

Моделирование «холодного» течения двухкомпонентной смеси в газоздушном тракте горелки КМ-1726 в топке котла КМ-1724

В.В. Шмелев¹, М.Л. Смирнова¹, В.П. Силин², В.Б. Кулемин², А.В. Фролов²
¹ ООО «ТЕСИС»

² ОАО «Нижегородский машиностроительный завод»

Постановка задачи

Моделирование «холодного» течения (без воспламенения) двухкомпонентной смеси (природный газ + воздух) в тракте горелки КМ-1726 в топке котла КМ-1724 (рис. 1) выполнено для кругового сегмента (1/6 часть), выбранного в силу круговой повторяемости элементов конструкции горелки через каждые 60 градусов.

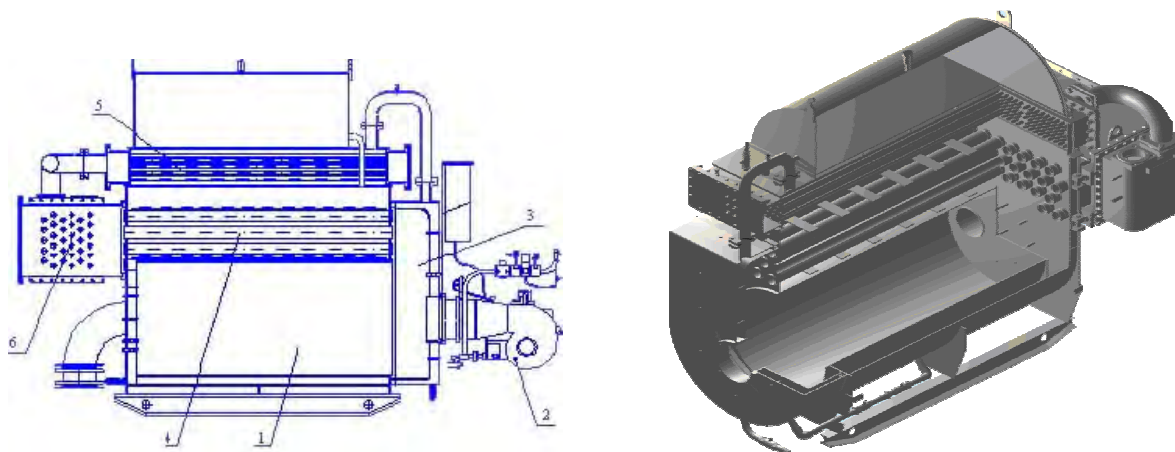


Рис. 1. Схема и трехмерная модель котла КМ-1724
1 – топка, 2 – горелка, 3 – дверь, 4 – конвективная часть,
5 – теплообменник (бойлер), 6 - теплоутилизатор

Трехмерная твердотельная модель конструкции сегмента котла была создана в CAD-системе Autodesk Inventor 10 Series в масштабе 1:1 (рис. 2). Вид проточной части горелки котла, подготовленной в CAD-системе SolidWorks и импортированной во FlowVision, приведен на рис. 3 и 4.

