

УДК:539.141;537.868;531

ЧИСЛЕННЫЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВИХРЕВЫХ ПЛАЗМЕННО-ТОПЛИВНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ БЕЗМАЗУТНОГО ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УГЛЕЙ

В.Е. Мессерле^{1,2,3}, А.Б. Устименко^{4*}, Ю.Е. Карпенко⁵, М.Ю. Чернецкий^{2,3},
А.А. Дектерев^{2,3}, С.А. Филимонов²

¹ Институт проблем горения, 050012, Казахстан, Алматы, ул.Богенбай Батыра, 172

² Сибирский Федеральный Университет, 660041, Россия, Красноярск, проспект Свободный, 79

³ Институт Теплофизики СО РАН, 630090, Новосибирск-90, проспект Академика Лаврентьева, 1, ИТ СО РАН

⁴ Научно-исследовательский институт экспериментальной и теоретической физики КазНУ им. аль-Фараби, 050040, Казахстан, Алматы, улица аль-Фараби, 71

⁵ ООО «Отраслевой центра плазменно-энергетических технологий», г. Гусиноозерск, 671160, Россия, г. Гусиноозерск, ул. Пушкина, 33

*e-mail: ust@physics.kz

Аннотация

Выполнены исследования процессов подачи пылеугольного топлива и его горения в топке котла, оснащенного вихревыми плазменно-топливными системами. Представлены результаты трехмерного моделирования процессов традиционного сжигания угля и сжигания с плазменной активацией горения в топочном пространстве. Проведены численные исследования вихревой плазменно-топливной системы с подачей аэросмеси через улиточный аппарат. Выявлена зависимость траектории закрученного потока аэросмеси в вихревой плазменно-топливной системе от угла поворота улиточного аппарата и определен оптимальный угол поворота, при котором достигается устойчивое плазменное воспламенение пылеугольного факела. Показано, что применение плазменно-топливных систем на пылеугольных котлах повышает эффективность сжигания энергетических углей при одновременном снижении вредных выбросов. Испытания плазменно-топливных систем на котле БКЗ-420 Алматинской ТЭЦ-2 в режиме растопки котла из холодного состояния подтвердили возможность воспламенения высокосольных Экибастузских углей в холодной топке без подгрева первичного воздуха.

Ключевые слова:

Горение, пылеугольное топливо, термохимическая подготовка, плазма, топка котла, численное моделирование

Введение

В мировой теплоэнергетике при растопке пылеугольных котлов и стабилизации горения пылеугольного факела используют природный газ или топочный мазут. В мире на эти цели расходуют более 50 млн. тонн мазута в год. Известно, что на пылеугольных тепловых электростанциях (ТЭС) России ежегодно сжигают более 5 млн. тонн мазута. Повсеместное снижение качества энергетических углей (повышение зольности и влажности, уменьшение выхода летучих) требует увеличения расхода топочного мазута на ТЭС.

В настоящее время в России эксплуатируется около 200 котлов различной мощ-

ности (ПК-14, ПК-39, П-57, ТПЕ-208, ТПП-110, ТПП-210), сжигающих высокосольные Экибастузские угли и АШ (например, Новочеркасская, Рефтинская, Рязанская, Троицкая и Череповецкая ГРЭС) [13]. Сжигание угля на этих ТЭС производится в виде угольной пыли с подсветкой мазутом и природным газом. Совместное сжигание угля и обладающего более высокой реакционной способностью мазута с различными избытками воздуха (1,2-1,25 и 1,02-1,05 соответственно) ухудшает эколого-экономические показатели котлов: на 10-15 % повышается мехнедожог топлива и на 2-5 % снижается КПД-брутто, возрастает скорость высокотемпературной коррозии экранных поверхностей и снижается надежность эксплуатации котельного оборудования; на 30-40 % увеличивается выход оксидов азота и серы (в случае более высокого содержания серы в мазуте); появляются выбросы канцерогенного пентоксида ванадия, бенз(о)пирена [14, 15].

