

СЕКЦИЯ «ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ»

**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТОПОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРИ СЖИГАНИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА**

ГИЛЬ А.В.

*доцент НОЦ И.Н. Бутакова, канд. техн. наук,
Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск*

ТАЙЛАШЕВА Т.С.

*доцент НОЦ И.Н. Бутакова, канд. техн. наук,
Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск*

Представлены результаты численного исследования топочных процессов в топке котла БКЗ-210-140 согласно схеме организации сжигания природного газа взамен твердого топлива, выполненные на основе разработанного пакета прикладных программ FIRE 3D. Оценка полученных результатов позволяет констатировать, что исследованная схема удовлетворяет требованиям надежности и эффективности эксплуатации котельных агрегатов на номинальной нагрузке.

Ключевые слова: котельный агрегат, топочная камера, процессы горения, математическое моделирование.

В настоящее время направленность топливной политики отечественной энергетики в регионе Дальнего востока и, в частности, Приморского края характеризуется увеличением объемов потребления природного газа для сжигания в пылеугольных (по проекту) котельных агрегатах ТЭС. Этому способствовало освоение сахалинских месторождений природного газа и строительство сети магистральных газопроводов на материковой части.

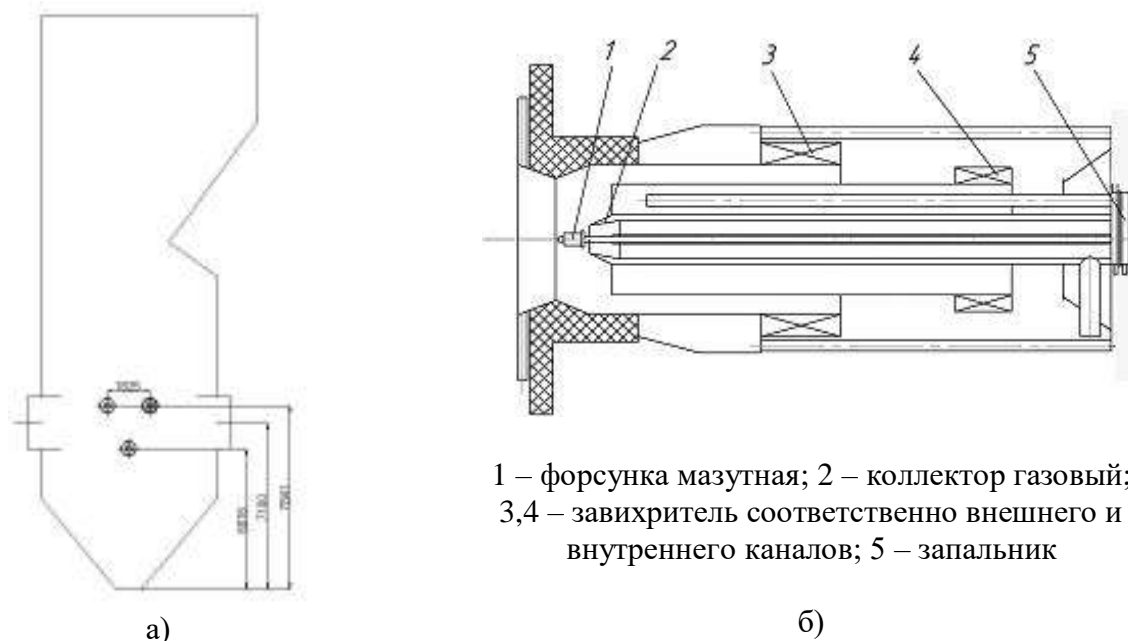
Выполняемые реконструкционные мероприятия для пылеугольных котельных агрегатов должны обеспечивать высокую эффективность сжигания природного газа с минимальными выбросами вредных веществ.

Поскольку условия выгорания топлива и надежность внутрикотловой гидродинамики всецело зависят от топочных процессов, то для их анализа в качестве оперативного инструментария использованы методы численного моделирования, которые позволяют эффективно решать математические модели численными методами, заменяя трудозатратный натурный эксперимент численным.

Объектом исследования является котельный агрегат БКЗ-210-140, который в различных модификациях установлен на многих ТЭС Дальнего востока.

В качестве наименее затратного рассматривается вариант перевода котельного агрегата с твердого топлива на газообразное по схеме подачи природного газа на сжигание через шесть газомазутных горелочных устройств, расположенных по три на боковых стенах треугольником вниз (рис. 1, а). Имеющиеся пылевоздушные прямоточные горелки отключаются по каналам топливоподачи, а часть воздуха поступает на их охлаждение по воздушным щелям.