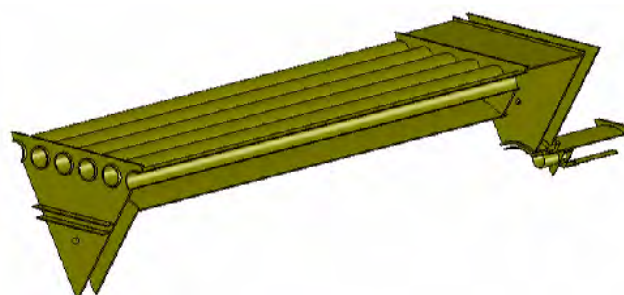


Рис. 2. Геометрическая модель конструкции горелки

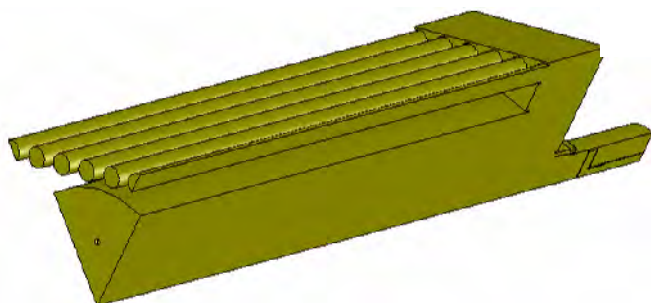


Рис. 3. Внешний вид проточной части горелки

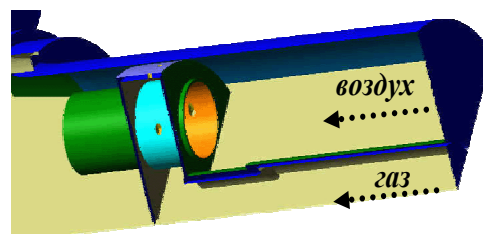


Рис. 4. Внутренний вид проточной части горелки

Моделирование выполнено в рамках модели турбулентного течения слабосжимаемой 2-х фазной среды с возможностью учета горения газовых смесей. Рассчитываемые уравнения: уравнения Навье-Стокса, уравнения для переноса

турбулентной энергии и диссипации (стандартная k-ε модель турбулентности), уравнение конвективно-диффузионного переноса для концентрации.

Течение рассчитывалось при следующих параметрах:

- температура $T=293^{\circ}\text{K}$;
- начальное давление $P=101325\text{ Па}$;
- расход газа $V_{\text{г}}=8,5\text{ м}^3/\text{час}$;
- расход воздуха $V_{\text{в}}=97\text{ м}^3/\text{час}$.

На стенках конструкции было задано условие непротекания с пограничным слоем, характеризующимся логарифмическим законом изменения касательной компоненты скорости. На отсекающих сегмент поверхностях определено периодическое граничное условие, выбор которого обусловлен анализом течения, свидетельствующим о закрученности потока в объеме топки.

Построение расчетной сетки

Построение конечно-объемной расчетной сетки проводилось с учетом характера течения вблизи элементов конструкции горелки, имеющих различные линейные размеры. Начальная расчетная сетка, приведенная на рис. 5, была принята равномерной во всей расчетной области.

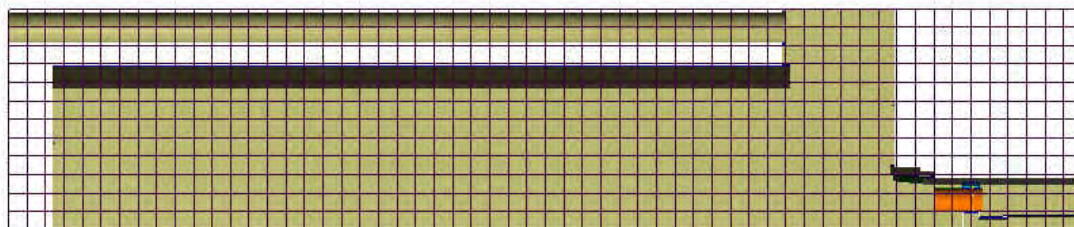


Рис. 5. Начальная расчетная сетка

Для более детального разрешения течения вблизи стенок проведена адаптация расчетной сетки различного уровня по поверхности. Дополнительно проведена адаптация ячеек сетки в объеме смесителя и зоне активного смешения за смесителем. Вид расчетной сетки с учетом адаптации для указанных элементов приведен на рис. 6 и 7.

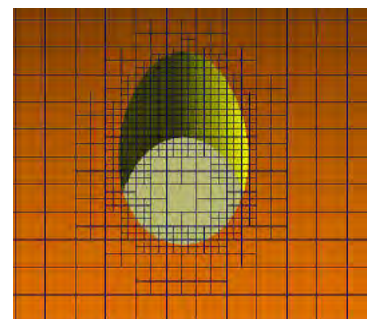


Рис. 6.

