

УДК 532.697

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ КАК СОВОКУПНОСТЬ ОТДЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГАЗОВОЙ ДИНАМИКИ

Василюк Д.К., Токарев В.В., Шмотин Ю.Н.

ОАО «НПО «САТУРН», г. Рыбинск

Введение. С недавних пор к камерам сгорания ГТД стали предъявлять более жесткие требования. Можно выделить две основные причины. Первая – это увеличение параметров двигателя, влекущее за собой увеличение температуры газа на выходе из камеры сгорания и уменьшение количества воздуха, идущего на пленочное охлаждение стенок жаровой трубы и создание равномерного температурного поля перед турбиной. Второе – это экологические нормы по снижению выбросов вредных веществ с обязательным сохранением эксплуатационных свойств камеры. Для выполнения этих требований необходимо усложнять организацию рабочего процесса в камере сгорания. Это организация богатого горения с быстрым перемешиванием, либо организация горения предварительно перемешанной топливо-воздушной смеси. Также нужно обеспечивать малое время пребывания смеси в зоне горения, организуя многоточечный подвод топлива и уменьшая объем камеры сгорания. При проектировании и доводке таких камер необходимо глубокое понимание физики процессов и их взаимодействия. При проведении натуральных экспериментов или испытаний мы имеем дело только со следствием данных взаимодействий. Для исследования причин нужен либо более тонкий и дорогостоящий натуральный эксперимент, либо численный эксперимент, основанный на математическом моделировании. И чем больше будет необходимость управлять процессами в камере сгорания, тем больше будет необходимость в данных экспериментах.

Исходя из дороговизны натурального эксперимента, более привлекательным становится численный эксперимент, роль которого в последнее время становится все ощутимее в связи с бурным развитием вычислительной техники. Однако, имея свою специфику, численные методики всегда должны проверяться натурными исследованиями.

Выбор объекта исследования. Несмотря на наличие мощной вычислительной техники, не всегда представляется целесообразным расчет камеры сгорания в полной постановке. Специфика задачи состоит в том, что в одном объеме происходят процессы обтекания сложных геометрических объектов, взаимодействия закрученных потоков и струйных течений, смесеобразования и реагирования многокомпонентного газа, конвективного и радиационного теплообмена. Для решения такой сложной задачи предлагается ее разделить на несколько этапов. На первом этапе проводится трехмерный аэродинамический расчет камеры сгорания в полной постановке. Главная цель этого расчета – получить распределение воздуха по каналам и отверстиям жаровой трубы. Оценивается величина гидравлических потерь и осуществляется локализация места для дальнейшего совершенствования аэродинамики. На втором этапе, для оценки влияния различных факторов на рабочий процесс, проводятся исследования в отдельных, условно геометрически разделенных частях камеры сгорания: диффузора, фронтальной части и зоны смешения. Упрощение моделей на основе адекватных допущений всегда необходимо на этапе познания.

Постановка численного эксперимента. Для описания поведения турбулентного сжимаемого теплопроводящего реагирующего газа применялся метод контрольных объемов, реализованный в пакете программ вычислительной газодинамики CFX-TASCflow. Расчеты выполнялись на основе осредненной по Рейнольдсу системы уравнений Навье-Стокса (RANS). Турбулентность моделировалась при помощи SST-модели. Процессы горения моделировались одно- или трехступенчатой реакцией метана с кислородом воздуха при помощи модели распада вихря (EDM) с учетом кинетики реакции, описываемой уравнением Аррениуса. Расчетная область моделируется структурированной геометрически адаптивной гексагональной сеткой.

Численный эксперимент включает в себя следующие этапы:

- выполнение трехмерной твердотельной модели исследуемого объекта при помощи CAD/CAM системы;
- создание расчетной области на основе трехмерной модели и транслирование ее в генератор сеток;
- построение сетки;
- задание граничных условий;
- выполнение расчета;

- анализ результатов.