К установке приняты газомазутные горелки (рис. 1, б) мощностью 35 МВт многоканальные – с центральной подачей газа и периферийной подачей воздуха. Горелки имеют коэффициент регулирования по тепловой мощности не менее 3,3, а коэффициент гидравлического сопротивления – не выше 4 при общем перепаде давления в пределах 2500 Па.



1 – форсунка мазутная; 2 – коллектор газовый; 3,4 – завихритель соответственно внешнего и внутреннего каналов; 5 – запальник

Рисунок 1. Схема реконструкции для сжигания природного газа в топке котла: а) компоновка горелочных устройств; б) конструктивная схема вихревой горелки

Теплота сгорания сухого природного газа составляет 36,20 МДж/м³, расход – 4,442 м³/с, коэффициент избытка воздуха на выходе из топки – 1,05.

Численные исследования топочных процессов проведены с использованием пакета прикладных программ FIRE 3D [1, 2] с применением Эйлерава способа описания аэротермохимических процессов. Математическое описание аэродинамики распространяющихся горелочных струй в топочном объеме осуществляется с учетом дозвукового характера турбулентных течений

в топках с использованием стандартной полуэмпирической «к-ε» модели турбулентности [3].

Используемая пространственная математическая модель аэродинамики, конвективного и радиационного теплообмена, массопереноса и горения природного газа предполагает, что процесс стационарен, а теплофизические свойства газовой фазы зависят от концентрации компонентов и температуры. Горение газообразного топлива описывается согласно реакции:

$$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O$$

Для входных границ используются известные однородные распределения для всех характеристик. На выходных границах ставятся мягкие граничные условия. В качестве граничных условий на стенках топочного объема используются условия прилипания для скорости, граничные условия первого рода для температуры газа, равенство нулю производной по нормали концентраций компонент газа.

Таким образом, поставленная задача решалась численно на неравномерных шахматных сетках с количеством ячеек 372240 в декартовой системе координат методом установления. Дискретизация исходных дифференциальных уравнений осуществлялась с помощью метода контрольного объема. Диффузионные потоки на гранях контрольного объема аппроксимировались центральной разностной схемой, имеющей второй порядок точности. Для определения конвективных потоков использовалась монотонизированная противопотоковая схема второго порядка Ван Лира.

Численные результаты исследования аэродинамической структуры потоков (рис. 2) показывают, что в объеме топочной камеры устанавливается умеренный скоростной режим высокотемпературных газовых потоков. Максимальные значения скоростей наблюдаются на уровне расположения горелочных устройств, что определяется распространением соосных закрученных струй по ширине топочной камеры. Выше уровня расположения горелок средние значения скоростей составляют от 4 до 11 м/с. У фронтальной и тыльной стен образуются симметричные относительно продольной оси топки зоны рециркуляции (рис. 2, в), что отражается на периферийном подводе к корню факела высокотемпературных газов и смещению горелочных струй вдоль продольной оси топки.