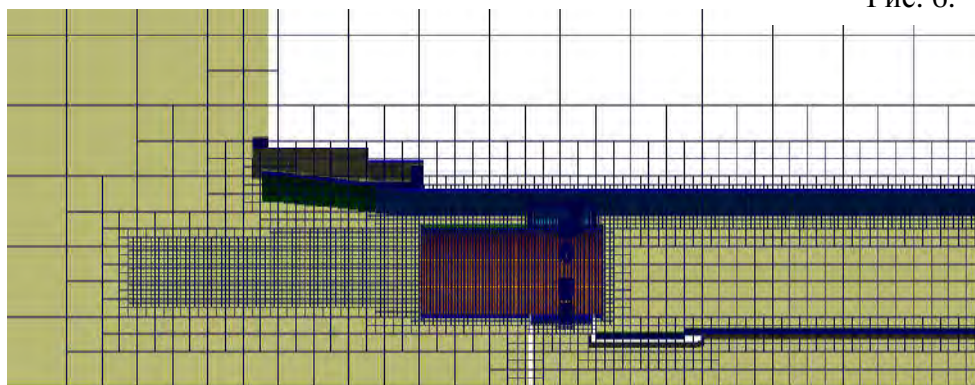


Рис. 7. Вид расчетной сетки в областях подачи и смешения газов

Результаты расчета

Критерием установления стационарного течения была принята величина относительного изменения избыточного давления на входе (рис. 8).

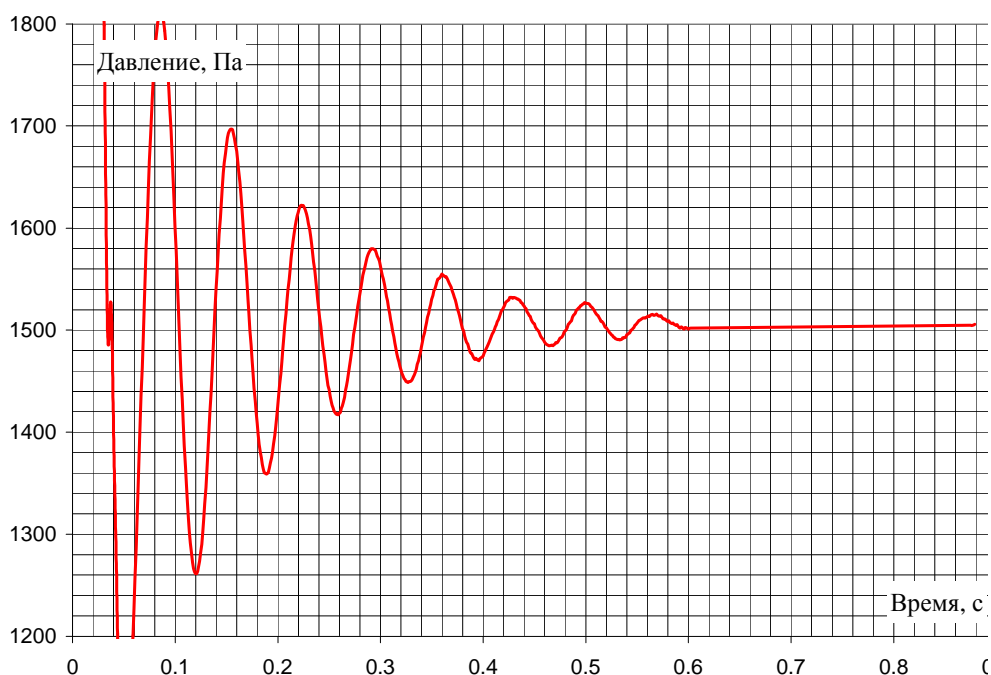


Рис. 8. Изменение давления газа на входе со временем

Результаты моделирования установившегося «холодного» течения смеси в подводящих каналах, смесительных трубах и топке котла представлены в виде поля скоростей, распределения концентрации природного газа и коэффициента избытка воздуха.

На рис. 9 приведено поле скоростей, изображающее течение воздуха в проточной части конструкции. Дополнительно, в виде кривой красного цвета приведена линия нулевой продольной компоненты скорости, что позволяет визуально оценить зоны прямого и обратного течения в топке. На рисунке видна такая зона обратного течения и в головке горелки, что очень важно для предотвращения процесса отрыва пламени.