Единственной известной технологией, обеспечивающей безмазутную растопку котла, подхват и стабилизацию горения пылеугольного факела, является плазменная технология воспламенения углей [1, 2]. Для осуществления этой технологии разработаны плазменно-топливные системы (ПТС), представляющие собой оснащенные электродуговым плазмотроном пылеугольные горелки (рис. 1). Принцип работы ПТС заключается в том, что холодная аэросмесь (смесь угольной пыли с воздухом) нагревается в зоне плазменного факела, образуя из низкосортного угля высокорекреакционное двухкомпонентное топливо (ВДТ). Последнее удовлетворяет современным эколого-экономическим требованиям и представляет собой горючий газ и коксовый остаток, которые активно воспламеняются при смешении с вторичным воздухом в топке котла и устойчиво горят без сжигания дополнительного высокорекреакционного топлива (мазута или газа), традиционно используемых для растопки котлов, подхвата и стабилизации горения пыле-

угольного факела на ТЭС. Численным моделированием и измерениями на выходе экспериментальной топки было показано, что применение ПТС на пылеугольных котлах также повышает эффективность сжигания энергетических углей за счет снижения механического недожога топлива при одновременном снижении выбросов оксидов азота [3, 6].

1. Моделирование и испытание ПТС на котле БКЗ-420 Алматинской ТЭЦ-2

В данной работе представлены результаты моделирования и испытаний ПТС на котле БКЗ-420 Алматинской ТЭЦ-2 (рис. 2). ПТС для котла БКЗ-420 созданы на базе трех основных горелок: двух крайних горелок нижнего яруса и средней горелки верхнего яруса. ПТС размещаются в горелках вместо канала первичной аэросмеси. Это позволило оставить без изменения пылепроводы вторичной аэросмеси (внешний канал аэросмеси) и вторичного воздуха.



Рис. 1 – Вихревая ПТС

ПТС состоит из двух частей: водоохлаждаемого узла установки плазмотрона и муфелизованных каналов термохимической подготовки угля к сжиганию. ПТС была разработана и спроектирована с использованием двух компьютерных программ одномерной – “Плазма-Уголь” [3], учитывающей детальную кинетику термохимических превращений топлива в двухфазном потоке с плазменным источником, и трехмерной – CFD “Cinar ICE” [3], учитывающей геометрию топки, турбулентность среды, радиационный теплообмен и процесс горения угольных частиц по модели быстрой кинетики.

Для численных исследований были выбраны два режима работы котла: традицион-

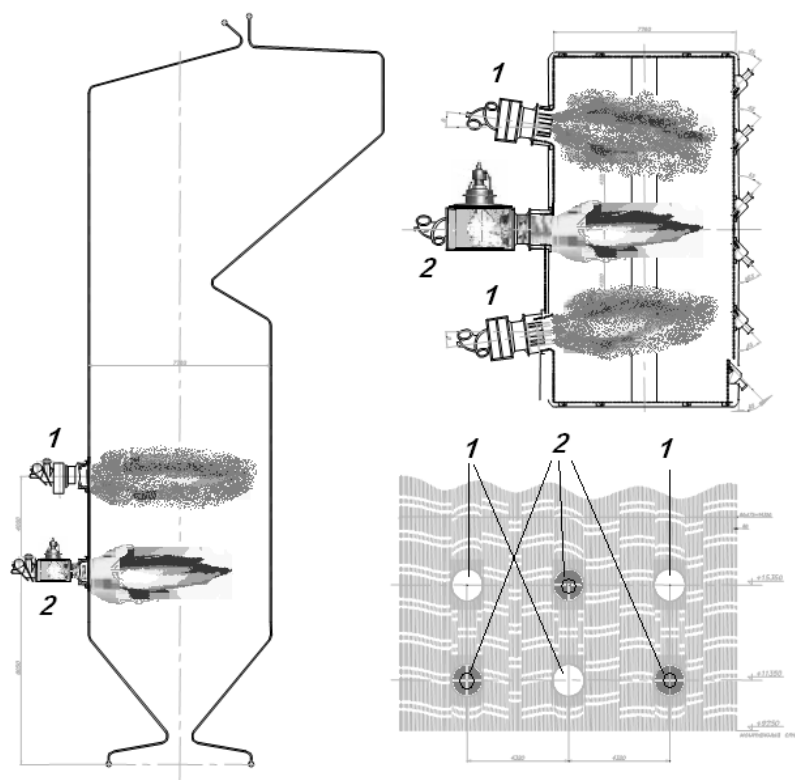
ный (с использованием шести пылеугольных горелок) и с плазменной активацией горения (с заменой трех пылеугольных горелок на ПТС). Параметры ВДТ, получаемого в ПТС из аэро-смеси, рассчитывались с использованием программы Плазма-Уголь. Они являлись начальными параметрами для трехмерного расчета топки котла БКЗ-420, оснащенного ПТС, которые выполнялись по CFD программе Cinar ICE. Эта же программа использовалась и для расчетов традиционного режима сжигания угля в топке котла БКЗ-420, оснащенного штатными вихревыми пылеугольными горелками.