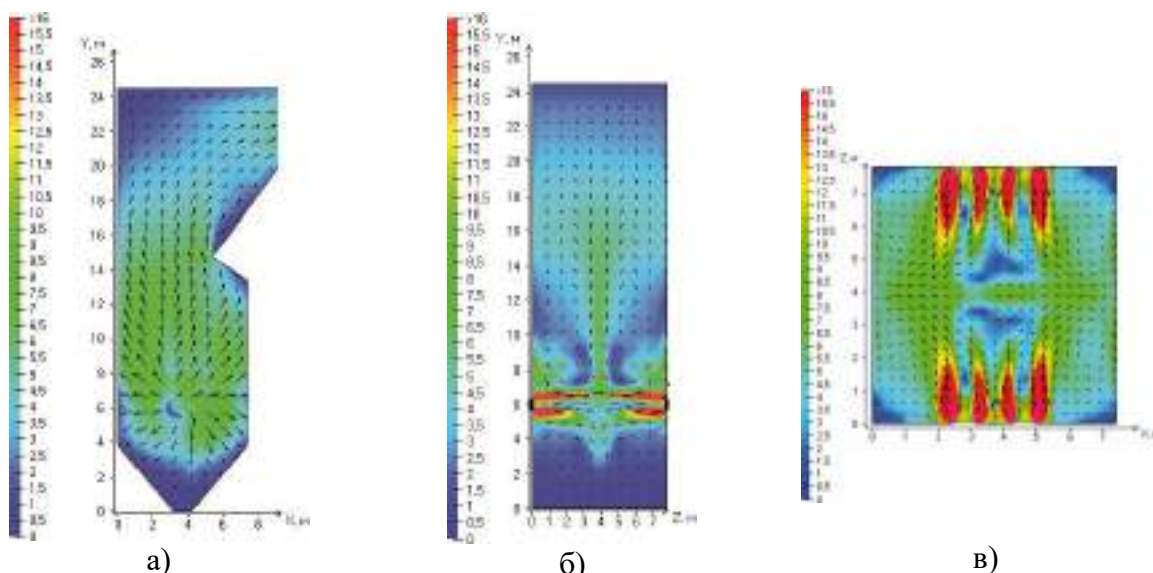


Рисунок 2. Аэродинамическая структура потока в топке: а) в вертикальном сечении по продольной оси топки; б) в вертикальном сечении по поперечной оси топки; в) в горизонтальном сечении по оси горелок верхнего яруса

Зона активного горения с максимальными значениями температур 1800 – 1900 К располагается на уровне горелочных устройств (рис. 3). Она не представляет единого целого, а концентрируется в двух ядрах, прилежащих к боковым экранам. Внутри этих объемов не наблюдается больших температурных градиентов. Выше и ниже зоны активного горения температурный уровень достаточно равномерный в среднем составляет 1250 К.

Наибольшая концентрация горючих веществ наблюдается на выходе горелочных струй (рис. 4). В зоне активного горения она значительно снижается и на выходе из топочной камеры составляет не более 0,05 – 0,1 %, что соответствует допустимому недожогу горючих веществ при сжигании природного газа в топках котельных агрегатов с соответствующей паропроизводительностью.

По графику температурного уровня по высоте топочной камеры (рис. 5) можно отметить, что на уровне середины холодной воронки температура составляет около 1100 °С, а в дальнейшем увеличивается, и достигает максимального значения (1350 °С) на высоте 7 м. Затем температура снижается и на выходе из топки составляет 1050 °С, что согласуется с поверочным расчетом (1030 °С) по нормативному методу теплового расчета котлов [4].

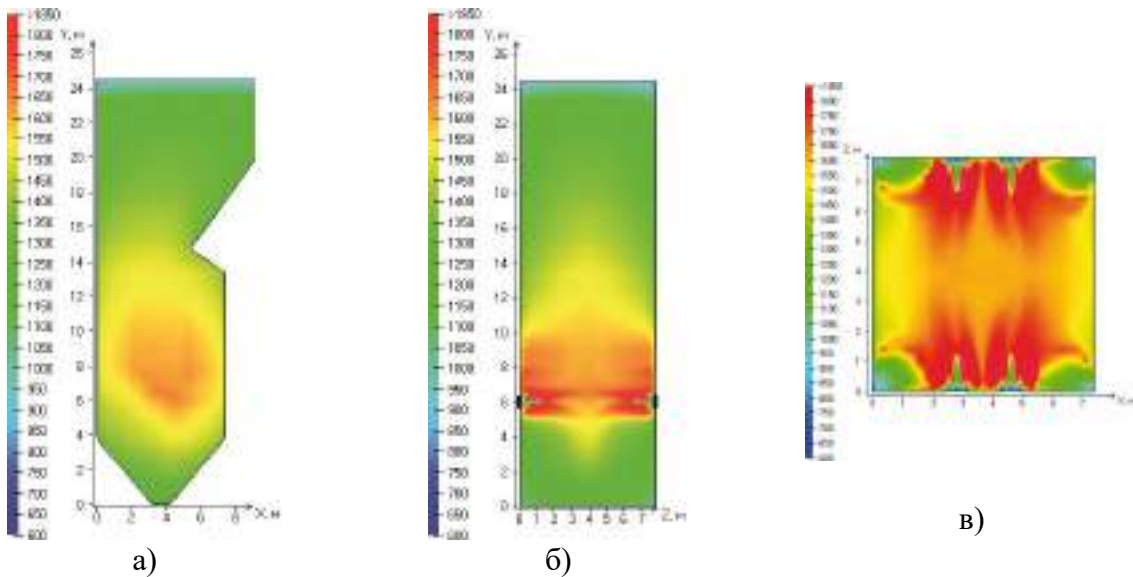


Рисунок 3. Температурные поля (К) в топке: а) в вертикальном сечении по продольной оси топки; б) в вертикальном сечении по поперечной оси топки; в) в горизонтальном сечении по оси горелок верхнего яруса