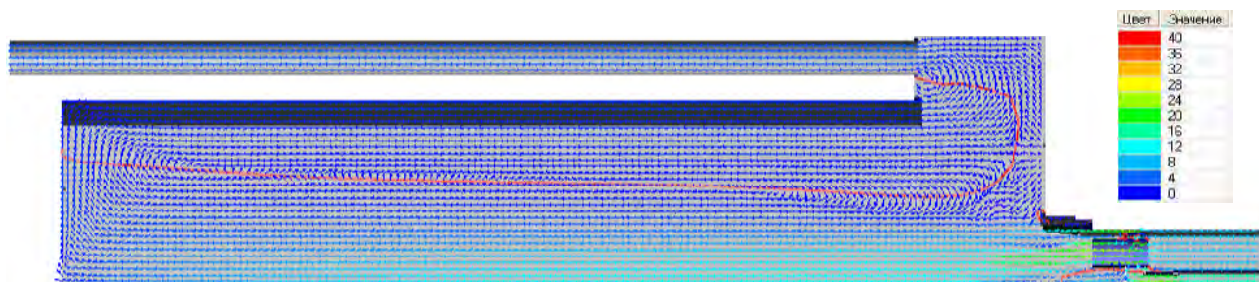


Рис. 9. Общий вид поля скоростей в проточной части котла

На рис. 10 приведено поле скоростей в газораспределительном канале в сечении плоскостью, перпендикулярной направлению потока (тиражирование расчетного сегмента области до получения полной модели проведено с использованием средств программного комплекса FlowVision). Поток газа на входе в смеситель закручивается, однако направление течения в отверстиях не полностью совпадает с осью отверстий газораспределительного канала. Расположение этих отверстий определяет характер течения в канале, в частности, зоны вихреобразования.

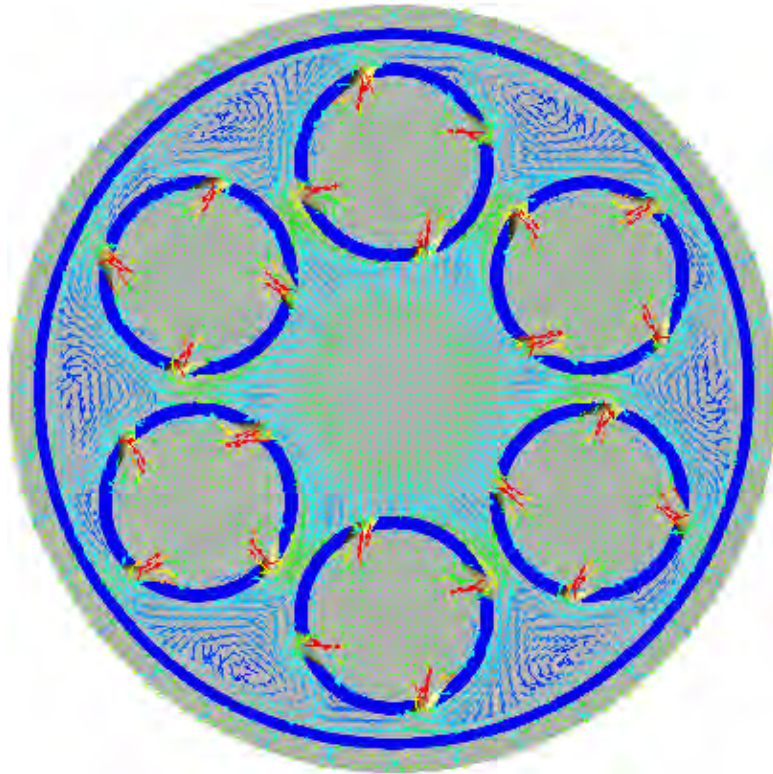


Рис. 10. Поле скоростей в газораспределительном канале.

На рис. 12-17 в виде цветовой заливки представлено распределение концентрации природного газа. В виде красной линии на каждом рисунке приведено положение сечения относительно оси топки. Таблица соответствия цвета и значения приведена на рис. 11.

Картина распределения концентрации в перпендикулярных оси топки сечениях показывает закрутку газового потока как внутри смесительной трубы, так и за ней. Видно, какая доля объема смесительной трубы является зоной смешения компонентов газовой смеси, отчетливо прослеживается струйный характер течения природного газа. Полное смешение газов наблюдается на расстоянии от смесителя порядка трех его диаметров.