В котле сжигается высокозольный Экибастузский каменный уголь зольностью 40%, выходом летучих 24%, влажностью 5% и теп-

лотой сгорания 4000 ккал/кг. Тонина помола угля составляет $R_{90}=15\%$. Исходные данные для расчета ПТС по программе Плазма-Уголь приведены в табл. 1. Уголь моделируется в виде суммы четырех составляющих: фиксированного углерода (С), летучих (H_2 , H_2O , CO , CO_2 , CH_4), золы и смолы, представленной в виде бензола (C_6H_6). В результате расчета были получены следующие характеристики плазменного процесса образования ВДТ: распределения температур и скоростей газа и частиц, концентраций компонентов газовой фазы, степени газификации и концентрации углерода в коксовом остатке. На выходе ПТС между газом и частицами достигается термическое равновесие при температуре 1025 К, а скорость газового потока достигает 49 м/с, превышая скорость частиц на 1 м/с (табл. 2). Отметим, что скорость потока на выходе из ПТС значительно превышает скорость аэросмеси на выходе традиционных пылеугольных горелок. Концентрация окислителей (CO_2 , H_2O , O_2) на выходе ПТС составляет 19.2 %. Степень газификации угля достигает на выходе 48 %, что вполне достаточно для получения ВДТ.

Полученные интегральные характеристики процесса ПХПТ на выходе ПТС (табл. 2) использовались в качестве начальных параметров при трехмерном численном моделировании горения ВДТ в топке энергетического котла БКЗ-420 с использованием программы Cinar ICE.

Результаты расчета топки приведены на рис. 3 и 4, из которых видно различие полей температуры в двух режимах сжигания угля в топке котла, традиционном (рис. 3) и с предварительной плазменной активацией аэросмеси в трех ПТС (рис. 4). При традиционном сжигании угля образуется шесть пылеугольных факелов с максимальной температурой 1852°C. На рис. 4 ПТС расположена сверху (поперечное сечение топки) и справа (продольное сечение топки). Влияние ПТС проявляется в изменении формы факела ВДТ, высокотемпературные ядра факелов с максимальной температурой 1588°C смещаются ближе к амбразурам горелок и ПТС, а также – в верхнюю часть топки.



1 – штатная вихревая двухпоточная пылеугольная горелка, 2 – ПТС

Рис. 2 – Схема компоновки ПТС и основных пылеугольных горелок на котле БКЗ-420 АТЭЦ-2

Результаты расчета топки в традиционном и плазменном режимах сведены в табл. 3.

