

**ТРЕХМЕРНОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
АЭРОДИНАМИКИ УНИВЕРСАЛЬНОГО ГОРЕЛОЧНОГО УСТРОЙСТВА
СОВРЕМЕННЫХ ТЭС**

**Седельников Н. В., Сверкунов Д. М.,
научный руководитель док. тех.наук, профессор Дубровский В. А
ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»**

Аннотация

Работа посвящена исследованию аэродинамики универсального энергоэффективного горелочного устройства установленного на ОАО «ОГК-2» Красноярской ГРЭС-2» на котле БКЗ 420, ст.№9Б. С использованием методов трехмерного математического моделирования проведены исследования по изучению процесса сепарации угольных частиц различных размеров в муфельной части универсального горелочного устройства, позволивших разработать технические предложения по повышению эффективности его работы

Расширение потребления угольного топлива в России обусловлено, прежде всего, освоением углей Канско-Ачинского бассейна (КАбасса) – крупнейшего бурогоугольного бассейна России, который является основой энергетической безопасности нашей страны. Более половины потребления канско-ачинских углей (КАУ) приходится на теплоэнергетику Красноярского края.

Объем добычи углей на крупных разрезах Канско-Ачинского бассейна в краткосрочном периоде будет зависеть от развития тепловых электростанций объединенной энергетической системы (ОЭС) Сибири.

В лаборатории «Эколого энергоэффективное сжигание углей» кафедры «Тепловые электрические станции» Политехнического института ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» разработана технология термической подготовки КАУ в универсальном энергоэффективном горелочном устройстве непосредственно в условиях тепловой электрической станции как для организации растопки топочных камер так и при работе котлов на пониженных нагрузках без применения дорогостоящего жидкого топлива-мазута.[1].

В настоящее время на котле БКЗ-420 ст. №9Б Красноярской ГРЭС -2 проведены опытно-промышленные испытания универсального энергоэффективного горелочного устройства.

На рисунке 1 представлен эскиз универсального энергоэффективного горелочного устройства.

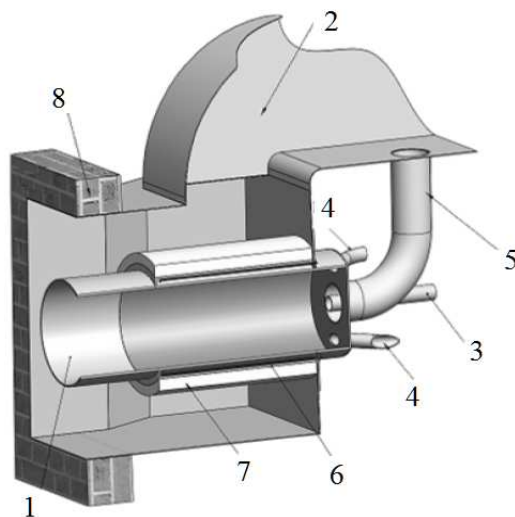


Рис. 1 - Эскиз универсального энергоэффективного горелочного устройства
 1 – реакционная труба ; 2 – короб подвода вторичного воздуха; 3 – устройство подвода пыли высокой концентрации (ПВК); 4 – тангенциальный патрубок подачи первичного воздуха; 5 – патрубок осевой подачи первичного воздуха; 6 – система нагрева; 7 – теплоизоляция; 8 – амбразура котла.

Универсальное энергоэффективное горелочное устройство состоит из реакционной трубы 1 и короба подачи вторичного воздуха 2. Патрубок пыли высокой концентрации (ПВК) 3 соединен трубопроводом с пылепитателем, оборудованным двигателем с частотным приводом, что позволяет плавно регулировать подачу пылеугольного потока в горелочное устройство. Расход ПВК зависит от числа оборотов двигателя пылепитателя и изменяется от 150 об/мин до 1500 об/мин, что составляет от 0,139 кг/сек до 1,39 кг/сек. Первичный воздух подается в горелку тангенциально через воздухопроводы 4, расположенные на торцевой стенке горелочного устройства и трубопровод 5 установленный по оси горелки. Первичный воздух поступает в трубопровод 5 от короба вторичного воздуха 2. На трубопроводе 5 предусмотрена установка запорно-регулирующей аппаратуры позволяющей регулировать расход первичного воздуха в зависимости от подачи ПВК, что позволяет устанавливать необходимый режим газификации.

