

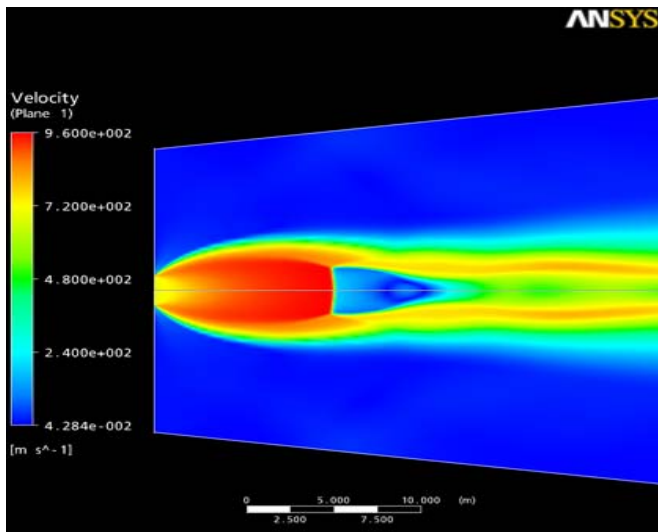
Сверхзвуковые турбулентные струи с химическими реакциями

Расчет сверхзвуковых струй с химическими реакциями имеет большое значение для многих задач газовой динамики и теплообмена. Выхлопные струи ракетных и авиационных двигателей активно взаимодействуют с воздухом и с самим летательным аппаратом.

Математическое описание этих процессов позволит:

- оценить воздействие летательных аппаратов на атмосферу;
- получить значение сигнала, принимаемого станциями, следящими за полетом ракеты;
- оценить воздействие высокотемпературной струи на элементы конструкции летательного аппарата.

Данная работа посвящена изучению возможностей применения ANSYS CFX для расчета сверхзвуковых струй с химическими реакциями. Представлены результаты расчетов следующих вариантов:



- затопленная осесимметричная струя воздуха при одинаковом давлении на срезе сопла и в окружающем пространстве;

- затопленные сверхзвуковые осесимметричные струи идеального газа при различном отношении давления на срезе сопла и в окружающем пространстве (от 0.4 до 100);

- дозвуковая струя водорода, химически взаимодействующая со спутным воздушным потоком;

- сверхзвуковые струи газа, химически взаимодействующие со спутным потоком;

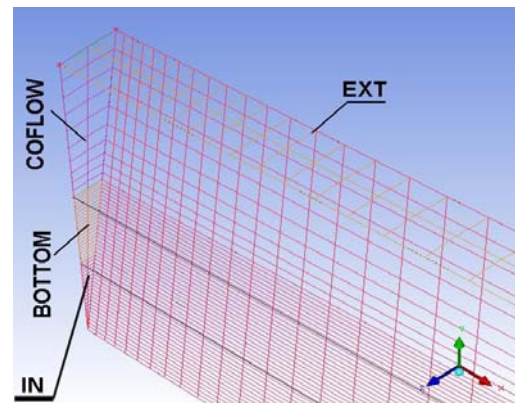
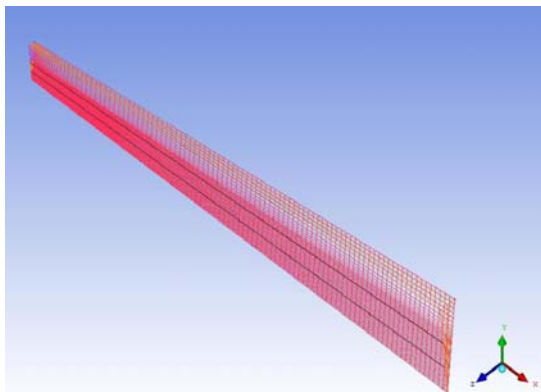
- струи двух гипотетических двигателей летательных аппаратов на различных высотах полета (от 0 до 15 км).

Для струй летательных аппаратов, в основном, использовалась модель «эквивалентного сопла» с учетом и без учета донной области, но некоторые расчеты проводились для реальной трехмерной компоновки сопел.

Результаты сравниваются с имеющимися экспериментальными данными и с результатами расчетов, полученных по другим методикам.

Для химически реагирующих потоков использовалась модель с конечными скоростями реакций и модель диссипации вихрей (Finite Rate Chemistry and Eddy Dissipation Model).

