

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В МАЛОЭМИССИОННЫХ КАМЕРАХ СГОРАНИЯ

Гутник М.Н., Васильев В.Д., Булысова Л.А., Фишер Ю.В.<sup>2</sup>,  
<sup>1</sup>ОАО «ВТИ»,  
<sup>2</sup>ООО «ТЕСИС», г. Москва, Россия (jf@flowvision.ru)

## АННОТАЦИЯ

Рассматривается течение смеси газов в камере сгорания ГТУ при «холодной» продувке камеры и при горении. Моделируются физические процессы: движение идеального газа, теплоперенос (конвекция и теплопроводность), турбулентность и горение метана (модель Аррениуса-Магнуссена). Приводятся результаты расчета температуры смеси и концентрации горючего в контрольных сечениях на каждом из режимов. Показана структура трехмерного течения, поля давления и температуры газовой смеси при «холодной» продувке и при горении.

Приводятся рекомендации для настроек математической модели при моделировании горения в камерах сгорания.

В работе рассматривается моделирование процессов, протекающих в малоэмиссионных камерах сгорания со сжиганием предварительно перемешанной топливовоздушной смеси воздуха с метаном. Моделирование проводится на современном ПК **FlowVision** версии 3.09.03.

### **Постановка задачи**

При моделировании реализованы модели идеальных газов:

- Воздух;
- Метан;
- Продукты сгорания.

В математической модели заданы следующие процессы:

- движение ньютоновской жидкости/газа;
- теплоперенос – конвекция и теплопроводность;
- турбулентность – стандартная k-ε модель;
- массоперенос – горение (модель Аррениуса-Магнуссена).

«Холодная» продувка камеры осуществляется подачей воздуха с температурой 465 °С без зажигания смеси и, соответственно, без решения уравнений модели горения. Отличие граничных условий для «холодной» продувки и для варианта с горением – различный расход воздуха при входе, прочие параметры остаются одинаковыми.

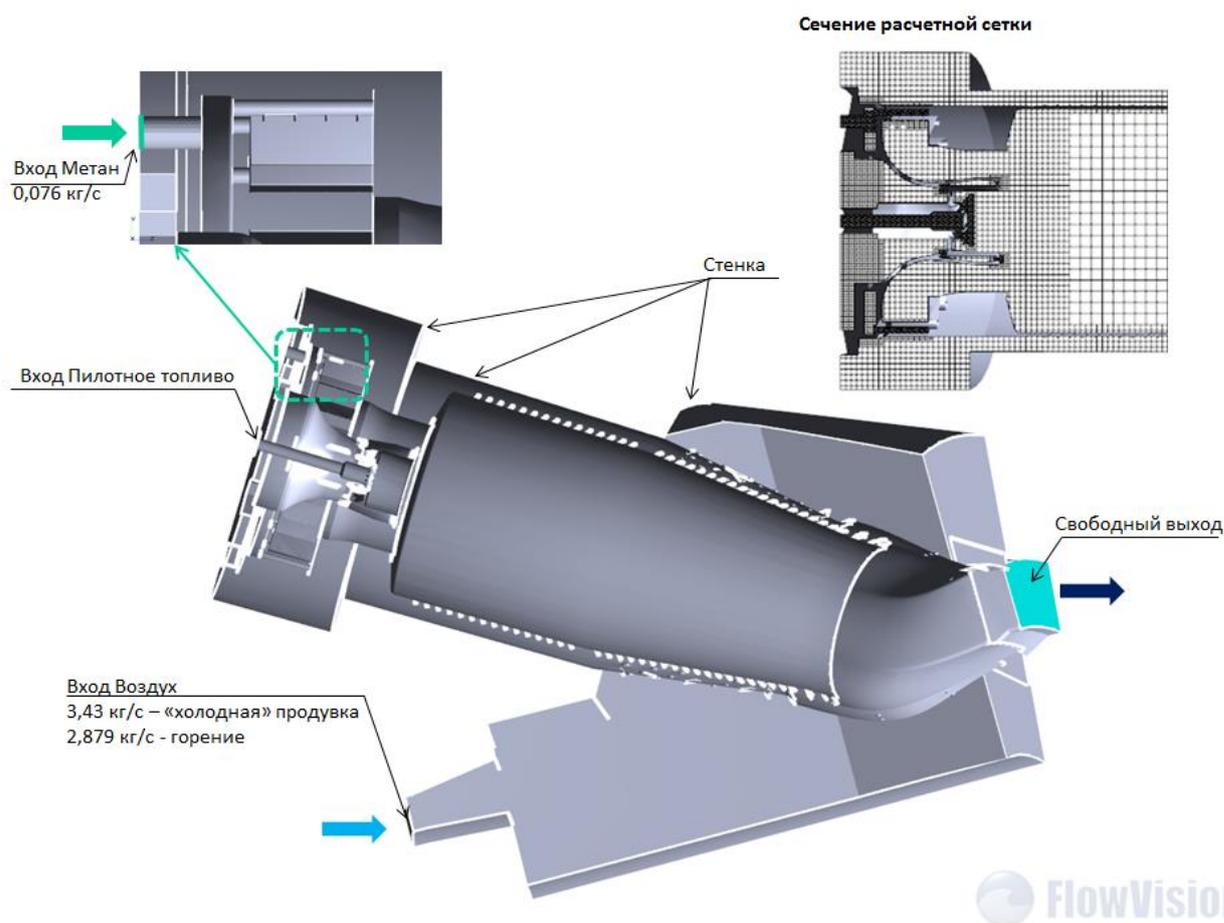


Рис.1 – Постановка задачи. Граничные условия.