Результаты исследование канально-струйных течений в диффузоре камеры сгорания. Цель исследований – оценка гидравлических

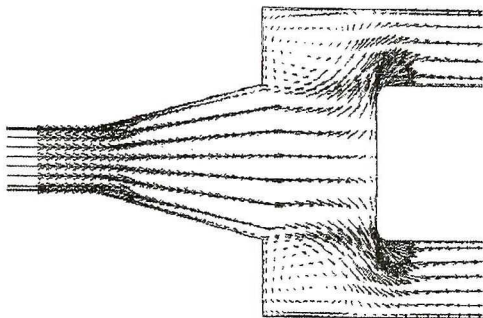


Рис. 1. Векторы скорости в модельном диффузоре

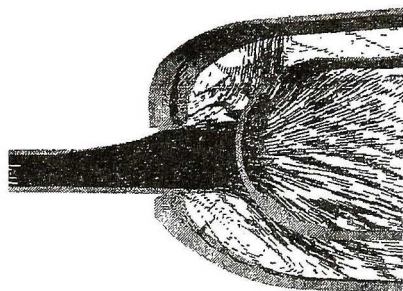


Рис. 2. Векторы скорости в диффузоре камеры сгорания ГТД

потерь, перераспределения вторичного воздуха по стенкам жаровой трубы. На рис. 1 представлены векторы скорости в модельном диффузоре, на котором верифицировалась методика расчета, на рис. 2 - в диффузоре камеры сгорания ГТД.

Исследование смесеобразования и взаимодействия закрученных потоков в зоне горения. Цель исследований – изучить влияние параметров закрученных струй и их взаимодействия на формирование в зоне горения зоны обратных токов и на эффективность смесеобразования.

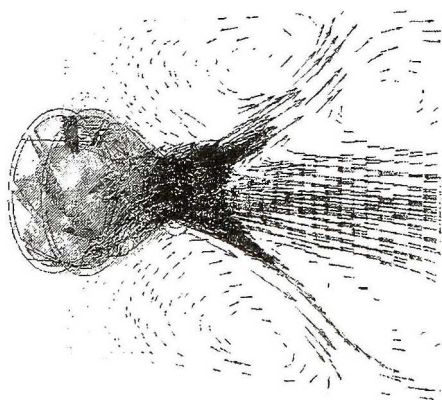
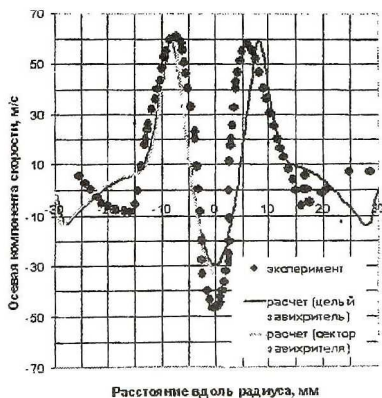


Рис. 3. Картина течения в области одиночной горелки и сравнение с результатами эксперимента



Расстояние вдоль радиуса, мм

На рис. 3 показано течение в области одиночной горелки и сравнение структуры течения с экспериментальными данными [1]. На рис. 4 представлена картина течения во фронтном устройстве камеры сгорания ГТД.