При построении расчетных сеток, в основном, использовались элементы типа HEXA:



В начальном участке выделялись 3 основных области: срез сопла (собственно струя), донная область, спутный поток.

Основные расчеты проводились с 10-градусной и 90-градусной расчетными областями. 180- и 360-градусные области использовались для проверки расчетов по двум предыдущим.

При проектировании конечно-элементной модели, как правило, задавались следующие части (parts):

IN – срез сопла, из которого истекает струя; граничные условия – типа Inlet;

COFLOW – спутный поток; граничные условия – типа Inlet для спутных струй и типа Opening – для затопленных;

BOTTOM – донная присопловая часть летательного аппарата, либо кромка среза сопла; граничные условия – типа Wall; если же нужно было провести расчет без учета донной области, граничные условия задавались такими же, как COFLOW;

EXT – наружная коническая или цилиндрическая часть расчетной области; граничные условия – типа Inlet для спутных струй и типа Opening – для затопленных;

OUT – выходная часть струи; граничные условия - типа Outlet; режим – либо Supersonic, либо Subsonic; некоторые дозвуковые расчеты проводились с гр.условиями типа Opening, особой разницы в результатах расчета замечено не было.

SYM1, SYM2 – плоскости симметрии для 10- и 90- градусных областей; для 180-градусной области используется, естественно, одна плоскость симметрии.

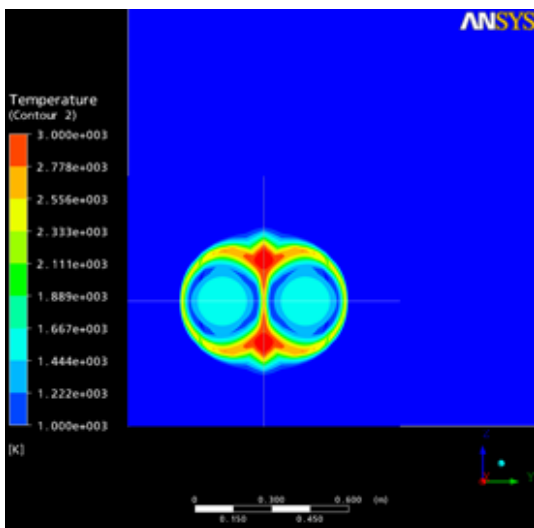
Сопоставление результатов расчета с экспериментальными данными и данными расчетов, проведенных по другим методикам, показало, что программа ANSYS CFX удовлетворительно описывает рассматриваемый класс задач, но, вероятно, требуется дальнейшее уточнение используемой модели турбулентности.

Выявлены важные преимущества использования программы ANSYS CFX для учета донной области и трехмерности струй реальных летательных аппаратов, а также сверхзвуковых течений, имеющих дозвуковые области.

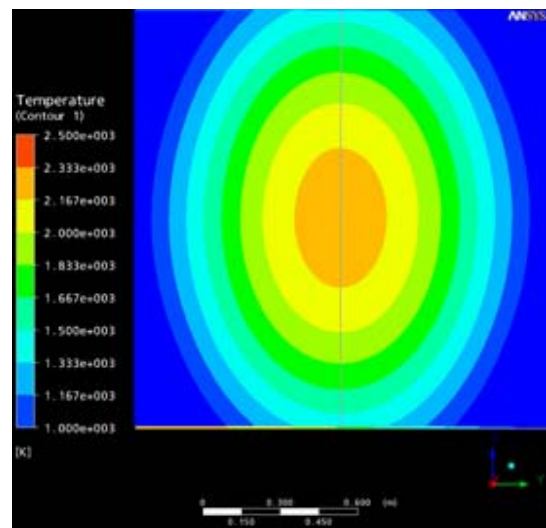
1) учет донной области летательного аппарата приводит к существенному изменению результатов расчета – максимальная температура увеличивается, и этот максимум смещается ближе к срезу сопла;

2) учет трехмерности 2-х сопловой компоновки важен на начальном участке струи, а на более дальних участках распределение параметров вдоль оси летательного аппарата практически совпадает с расчетом осесимметричной струи с учетом донной области;

3) трехмерная струя с удалением от среза сопла стремится к осесимметричности, но при этом она проходит стадию вытянутости в сторону, перпендикулярную к начальному расположению сопла (сопло находится на оси Y, а струя вытягивается в сторону оси Z)



Поперечный контур температуры вблизи сопла



Поперечный контур температуры на расстоянии 30 радиусов экв.сопла