Из таблицы следует, что концентрация остаточного углерода, характеризующая пол-

Таблица 1 – Исходные данные для расчета ПТС

Параметр						Значение	
Мощность плазмотрона, кВт						200	
Начальная температура аэросмеси, К						362	
Расход угля через горелку или ПТС, кг/час						6000	
Расход первичного воздуха, кг/час						8955	
Длина ПТС, м						3.687	
Состав угольной пыли, масс. %							
Зола	C	H ₂	H ₂ O	CO	CO ₂	CH ₄	C ₆ H ₆
40.0	46.18	2.63	1.84	3.95	1.4	0.55	3.45

Таблица 2 – Состав ВДТ на выходе ПТС

Состав газовой фазы, об. %								Зола, кг/ч	C, кг/ч
H ₂	CO	CH ₄	C ₆ H ₆	CO ₂	H ₂ O	N ₂	O ₂		
1.05	7.75	0.3	0.77	15.6	3.55	70.84	0.15	1518	261
Температура газа, К				Температура частиц, К				Скорость потока, м/с	
1025				1025				48.2	

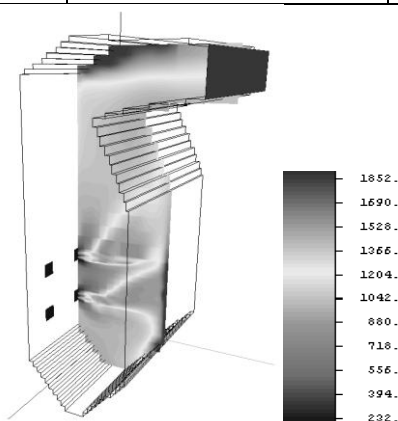


Рис. 3 – Поле температур в продольном сечении топki в плоскости расположения центральных горелок

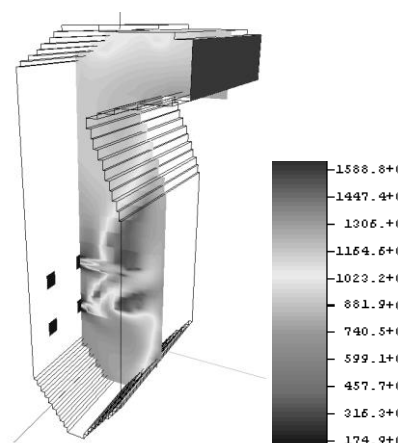


Рис. 4 – Поле температур в плоскости расположения центральных горелок и ПТС при сжигании угля с использованием трех ПТС

Таблица 3 – Сравнительные параметры на выходе из топки котла

Параметр	0 ПТС	3 ПТС
Температура, °С	950	798
Концентрация O ₂ , %	2	1
Концентрация CO ₂ , %	16	18
Концентрация NO _x , ppm	80.6	59.5
Концентрация углерода в золе, %	1.1	0.9

ноту выгорания угля, на выходе из топки с тремя ПТС на 16 % ниже, чем при традиционном сжигании угля. ПТС улучшает экологические характеристики процесса сжигания твердого топлива за счет снижения выбросов оксидов азота более чем на 33 %. Очевидно, что снижение концентраций остаточного углерода и оксидов азота NO_x на выходе из топки котла при использовании ПТС повышает эколого-экономические показатели ТЭС.

В процессе испытаний трех установленных на котле БКЗ-420 ПТС по достижению необходимой концентрации пыли в аэросмеси (0.6-0.7 кг/кг) наблюдалось воспламенение пылеугольного факела в холодной топке котла на выходе из ПТС (рис. 1). Измерение температуры факелов через смотровые лючки цифровым пирометром показало, что сразу после воспламенения температура факелов составляла 700-800 °С, повышаясь до необходимых 1050-1070 °С, что согласуется с результатами моделирования топки котла БКЗ-420, оснащенной ПТС (табл. 3). При этом в начале воспламенения наблюдались пульсации горящих факелов в топке, стабилизирующихся по мере

ее прогрева и подачи 30-40 % вторичного воздуха через горелки с ПТС. Во время испытаний зафиксировано, что скорость повышения температуры горячего воздуха после стабилизации факелов соответствовала скорости повышения температуры при мазутной растопке котлоагрегата [4-6].

Однако необходимого для безмазутной растопки котла устойчивого пылеугольного факела в штатном режиме работы пылесистемы с прямым вдуванием пыли получено не было из-за невозможности достижения стабильного значения концентрации угольной пыли в аэросмеси, равной 0.6-0.7 кг/кг, и недостаточного взаимодействия закрученного потока аэросмеси с компактным воздушным плазменным факелом в ПТС (рис. 5).