Пуск и работа горелки осуществляется путем нагрева стенки реакционной трубы системой электронагрева 6 до температуры 600–700°C, с последующей подачей в горелку первичного воздуха по воздухопроводам (4, 5) и ПВК через патрубок (3).

В результате опытно - промышленных испытаний на Красноярской ГРЭС-2 универсальное горелочное устройство показало высокую эффективность, стабильность и надежность в работе, как при пуске котла из холодного состояния, так и в штатном режиме. Следует особо отметить, что подключение горелочного устройства в работу в режиме подсветки происходит без предварительного прогрева и применения мазута за счет тепла от обратного излучения из топочного объема.

В тоже время при длительной эксплуатации горелки в результате сепарации и осаждения частиц на стенки изменяется её аэродинамика, что при продолжительной эксплуатации горелки может привести к аварийным режимам работы. Для предотвращения аварийных режимов в настоящее время необходима периодическая очистка реакционной трубы горелки.

Цель данной работы является исследование вопросов сепарации и предотвращения аварийных режимов работы. Для решения поставленной задачи

разработана математическая модель описания течений в реакционной трубе горелки. Модель включает уравнения неразрывности, уравнения баланса количества движения, уравнение переноса концентрации компонент. Для описания турбулентных характеристик течения используется модифицированная модель турбулентности [2], а для описания процессов движения угольных частиц использовался метод Лагранжа.

Распределение по фракциям сделано на основе распределения Розина-Рамлер, при остатке на сите $R_{200} = 22\%$

Скорость витания частиц угля определена, по формуле:

$$V_{вит} = 5.22 \cdot \sqrt{\frac{d_m \cdot v_m}{v_2}}, \text{ где:}$$

d_m - диаметр частиц; v_2 - удельный вес газа; v_m - удельный вес угля.

Для фракций 200 мкм $V_{вит} = 8$ м/сек, а для 10мкм $V_{вит} = 3,5$ м/сек

С целью построения сеточной модели муфельной части горелочного устройства использована программа σGrid [3] (рис. 2). Проведение численного моделирования и анализа полученных результатов выполнены с помощью программы σFlow[3].

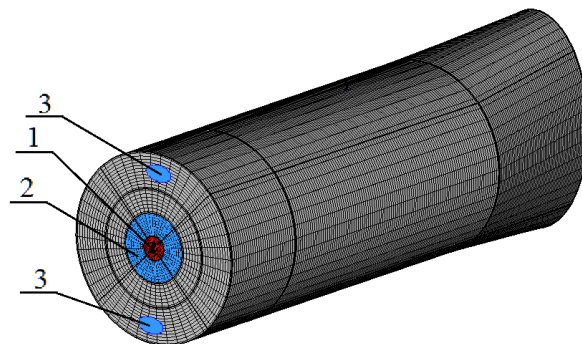


Рис. 2 - Расчетная сетка горелочного устройства

1 – ввод ПВК; 2 – ввод первичного воздуха соосно потоку ПВК; 3 – ввод тангенциального воздуха.

Проведенные численные исследования изотермической задачи движения угольной пыли в объеме муфеля горелки позволили выбрать оптимальный угол ввода первичного воздуха для исследуемого горелочного устройства в пределах 40° – 50° к вертикальной плоскости горелки.

Увеличение угла ввода патрубка тангенциальной подачи воздуха более 50° приводит к резкому увеличению массы сепарирующихся частиц угля в муфеле. При значениях ниже 50° наблюдается незначительное количество сепарирующихся угольных частиц, масса их составляет в среднем 3–5% от общего количества, поступающего в горелку топлива. Но в тоже время уменьшение угла ввода патрубка менее 40° приводит к возникновению циркуляционных зон в горелочном устройстве и неустойчивости пылевоздушного потока. Это приводит к неравномерному распределению угольных частиц на выходе из муфельной части горелки, и как следствие, к неустойчивому воспламенению в объеме топочной камеры котла.

Таким образом, наилучший угол ввода патрубка тангенциальной подачи первичного воздуха для исследуемого горелочного устройства находится в пределах 40° – 50° .

Выполнены расчетные исследования по установлению режимов термической подготовки угольной пыли для расходов от 150 до 1500 об/мин (от 0,139 кг/с до 1,39 кг/с) и воздуха, в качестве примера был взят угол ввода первичного воздуха 45°, расход воздуха составлял: на входе 1 - 360 м³/час, на входе 2 - 1000 м³/час, на входе 3-4 - 1610 м³/час.

