

угол раскрытия диффузора. Для обеспечения одинаковых соотношений по скоростям на входе и выходе отношение площадей входа и выхода оставалось постоянным (1:5) при условии изменения длины диффузорной части. Профиль параметров на входе принимался равномерным и постоянным. На входе задавалась одинаковая для всех типов и углов раскрытия диффузоров среднемаховая скорость и полная температура потока, на выходе - статическое давление, равное 101325 Па. Режим течения – турбулентный. Угол раскрытия менялся в диапазоне от 4 до 12 градусов с шагом в один градус, а также 16, 20, 30, 40, 60 и 90 градусов. Конечно-элементная сетка – структурированная. Поскольку на характеристики диффузора основную роль играют процессы, происходящие в пограничном слое, сгущение сетки производилось вблизи твердых стенок модели. Критерием размера элементов сетки в пограничном слое являлось безразмерное расстояние  $Y^+$ . В диффузорной части для первого от стенки элемента  $Y^+ < 5$  для всех случаев. Расчет производился с помощью программного комплекса ANSYS Fluent в стационарной постановке. Рабочим телом был принят воздух с параметрами при нормальных атмосферных условиях.

Для каждого типа диффузоров в среде ANSYS Workbench производилась настройка расчетного алгоритма, включающая генерацию конечно-элементной сетки, определение

типов и мест расположения граничных зон, определение математических моделей, начальных параметров, расчет, вывод полученных данных в табличном виде. Для каждого угла раскрытия расчет по данному алгоритму повторялся в автоматическом режиме.

Расчет показал, что для диффузора прямоугольного сечения потери полного давления выше, а отрыв потока происходит при меньших углах раскрытия, чем для диффузоров круглого и кольцевого сечения. Отрыв в этом типе диффузора начинается в углах модели и является несимметричным относительно плоскостей симметрии.

Для всех исследуемых типов диффузоров на определенных углах раскрытия были получены осцилляции значения полного давления на выходе из расчетной области по итерациям, что свидетельствует о наличии в потоке пульсационной зоны и точка отрыва имеет плавающее положение. При увеличении угла раскрытия пульсации давления пропадают.

В результате выполненной работы получены сравнительные данные по аэродинамике течений, изменению скорости, статического и полного давлений в различных диффузорах. Результаты расчетных экспериментов позволяют наметить пути проектирования диффузоров с оптимальным уровнем потерь. Разработанная методика расчета позволяет снизить затраты времени на проектирование и доводку диффузоров камер сгорания ГТД.

УДК 004.9+621.431.75

## **ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГТД КАК ОБЪЕКТА И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

Матвеев С.Г., Орлов М.Ю., Зубрилин И.А.

Самарский государственный аэрокосмический университет

Проектирование и доводка современных ГТД, являющихся одними из самых сложных технических изделий, невозможно без широкого использования САД/САЕ-систем, так как использование САПР позволяет снизить временные и соответственно материальные затраты. В настоящее время

использование САД/САЕ-систем в компьютерном проектировании ГТД в основном ориентировано на такие узлы двигателя, как компрессор, турбина и очень редко на камеры сгорания. Такое положение дел имеет логичное объяснение - характер протекающих в камерах сгорания процессов наиболее мно-

голик и сложен по сравнению с другими элементами ГТД.

Поскольку камера сгорания, как один из основных узлов ГТД, играет существенную роль в обеспечении его технических характеристик, тот факт, что она в наименьшей степени (по сравнению с другими узлами двигателя) поддается моделированию с использованием CAD/CAE-систем, затрудняет весь процесс автоматизированного проектирования ГТД в целом. Следовательно, проблемы использования компьютерных технологий при проектировании камеры сгорания ГТД как объекта требуют скорейшего решения.

Все проблемы использования CAD/CAE –систем можно рассматривать, в двух аспектах: как проблемы, связанные с этапами реализации численных расчетов на ЭВМ и как проблемы обеспечения расчетов. Причем граница между этими подходами является достаточно условной.

С точки зрения реализации численных расчетов можно выделить следующие этапы:

- создание геометрической модели;
- генерация сеточной модели;
- задание начальных и граничных условий;
- определение математических моделей;
- выполнение расчетов;
- анализ результатов.

Деление по видам обеспечения расчетов может быть следующим.

- методическое обеспечение;
- математическое обеспечение;
- информационное обеспечение;
- организационное обеспечение;
- техническое обеспечение.

Последовательное рассмотрение и анализ проблем использования компьютерных технологий с этих двух точек зрения позволяет сформулировать пути их решения.