Из рисунка видно, что при относительно небольшой площади перекрытия сечения ПТС плазменным факелом основная часть потока аэросмеси с ним не контактирует, что приводит к неустойчивому воспламенению пылеугольного факела высокозольного Экибастузского угля.

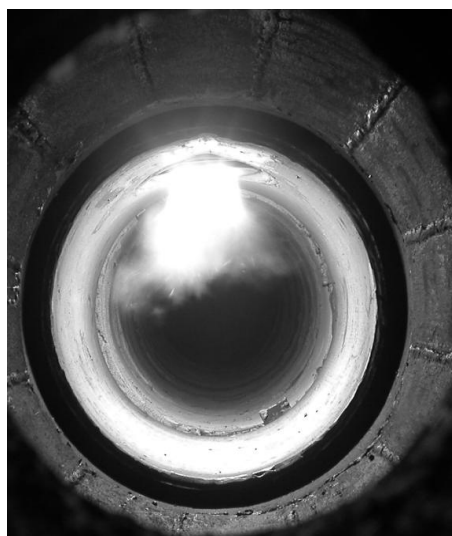


Рис. 5 – Плазменный факел в ПТС до подачи аэросмеси

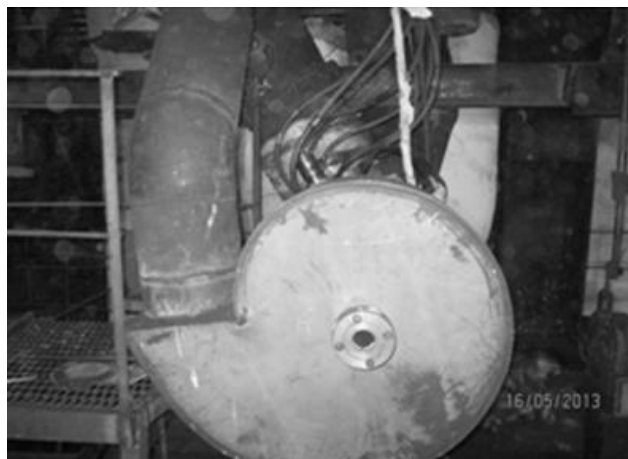


Рис. 6 – Общий вид вихревой ПТС с улиточным аппаратом для котла БКЗ-420 АТЭЦ-2

В этой связи необходимо определить траекторию закрученного потока аэросмеси в вихревой ПТС с целью организации его интенсивного взаимодействия с компактным плазменным факелом. Для решения этой задачи были выполнены численные исследования вихревой ПТС с подачей аэросмеси через улиточный аппарат (рис. 6). Целью расчетов являлось определение области пересечения потока аэросмеси с областью выхода плазменного факела от плазмотрона, определяемой амбразурой для установки плазмотрона, в зависимости от угла поворота улиточного аппарата.

2. Расчетное исследование вихревой ПТС с улиточным аппаратом

Расчеты выполнялись с использованием CFD программы FLUENT 14 [7]. На рис. 7 представлена расчетная схема ПТС. В ПТС подается аэросмесь с расходами угольной пыли и первичного воздуха 5 т/ч и 6.23 тыс.м³/ч соответственно. Дисперсный состав угольной пыли представлен в табл. 4.