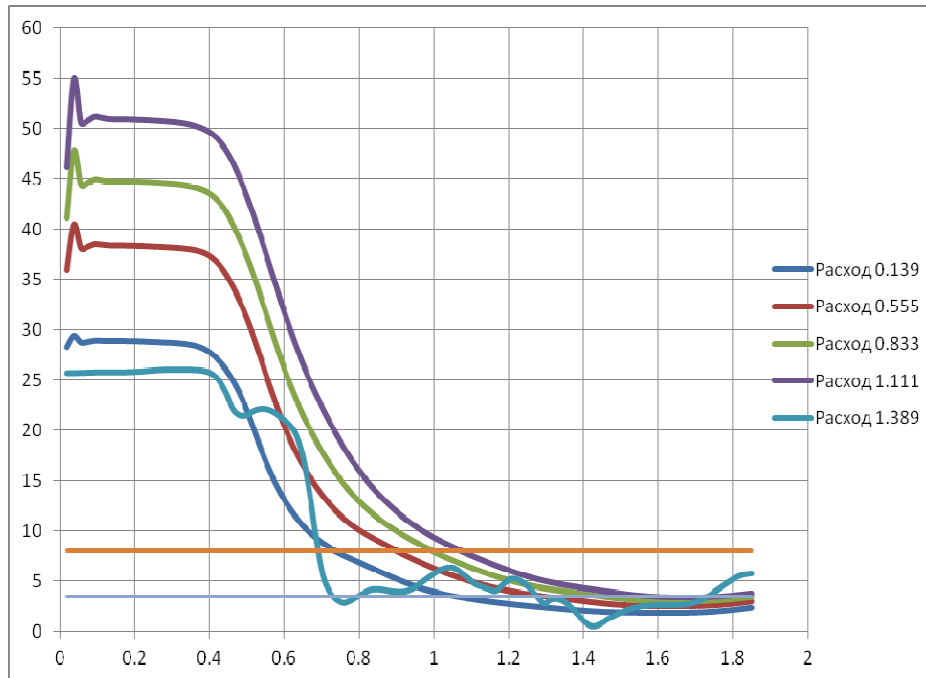


Рис. 3 - Изменение величины скорости в осевой части по длине горелочного устройства от расхода ПВК сечение по прямой с координатами $x_1(0,0,0)$ и $x_2(0,0,0)$

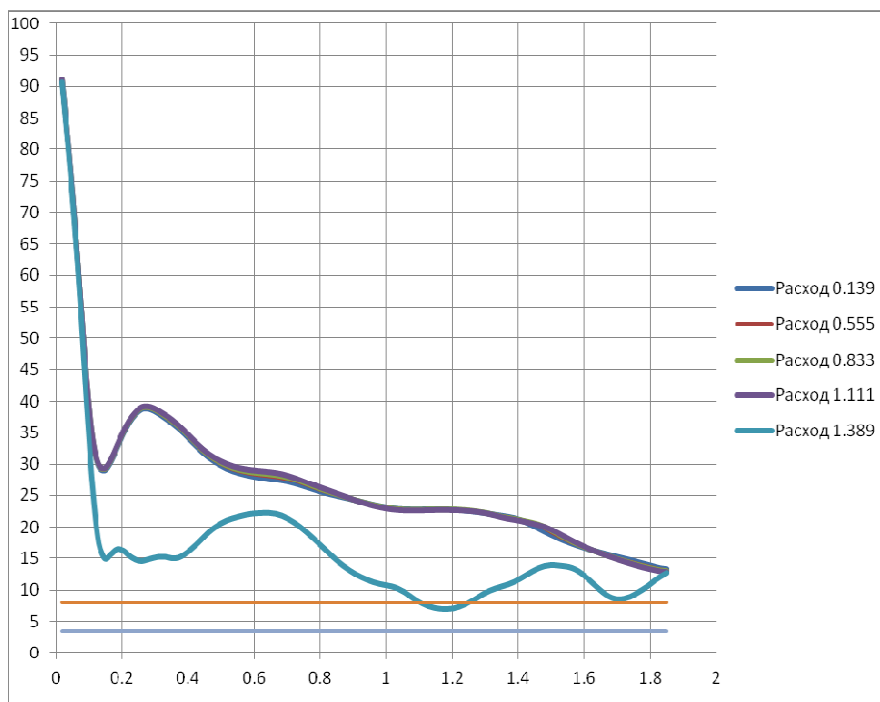


Рис. 4 - Изменение величины скорости потока в пристеночной области по длине горелочного устройства от расхода ПВК, сечение по прямой с координатами $x_1(0,0.25,0)$ и $x_2(0,0.25,0)$

Результаты математического моделирования отражены на графиках Рис. 3 и Рис.4.

