

ПОДХОДЫ К ЧИСЛЕННОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ВИХРЕВЫХ КАМЕРАХ

И.А. Куксов

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»
(г. Новокузнецк, Россия)

Представлен метод оценки с помощью численного моделирования газодинамической картины в вихревой камере, предназначенной для сжигания топлива. Описаны особенности применения программного пакета Autodesk Simulation CFD. Описаны параметры геометрии внутреннего пространства камеры, характеристика расчетной сетки с областями локального измельчения, описаны граничные условия, ход расчета и контроль его сходимости. Для математического моделирования применялся подход RANS и модель турбулентности SST k-omega. Расчет позволил провести анализ газодинамической картины в камере с помощью скалярных полей скорости в различных сечениях и векторных полей, а также выделить ядро вихря, ось которого совпадает с вертикальной осью камеры. Результаты расчета согласуются с результатами ранее проведенного численного моделирования с помощью другого программного пакета.

Ключевые слова: численное моделирование, вихревая камера, турбулентность, модель, вычислительная гидрогазодинамика.

This paper describes methodology for evaluation of flow in swirl combustion chamber by means of numerical simulation. Author reviews the features of Autodesk Simulation CFD software. Characteristics of chamber internal volume, parameters of mesh with local refinement regions, boundary conditions, solving process and convergence monitoring are presented. RANS method with SST K-Omega turbulence model used in simulation. Simulation made possible to analyze flow with scalar and vector fields and visualize core with vertical axis. The simulation results match previous simulation with other software.

Keywords: numerical simulation, swirl chamber, turbulence, model computational fluid dynamics.

Вихревые камеры сжигания широко используются в теплоэнергетике, их основными особенностями является стабилизация пламени за счет возникающей в камере рециркуляционной зоны, а также пониженный выброс вредных веществ в окружающую среду за счет более полного сжигания топлива.

Эффективность камер сжигания на основе вихря в значительной степени зависит от конфигурации камеры, параметров входных и выходных каналов, параметров подачи воздуха и топлива. Исследованию вихревых камер посвящено большое количество научных работ. В настоящей статье приводится подход к численному моделированию вихревых камер с помощью программного пакета Autodesk Simulation CFD.

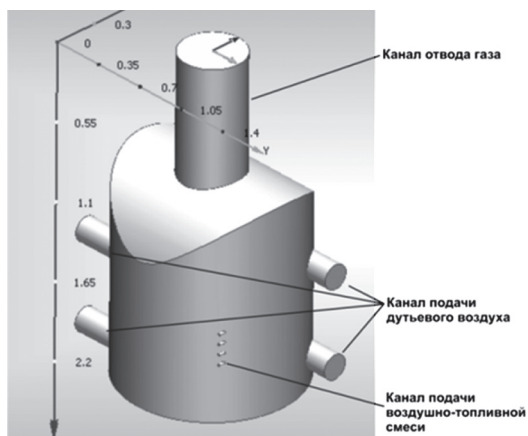
Постановка задачи

Рассматриваемая задача заключается в моделировании вихревой камеры, предназначенной для сжигания суспензионного топлива. Действующая камера аналогичной конструкции была построена в СибГИУ в рамках экспериментальной лаборатории.

Рис. 1. Трехмерная геометрическая модель внутреннего пространства камеры

Конструкция камеры представлена на рис. 1. Радиус внутреннего пространства камеры составляет 0,6 м. Камера имеет четыре канала подачи дутьевого воздуха, восемь каналов впрыска топлива совместно с воздухом, один выходной канал. Все входные каналы имеют тангенциальный характер. Каналы подачи

воздушно-топливной смеси диаметром 0,014 м размещены в два вертикальных ряда и расположены диаметрально противоположно относительно оси камеры. Каналы подачи дутьевого воздуха имеют диаметр 0,12 м. Канал отвода газа диаметром 0,4 м расположен в верхней части камеры.



Использованные программные средства

На рынке присутствуют программные пакеты, позволяющие производить полный комплекс работ по моделированию процессов, протекающих в энергетических установках – построение трехмерной геометрической модели, численное моделирование, постобработка результатов. К таким пакетам относятся, например, FLUENT компании «ANSYS» и STAR-CCM+ компании «CD-adapco».

В настоящей работе представлен ход и результаты моделирования газодинамических процессов в пакете Simulation CFD, выпускаемой компанией «Autodesk». Этот пакет способен моделировать меньшее количество процессов по сравнению с FLUENT и STAR-CCM+, однако его функционал достаточен для решения поставленной задачи.

Ускорению научно-исследовательских и проектных работ с использованием Simulation CFD способствует функция автоматизации адаптации расчетной сетки, а также возможность автоматизированного выполнения последовательности расчетов для различных вариантов конструкции исследуемой установки, параметров сетки и других характеристик расчета с возможностью последующего сравнения полученных результатов. Пакет Simulation CFD без каких-либо функциональных ограничений может использоваться бесплатно преподавателями и студентами учебных заведений.

Геометрическая модель была построена в пакете Autodesk AutoCAD и импортирована в Simulation CFD.