Используется равномерная начальная сетка с локальной адаптацией (измельчением) до 4-го уровня – по отверстиям подачи воздуха в зону смешения. В постановке с горением дополнительно адаптирована зона протекания реакции. Общее число расчетных ячеек составляет 1 млн. 345 тыс. при холодной продувке и 1 млн. 532 тыс. при горении.

Расчет каждого варианта задачи проведен при использовании неявной «новой» схемы 2-го порядка точности, опробованной на многих задачах с различными физическими процессами в ПК **FlowVision**, начиная с версии 3.09.01.

Шаг по времени для варианта с «холодной» продувкой задан постоянным, равным  $1e-4$  сек; для варианта с горением шаг задан с помощью числа Куранта-Фридрихса-Леви  $CFL=1...20$  (меньшее значение шага по времени задавалось при инициировании горения на начальных шагах интегрирования).

Расчет проводился на Суперкомпьютере «Ломоносов» на 20 процессорах, что позволило существенно сократить время счета относительно персонального компьютера.

### **Результаты расчета**

При «холодной» продувке процессе расчета контролировалась температура в средней части камеры и при выходе, которые служили критерием выхода задачи на стационарное решение. Средние значения температур в результате расчета составили:

- в средней части камеры  $444^{\circ}\text{C}$ ;
- при выходе из камеры  $443^{\circ}\text{C}$ .

Число шагов до сходимости составило 2000, что соответствует 0,2 сек физического времени.

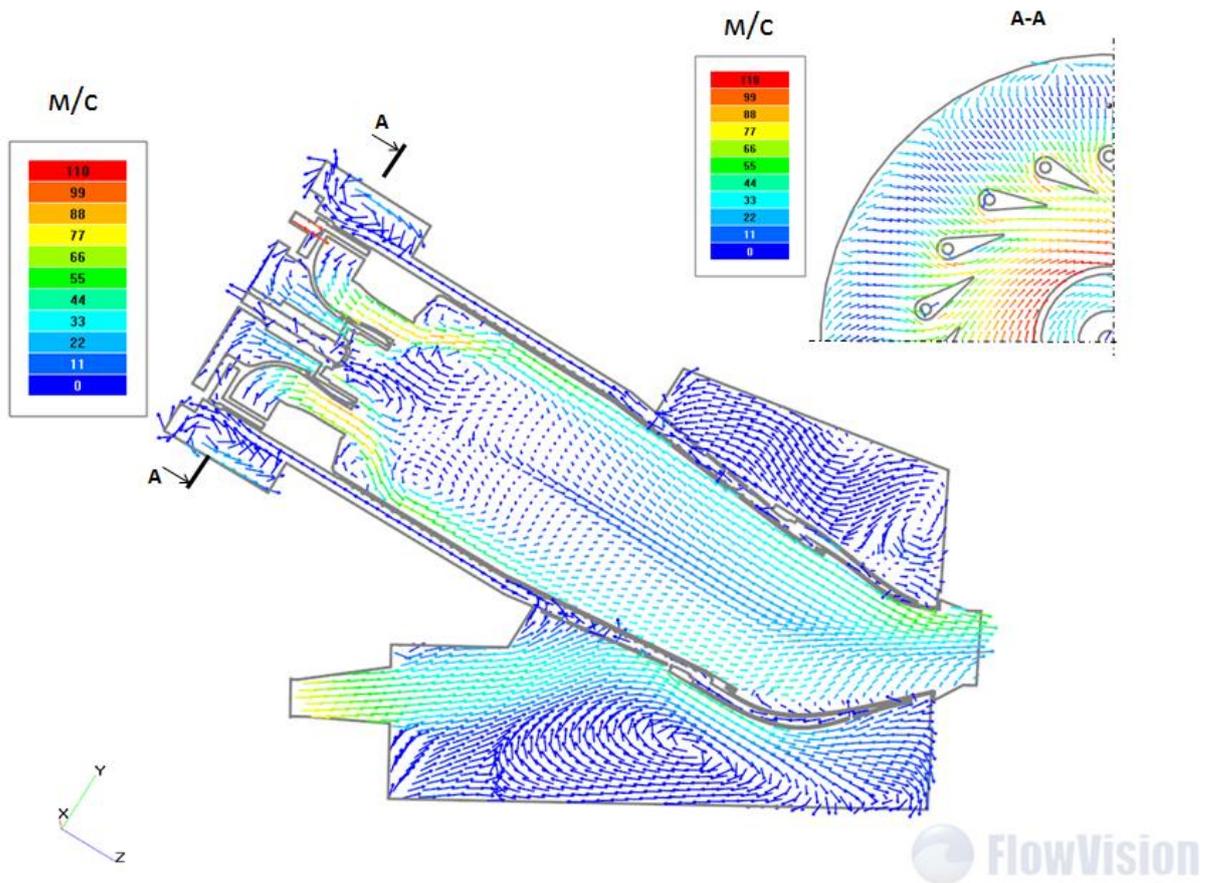


Рис.2 – Картина течения в продольном сечении камеры сгорания при «холодной» продувке