Анализ графиков показал, что скорость потока изменяется по длине горелочного устройства и зависит от расходов ПВК.

Анализ Рис. 3.

Как видно из графиков скорость потока на входе в горелку резко повышается от 30 м/сек до 3 м/сек (от 25 до 55, 48, 41, 28 м/сек) затем падает до 51, 44, 38, 27 /сек и далее стабилизируется на этом уровне до длины 0,3 м, что обусловлено прохождением потока из вводов 1,2 по трубной вставке длиной 0,3 м и исключением влияния на поток ПВК тангенциального воздуха из вводов 3. При выходе потока из вставки скорость потока по оси горелки в зависимости от увеличения расхода ПВК монотонно уменьшается по длине горелки для расходов от 0,139 до 1,111 кг/сек. При этом кривые скоростей по длине горелочного устройства при указанных расходах ПВК подобны.

При повышении расхода ПВК до 1,389 кг/сек, что соответствует максимальному значению оборотов пылепитателя (1500 об/мин), скачки скорости на входе в горелку практически отсутствуют. При выходе потока из вставки характер движения указанной кривой резко изменяется, он становится пульсирующий, что указывает на расслоение и турбулизацию потока.

Критическая скорость сепарации частиц ПВК из потока составляет $V_{\text{вит}} = 8$ м/сек для частиц 200мкм, а для 10 мкм. $V_{\text{вит}} = 3,5$ м/сек Кривые скорости опускаются ниже $V_{\text{вит}} = 8$ м/сек на длине горелки от 0,7 м до 1,19 м и ниже $V_{\text{вит}} = 3,5$ м/сек на длине горелки от 1,2 м до 1,8 м. На указанных участках происходит сепарация частиц от 200мкм до 10 мкм, т.е практически из осевой части потока выпадают все фракции ПВК и перемещаются в пристеночную зону горелки.

Анализ Рис. 4.

Кривые скоростей моделировались в пристеночной области с координатами 0,25 м по обе стороны от оси горелки для расходов ПВК от 0,139 до 1,111 кг/сек эквидистантны и значительно превосходят критическую скорость сепарации $V_{\text{вит}} = 8$ м/сек, на выходе из горелки скорости не падают ниже 13 м/сек, что показывает значительное превышение скоростей потоков над скоростями витания всех фракций частиц от 200 мкм до 10мкм потока. Кривые монотонно снижаются по длине горелки и имеют слабо выраженный период повышения и понижения скоростей. Выпавшие из осевой части потока частицы в пристеночной области подхватываются потоком в пристеночной области и транспортируются без сепарации до выхода из горелки.

Критическим расходом для сепарационных явлений является расход ПВК равный 1,389 кг/сек, Поведение данного потока в пристеночной области более организовано, чем по оси горелки. Отсутствуют резкие изменения скоростей на графике, скорости изменяются достаточно плавно, но с небольшими пульсациями скоростей по длине горелки имеющих выраженный период повышения и понижения скоростей совпадающий с периодами скоростей ПВК от 0,139 до 1,111 кг/сек

Данное циклическое изменение скоростей видимо связано с тангенциальной подачей воздуха в патрубки 3, тангенциально поданный воздух имеет определённый шаг крутки (550 мм), что и отражается на графике скоростей пиками и впадинами с периодом равным 500 – 600мм. На длине горелки от 1,08 до 1,25 скорость потока снижается ниже скорости витания ($V_{\text{вит}} = 8$ м/сек) до 6 м/сек, что указывает на выпадения из потока частиц более 200мкм и выше. Далее скорость потока

повышается, что связано с изменением сечения горелки, перехода сечения горелки из круглого в эллипс.

Выводы:

1. По результатам моделирования муфельной части горелочного устройства обоснован диапазон наиболее эффективных значений углов ввода патрубка тангенциальной подачи первичного воздуха, который составляет 40-50°.
2. Конструкция предлагаемого горелочного устройства позволяет исключить расслоение потока угольной пыли высокой концентрации (ПВК).
3. Проведенные изотермические расчеты дают важную информацию о совместном движении газового потока и угольных частиц в муфельной части горелочного устройства и являются основой для дальнейших исследований по определению наилучших режимных параметров процесса газификации угольной пыли в муфельной части предлагаемой конструкции горелочного устройства.