.н., доцент, Матвеев С.Г.), соплового аппарата и рабочего колеса осевой турбины. Лопаточные машины моделировались с помощью одного периодического элемента межлопаточного канала, угол сектора камеры сгорания составлял 45° . При создании моделей турбомашин учитывалось наличие радиальных зазоров.

В качестве модели турбулентности была применена модель k-epsilon с масштабируемыми функциями стенки.

Общее число конечных элементов модели составило 5 миллиона элементов. Время расчета составило 11 часов на 64 ядрах суперкомпьютера «Сергей Королев» максимальной производительностью 15Тфлопс.

В расчете моделировалось горение газообразного топлива Jet A в камере сгорания.

В результате расчета были получены картины течения рабочего тела во всех элементах газогенератора. Полученные результаты в целом соответствуют данным проектного термогазодинамического расчета и результатам CFD расчетов отдельных узлов.

Выполненная работа показала возможность практической реализации совместного расчета газогенератора в универсальной CFD программе. В настоящее время проводится отработка технологии расчёта единого рабочего процесса газогенератора с применением специализированных программ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации (Минобрнауки) на основании Постановления Правительства РФ № 218