При расчете горения контролировалась температура не только в указанных плоскостях, но и в нескольких точках на жаровой трубе, максимальное значение температуры составило 1711 °С. Средние значения температур в результате расчета составили:

- в средней части камеры 1226°С;
- при выходе из камеры 1483°С.

Значение массовой доли горючего в плоскости выхода из горелочного устройства характеризует качество перемешивания смеси и эффективность самого устройства. При расчете среднее значение массовой доли горючего составляет 0,0226 при среднеквадратичном отклонении 0,0122.

При исследовании процесса горения в камере на данном режиме работы был определен шаг интегрирования, необходимый для успешного решения задачи, который менялся от CFL=1 при задании «поджига» смеси до CFL=20

при выходе на стационарный режим горения (0,14 сек). Для разрешения зоны горения также была скорректирована расчетная сетка увеличением области измельчения внутри жаровой трубы.

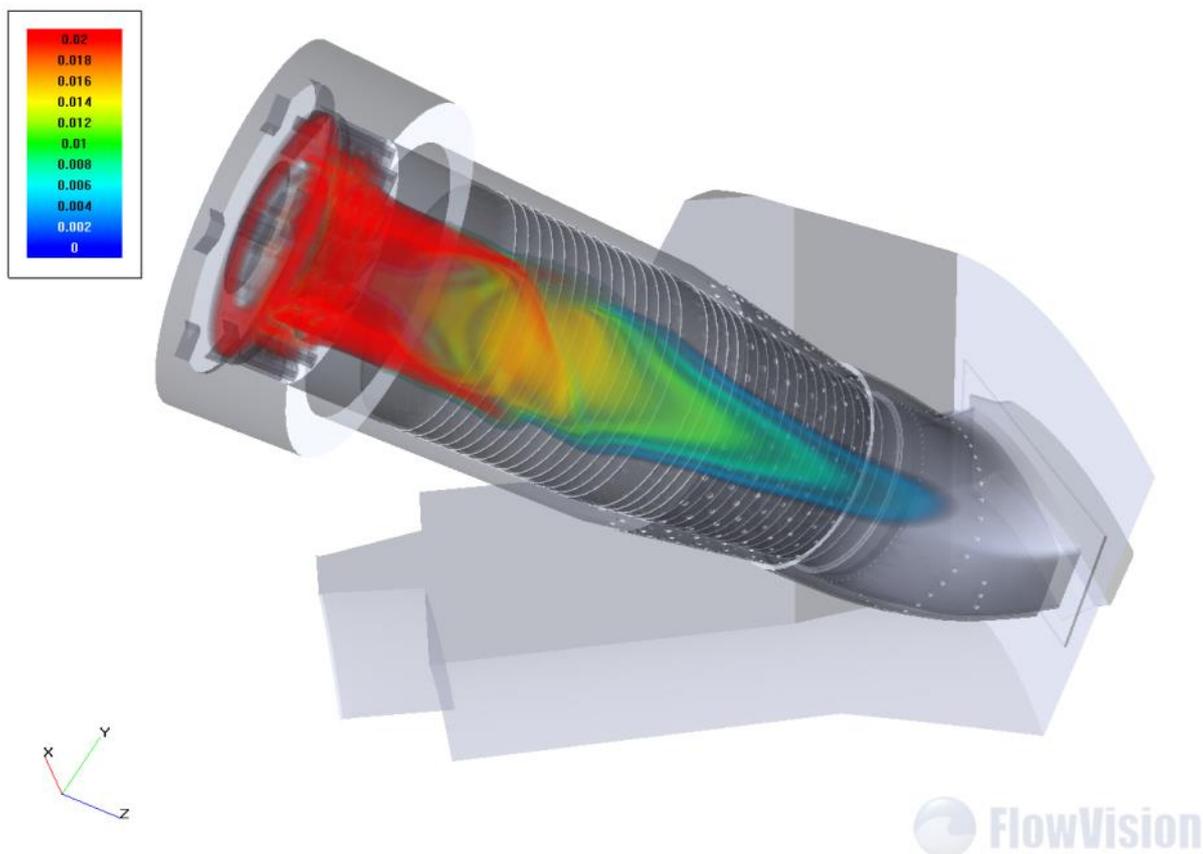


Рис.3 – Распределение массовой доли горючего в объеме

## Выводы

- Проведено моделирование «холодной» продувки камеры сгорания и моделирования горения в камере
- Показана структура течения на каждом режиме работы
- Определены температуры и концентрация горючего в контрольных плоскостях и точках для последующего сравнения с экспериментом и определения адекватности настроек математической модели