Так, одна из проблем, связанных с методическим обеспечением вызвана тем, что в CAE-системах используются не реальные подробные геометрические модели, созданные по чертежам, а их упрощенные аналоги, и в настоящее время отсутствует возможность создания единой унифицированной модели. CAD-система обеспечивает создание детализированной твердотельной модели,

тогда как в CAE-системе для использования метода конечных элементов требуется некая абстрактная модель, воспроизводящая, например, в случае аэродинамического расчета- газодинамическую область, при расчетах на прочность - металлические элементы конструкции, а при расчете течения топлива - какую-либо иную модель. Решение данной проблемы в настоящее время реализуется путем создания 3D модели в CAD системе с последующим удалением ненужных деталей и выделением необходимой для расчета области с последующей генерацией именно на ней сеточной модели, передаваемой для расчета в CAE-систему. При этом возникает дополнительная проблема, являющаяся следствием рассматриваемой. Суть этой проблемы состоит в том, что на сегодняшний день отсутствует четко сформулированный методический подход к упрощению исходных геометрических моделей, а между тем упрощение исходной геометрической модели имеет как положительные, так и отрицательные качества. Положительно то, что упрощение модели позволяет уменьшить число элементов в сеточной модели что позволяет не только снизить время последующего расчета, но и в некоторых случаях вообще определяет его принципиальную возможность. Кроме того, упрощение модели позволяет избежать проблемных областей на расчетной сетке и таким образом повысить ее качество. С другой стороны, в некоторых случаях упрощение может привести к тому, что получаемые в ходе расчетов результаты не будут соответствовать из-за отклонений в геометрии результатам, полученным в реальных экспериментах. Нарботка опыта использования компьютерных технологий позволила выработать подходы к выполнению подобных упрощений, позволяющие для каждого конкретного случая сформулировать оптимальный комплекс мер по упрощению исходной геометрии.

Другим примером решения проблем использования компьютерных технологий служит опыт, полученный при генерации расчетных сеточных моделей. Здесь одной из проблем является большое количество элементов, ограничивающее возможности расчета в плане чрезмерных затрат времени. Используя знания характера протекающих

процессов можно уменьшать количество элементов до оптимального, сгущая сетку в проблемных местах и уменьшая количество элементов там где это возможно без ущерба для качества расчетов.

Одной из основных проблем, связанных с расчетом процессов в камерах сгорания является тот факт, что расчеты для полной модели, например, современной кольцевой камеры сгорания порой практически неосуществимы даже с использованием суперкомпьютера из-за большого объема необходимой памяти. Поэтому приходится использовать секторные модели, либо модели отдельных участков камеры сгорания сложной формы. То есть имеет место ситуация, сходная с использованием отсеков камер сгорания вместо полноразмерных объектов в доводочных испытаниях. В этом случае очень важно получить на таких моделях данные

верифицирующиеся с данными, получаемыми в ходе натуральных полноразмерных изделий. Существует достаточно большое количество подобных проблем, которые должны решаться путем комплексного подхода.

В ходе работ в рамках реализации совместного проекта с ОАО «Кузнецов» удалось создать методический комплекс, позволяющий выработать в сфере использования компьютерных технологий пути решения широкого ряда возникающих проблем, что позволяет оптимизировать процесс проектирования и способствует получению оптимальных результатов. Предлагаемые решения опробованы на практике и прошли проверку путем сопоставления результатов с результатами, получаемыми подразделением, ответственным за создание новых камер сгорания на базовом предприятии.

УДК 532.5

## АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ РАБОТЫ ПЛОСКОГО ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОГО КЛАПАНА ПРИ ПОСТОЯННОМ РАСХОДЕ

Сафиуллин Д. И.

Самарский государственный аэрокосмический университет

Один из часто встречающихся дефектов плоского предохранительного клапана (ППК) (рис. 1) – шум и вибрации. Он возникает из-за автоколебаний, происходящих в запорно-регулирующем элементе (ЗРЭ).

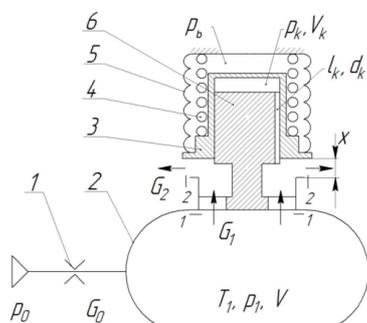


Figure 1.

Рис. 1. Схема системы регулирования давления газа в емкости: 1, 8 – дроссель; 2 – емкость; 3 – тарель; 4 – пружина; 5 – сильфон; 6 – направляющая

Причиной автоколебаний является неустойчивое положение равновесия тарели клапана на определенных высотах подъема (рис. 2).

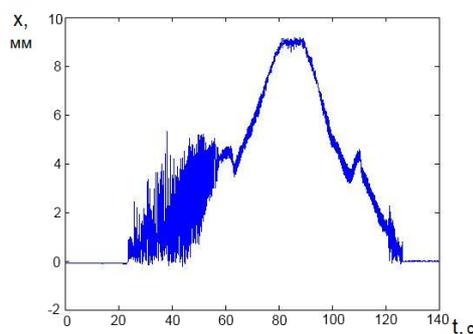


Рис. 2. Перемещения тарели клапана в зависимости от времени

Высоты, на которых реализуются неустойчивые положения равновесия, можно определить из силовой статической характеристики (зависимости подъемной силы, дейст-