Цвет	Значение
Красный	1
Оранжевый	0.902
Желтый	0.804
Зеленый	0.7
Светло-зеленый	0.6
Светло-голубой	0.5
Синий	0.402
Темно-синий	0.304
Голубой	0.2
Темно-голубой	0.1
Черный	0

Рис. 11.

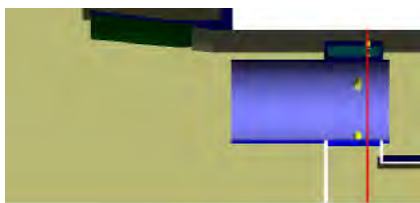


Рис. 12. Сечение 1

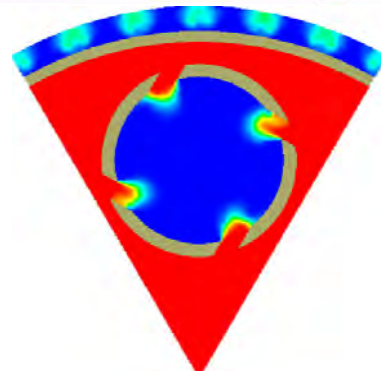
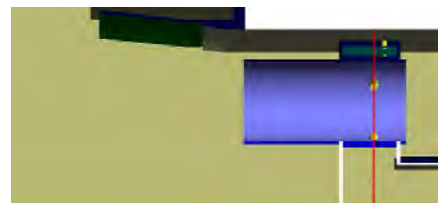


Рис. 13. Сечение 2

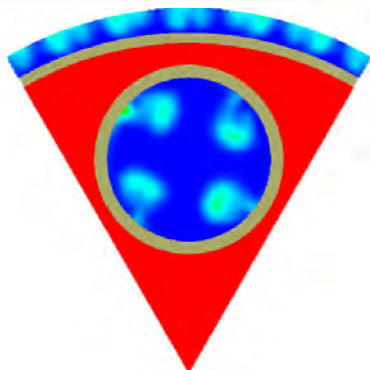
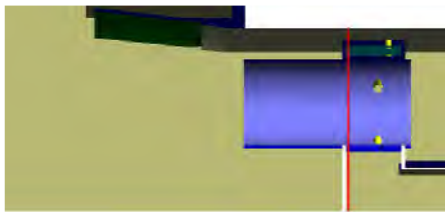


Рис. 14. Сечение 3

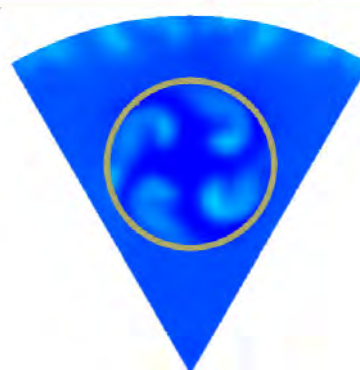
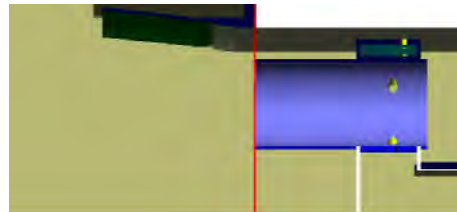


Рис. 15. Сечение 4

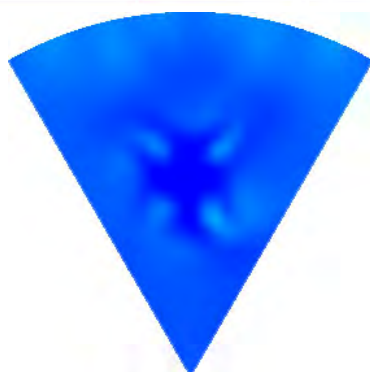
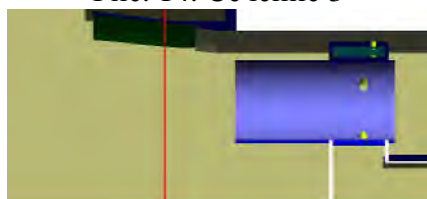