Метод решения задачи

В основе моделирования – численное решение осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье–Стокса (RANS). Поддерживаемые пакетом модели турбулентности: k-epsilon, SST k-omega (shear stress k-omega), Scale Adaptive Simulation (SST k-omega SAS), SST k-omega DES, Low Re k-epsilon, RNG,

Eddy Viscosity и Mixing Length. В расчете, представленном в настоящей работе, использовалась модель Shear stress k - ω .

Для численного решения уравнений, лежащих в основе моделей турбулентности, использовался метод конечных элементов. Использовалась трехмерная тетраэдральная расчетная сетка. Базовый размер ячейки – $5 \cdot 10^{-3}$ м, в области входных каналов для топлива произведено измельчение сетки (базовый размер $5 \cdot 10^{-4}$ м). Количество пристеночных призматических слоев – 3.

На входных границах задан массовый расход с нормальным направлением потока, на выходной границе задано атмосферное давление. Массовый расход воздуха составил: в каналах подачи дутьевого воздуха – 0,25 кг/с, в каналах подачи воздушно-угольной смеси – 0,007 кг/с. Стенки камеры приняты адиабатическими. Поскольку максимальная расчетная скорость во внутреннем пространстве камеры не превышает 0,15М, поток был принят несжимаемым.

Для проверки сходимости расчета использовался контроль текущих значений и невязок компонентов скорости, турбулентной энергии. Кроме того, осуществлялся контроль массового расхода на входных и выходной границах. Относительная величина невязки не превысила 0,2 %.

Результаты

Были получены следующие результаты (стационарное решение). График модуля скорости по вертикальной оси камеры представлен на рис. 2.

На рис. 3 представлен график модуля скорости в горизонтальных сечениях камеры на уровне входных каналов подачи воздушно-топливной смеси (сечение 1) и дутьевого воздуха (сечение 2).

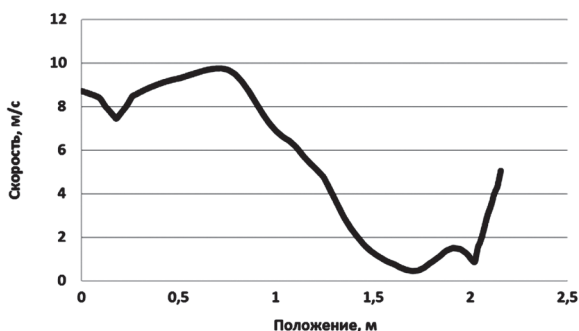


Рис. 2. Скорость по вертикальной оси камеры

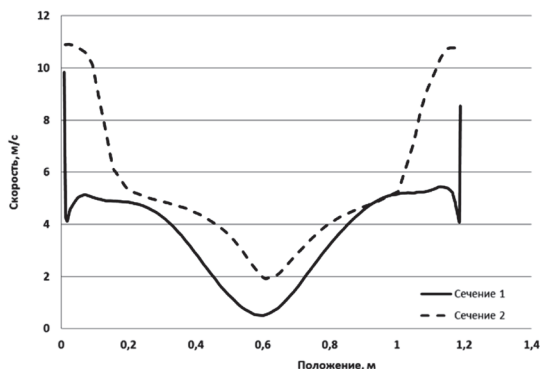


Рис. 3. Скорость потока в горизонтальных сечениях

Визуализированное с помощью изоповерхности ядро вертикального вихря и траектории потока от входных каналов представлены на рис. 4.

Полученные результаты согласуются с результатами расчета газодинамических процессов в камере, выполненном в пакете STAR-CCM+ в соответствии с выработанной методикой [1].

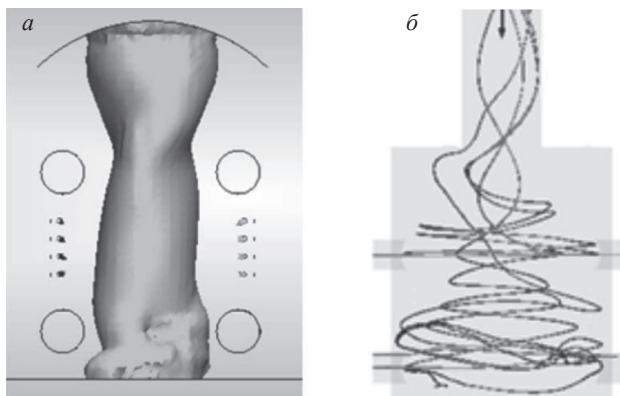


Рис. 4. Визуализация ядра вихря (а) и траектории потока (б)

Пакет Autodesk Simulation CFD не поддерживает расчет кинетики химических реакций, поэтому его нельзя использовать для непосредственной оценки эффективности сжигания топлива. Однако полученные результаты могут быть использованы для дальнейшего моделирования горения суспензионного топлива по предложенной схеме [2].

Список использованных источников

1. Куков И.А. Исследование закрученного потока газа в цилиндрической камере на основе численного моделирования в STAR CMM+ / И.А. Куков, В.Д. Сарычев, С.П. Мочалов, В.И. Карпенко // Вестник кемеровского государственного университета. – 2012. – № 4. – С. 153–157.

2. Ермакова Л.А. Математическое моделирование процесса горения капель водоугольного топлива // Материалы 5-й научно-практической интернет-конференции «Междисциплинарные исследования в области математического моделирования и информатики». – Ульяновск, 2015. – С. 173–178.