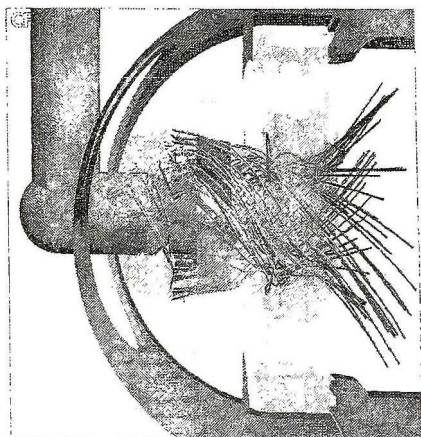


Рис. 4. Течение во фронтном устройстве камеры сгорания ГТД

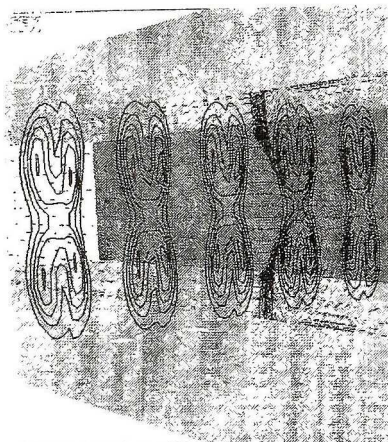


Рис. 5. Векторы скорости в среднем сечении и контуры температуры в сечении за отверстиями модельного смесителя

Исследования струйных течений в области разбавления. Данные исследования проводятся с целью оценить влияние геометрических параметров основных отверстий в зоне смешения и разбавления на эффективность перемешивания вторичного воздуха и основного потока. Верификация и основные исследования проводились на модельном смесителе, на котором был проведен эксперимент [2]. На рис. 5 представлены геометрия одного из вариантов и результаты расчета. На рис. 6 – результаты расчета модуля смешения камеры сгорания ГТД.

Выводы. В процессе проектирования и доводки камер сгорания ГТД возникает необходимость в глубоких исследованиях рабочего процесса. Численный эксперимент дает такую возможность, однако представляется более целесообразным на данном этапе моделировать отдельные относительно независимые части камеры сгорания, такие как диффузор, фронтная часть и зона смешения. Таким образом, данную часть можно представить в виде упрощенной геометрии и проводить большой объем исследовательских работ с обязательной верификацией численного метода, тем более для таких геометрий легче найти натурный эксперимент. Поэтому для проведения качественного численного эксперимента необходимо выстраивать иерархию экспериментов, начи-

ная с модельных задач с обязательной натурной проверкой, и заканчивая расчетом реальной геометрии устройства с учетом всех решений полученных на ранней стадии исследования.

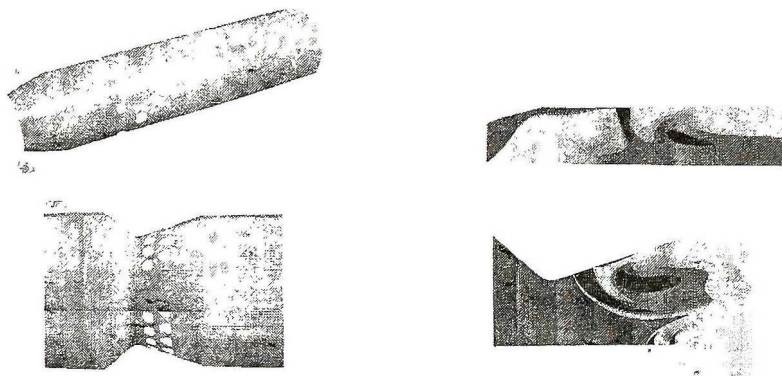


Рис.6. Геометрия (слева) и распределение температуры (справа) модулей смещения камер сгорания ГТД

Такая же иерархия выстраивается и для оценки конвективного и радиационного теплообмена в жаровой трубе, распыла жидкого топлива, следования процесса горения и других процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование распыла топлива и смесеобразования в головной части камеры сгорания двигателей типа «НК». / Васильев А.Ю., Майорова А.И., Свириденков А.А., Трегьяков В.В., Ягодкин В.И. // Вест. СГАУ. Сер.: Процессы горения, теплообмена и экология тепловых двигателей. Вып.4: Самар. гос. техн.ун-т, 2002 г. №2(2). – С. 56-58.
2. Secondary air mixing in a typical combustor flowfield. / Blomeyer M., Krautkremer B., Haag O., Hennecke D.K. // ISABE 99-7189. a99-34190.