Рис. 16. Сечение 5

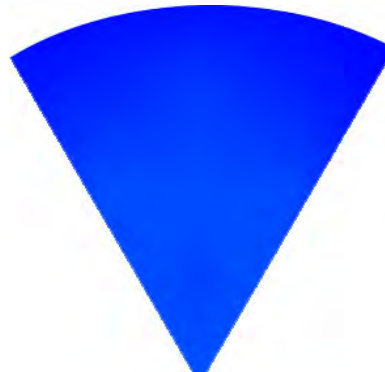


Рис. 17. Сечение 6

Рис. 12-17. Распределение концентрации горючего.
Сечение плоскостью, перпендикулярной оси топки

На рис. 18 приведено распределение коэффициента избытка воздуха α , показывающее зоны, где может быть осуществлен поджиг при инициализации процесса горения (значение $\alpha=1$). Смесь с коэффициентом избытка воздуха $\alpha=1$ распространяется на всю глубину топки.

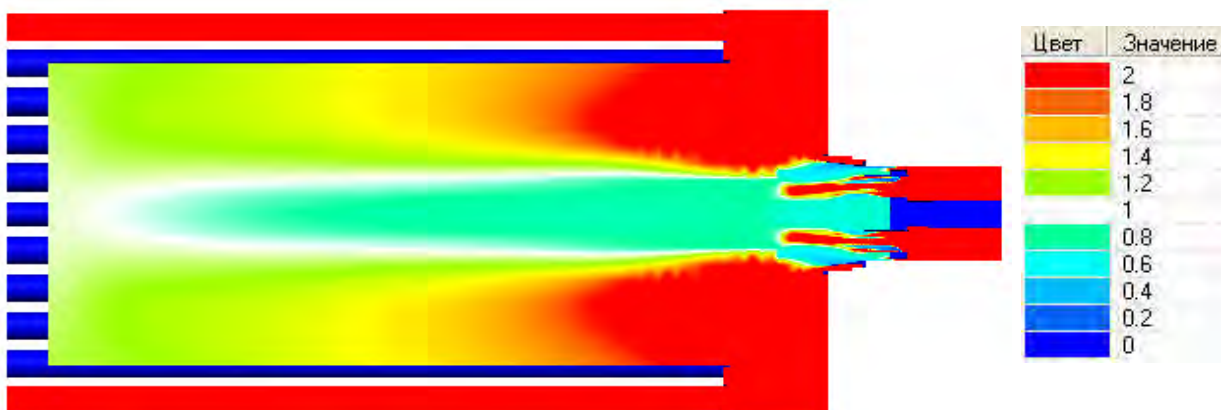


Рис. 18. Распределение α – коэффициента избытка окислителя (воздуха)

В результате проведенного моделирования были получены значения перепадов давления, необходимых для обеспечения заданных расходов газа. Они приведены в табл.1.

Таблица 1.

Массовый расход газа на входе, кг/с	Массовый расход воздуха на входе, кг/с	Избыток давления газа на входе (по отношению к начальному), Па	Избыток давления воздуха на входе (по отношению к начальному), Па
0.003	0.035	1556	244.5

Заключение

1. В программном комплексе FlowVision проведено моделирование «холодного» течения двухкомпонентной газовой смеси в горелке котла КМ-1724. Для этого:

- подготовлена твердотельная модель проточной части горелки на основе твердотельной геометрической модели конструкции;
- построена расчетная модель;
- в результате решения получены характеристики течения газовой смеси в виде поля скоростей, распределения концентрации горючего и коэффициента избытка окислителя.

2. Проведен анализ течения, свидетельствующий о том, что:

- поток смеси закручивается как в пределах смесительных труб, так и после них в объеме топки;
- поджиг смеси от искры может быть осуществлен надежно практически в любой точке за горелкой, что подтверждает экспериментальная доводка горелки;
- распределение α по потоку в сечениях практически равномерно, что определяет высокую вероятность реализации кинетического режима горения с коротким факелом.

3. Проведенный анализ показал возможность применения программного комплекса FlowVision для решения рассматриваемого класса задач и создания на его основе виртуального испытательного стенда для отработки функциональных элементов конструкции горелок и котлов.