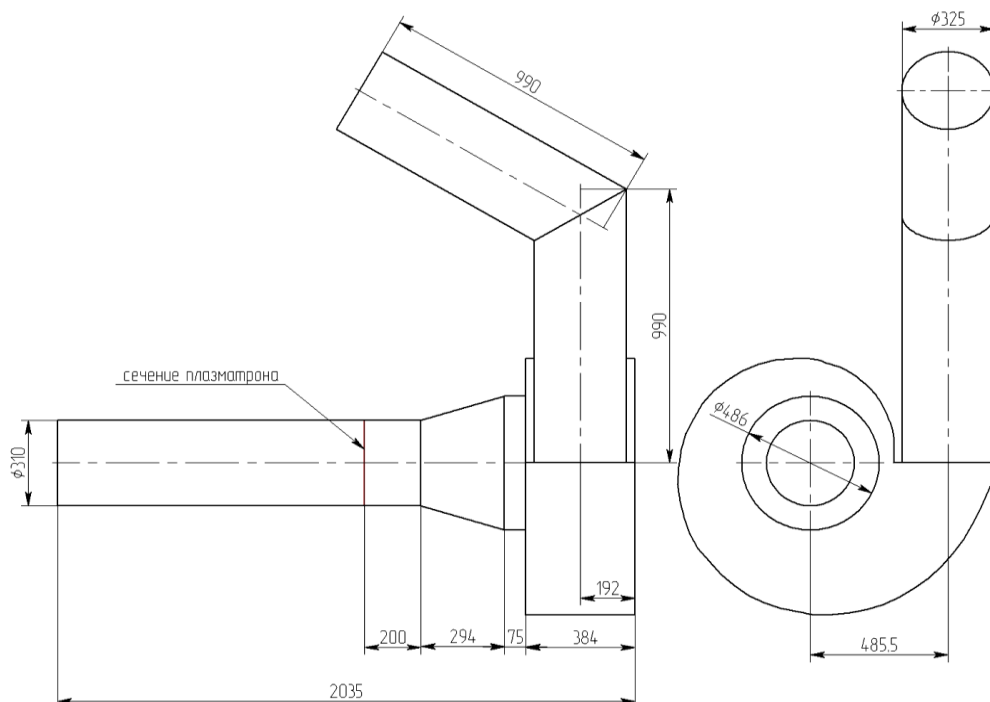


Рис. 7 – Расчетная схема ПТС

Таблица 4 – Дисперсный состав угольной пыли

Диаметр частиц, мкм	Доля в потоке, %
10	19
47	45
80	21
150	15

Расчет производился на полиэдральной сетке размером 206200 ячеек (рис. 8). Использовалась модель Эйлера с гранулированной средой, где несущий поток и частицы представляются в виде сплошных взаимодействующих сред. Данная модель нашла широкое применение для расчета течений в технологических устройствах с высокой концентрацией дисперсной фазы [8-11].

Уравнение сохранения массы для газовой и дисперсной фаз:

$$\nabla(\alpha_i \rho_i \vec{v}_i) = 0,$$

Уравнение сохранения импульса а) для воздуха, б) для дисперсных фаз:

$$\nabla(\alpha_L \rho_L \vec{v}_L \vec{v}_L) = -\alpha_L \nabla P + \nabla \cdot \hat{\tau}_L + \alpha_L \rho_L \vec{g} + \sum_{s=1}^{N_s} K_{L,s} \langle \vec{v}_L - \vec{v}_s \rangle - \sum_{s=1}^{N_s} \vec{F}_{lift,s}$$

$$\nabla(\alpha_s \rho_s \vec{v}_s \vec{v}_s) = -\alpha_s \nabla P - \nabla P_s + \nabla \cdot \hat{\tau}_s + \alpha_s \rho_s \vec{g} + \sum_{k=1}^{N_s} K_{s,k} \langle \vec{v}_s - \vec{v}_k \rangle - K_{L,s} \langle \vec{v}_L - \vec{v}_s \rangle + \vec{F}_{lift,s}$$

Здесь P – суммарное давление всех фаз,
 P_s – давление, обусловленное хаотичным движением частиц,
 $\hat{\tau}$ – тензор напряжений,
 $K_{L,k}$ – коэффициенты взаимодействия между жидкой и дисперсными фазами,
 $K_{s,k}$ – коэффициент взаимодействия между дисперсными фазами,
 N_s – число твердых фаз,
 $\vec{F}_{lift,i}$ – подъемная сила,
 s – индекс дисперсной фазы,
 L – индекс жидкой фазы.

Давление P_s задается следующим выражением:

$$P_s = 2\rho_s \langle \vec{v}_s \cdot \vec{v}_s \rangle + e_{ss} \bar{\alpha}_s^2 g_0 \Theta_s,$$

где, α – объемная доля фазы,
 ρ – плотность фазы,
 $\vec{v}$ – вектор скорости,
 i – индекс фазы.