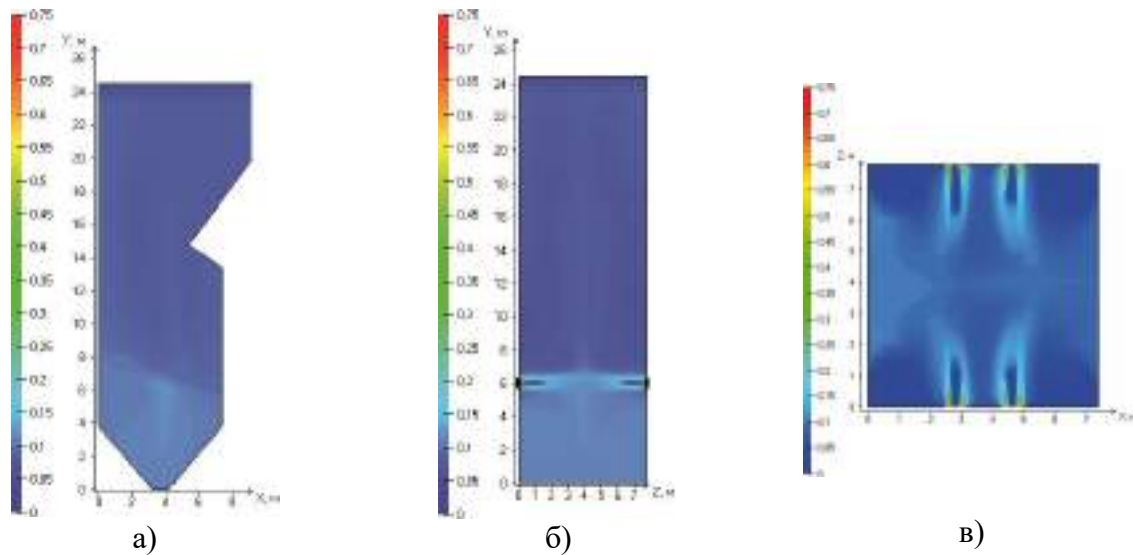


Рисунок 4. Концентрация горючих веществ (%) в топке: а) в вертикальном сечении по продольной оси топки; б) в вертикальном сечении по поперечной оси топки; в) в горизонтальном сечении по оси горелок верхнего яруса

Полученные результаты свидетельствуют о пригодности исследованной схемы организации сжигания природного газа для надежной эксплуатации котельного агрегата при номинальной паропроизводительности. В частности, температурный уровень в топочной камере характеризуется умеренными значениями, что положительно отразится на условиях генерации оксидов азота, а также. Недожог горючих компонентов топлива соответствует нормативным значениям. В качестве рекомендации к улучшению схемы сжигания можно

отметить возможность установки сопел третичного дутья с целью достижения более глубокого снижения генерации оксидов азота в основной зоне горения.

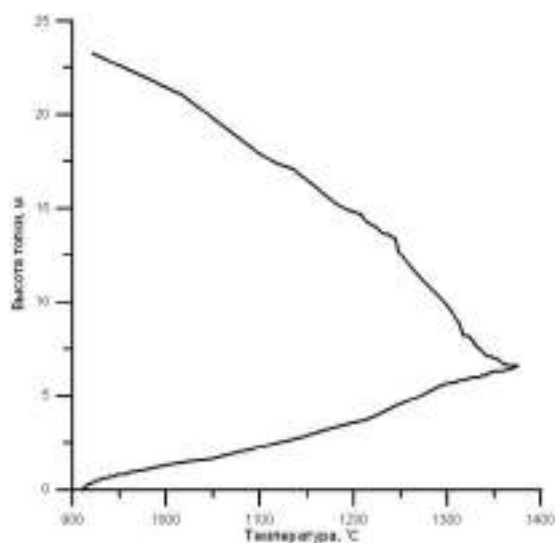


Рисунок 5. Характер изменения средней температуры по высоте топочной камеры

Список литературы

1. Гиль А.В., Заворин А.С., Лебедь Д.В., Старченко А.В. Численное исследование сжигания резервного топлива в топке котла БКЗ-210-140 // Известия Томского политехнического университета. 2014. Т. 325. № 4. С. 65-75.
 2. Гиль А.В., Заворин А.С., Красильников С.В., Обухов С.В., Старченко А.В. Исследование аэродинамики и горения в топке котла БКЗ-420-140 применительно к вариантам замещения проектного топлива // известия томского политехнического университета. 2007. т. 310. № 1. с. 175-181.
 3. Бубенчиков А.М., Старченко А.В. Численные модели динамики и горения аэродисперсных смесей в каналах. – Изд-во Том. ун-та. – 1998. – 236с.
 4. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод). – СПб.: Изд-во НПО ЦКТИ, 1998. – 256 с.
-