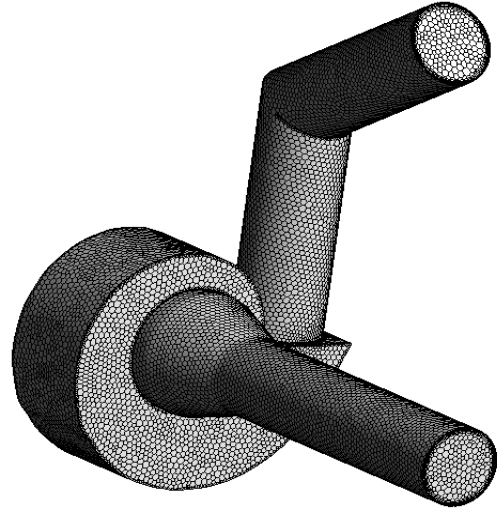


Рис. 8 – Расчетная сетка улиточного аппарата

где e_{ss} – коэффициент восстановления взаимодействия частиц (в расчетах принималось значение 0.9)
 g_0 – радиальная функция распределения, описывающая вероятность столкновения частиц,
 Θ_i – гранулярная температура.

Гранулярная температура, Θ_i , пропорциональна кинетической энергии хаотичного движения частиц. Уравнение переноса для неё имеет следующий вид:

$$\frac{3}{2} \nabla \cdot (\rho_s \vec{v}_s \Theta_s) = (P_s \hat{I} + \hat{\tau}_s) : \nabla \vec{v}_s + \nabla \cdot (k_{\Theta_s} \nabla \Theta_s) - \gamma_{\Theta_s} + \phi_{ks}$$

где $(P_s \hat{I} + \hat{\tau}_s) : \nabla \vec{v}_s$ - определяет генерацию энергии, связанную с вязким напряжением, символ «:» обозначает след произведения двух тензоров,

$\nabla \cdot (k_{\Theta_s} \nabla \Theta_s)$ - диффузионный перенос гранулярной температуры (k_{Θ_s} коэффициент диффузии),

γ_{Θ_s} - энергия взаимодействия между частицами одной фазы,

ϕ_{ks} - энергия взаимодействия между частицами разных фаз.

Для описания турбулентности в работе применяется стандартная k-ε модель турбулентности для смеси, т.е. используются скорость и плотность смеси.

Эмпирические константы в уравнениях на турбулентные характеристики задаются как для k-ε модели однофазной среды:

$$\nabla \cdot (\rho_m \vec{v}_m k) = \nabla \cdot \left(\frac{\mu_{t,m}}{\sigma_k} \nabla k \right) + G_{k,m} - \rho_m \varepsilon$$

и

$$\nabla \cdot (\rho_m \vec{v}_m \varepsilon) = \nabla \cdot \left(\frac{\mu_{t,m}}{\sigma_\varepsilon} \nabla \varepsilon \right) + \frac{\varepsilon}{K} (C_{1\varepsilon} G_{k,m} - C_{2\varepsilon} \rho_m \varepsilon)$$

где ρ_m и $\vec{v}_m$ - плотность и скорость смеси:

$$\rho_m = \sum_{i=1}^N \alpha_i \rho_i \quad \text{и} \quad \vec{v}_m = \frac{\sum_{i=1}^N \alpha_i \rho_i \vec{v}_i}{\sum_{i=1}^N \alpha_i \rho_i},$$

турбулентная вязкость определяется из выражения:

$$\mu_{t,m} = \rho_m C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$$

и генерация энергии турбулентности $G_{k,m}$, вычисляется при помощи следующего выражения:

$$G_{k,m} = \mu_{t,m} (\nabla \vec{v}_m + (\nabla \vec{v}_m)^T) : \nabla \vec{v}_m$$

На входе расчетной области для всех фаз задан фиксированный расход, на выходе фиксированное давление. На стенках задано условие прилипания для газовой и дисперсных фаз. Для определения пульсационных характеристик течения вблизи стенок был использован метод пристеночных функций.

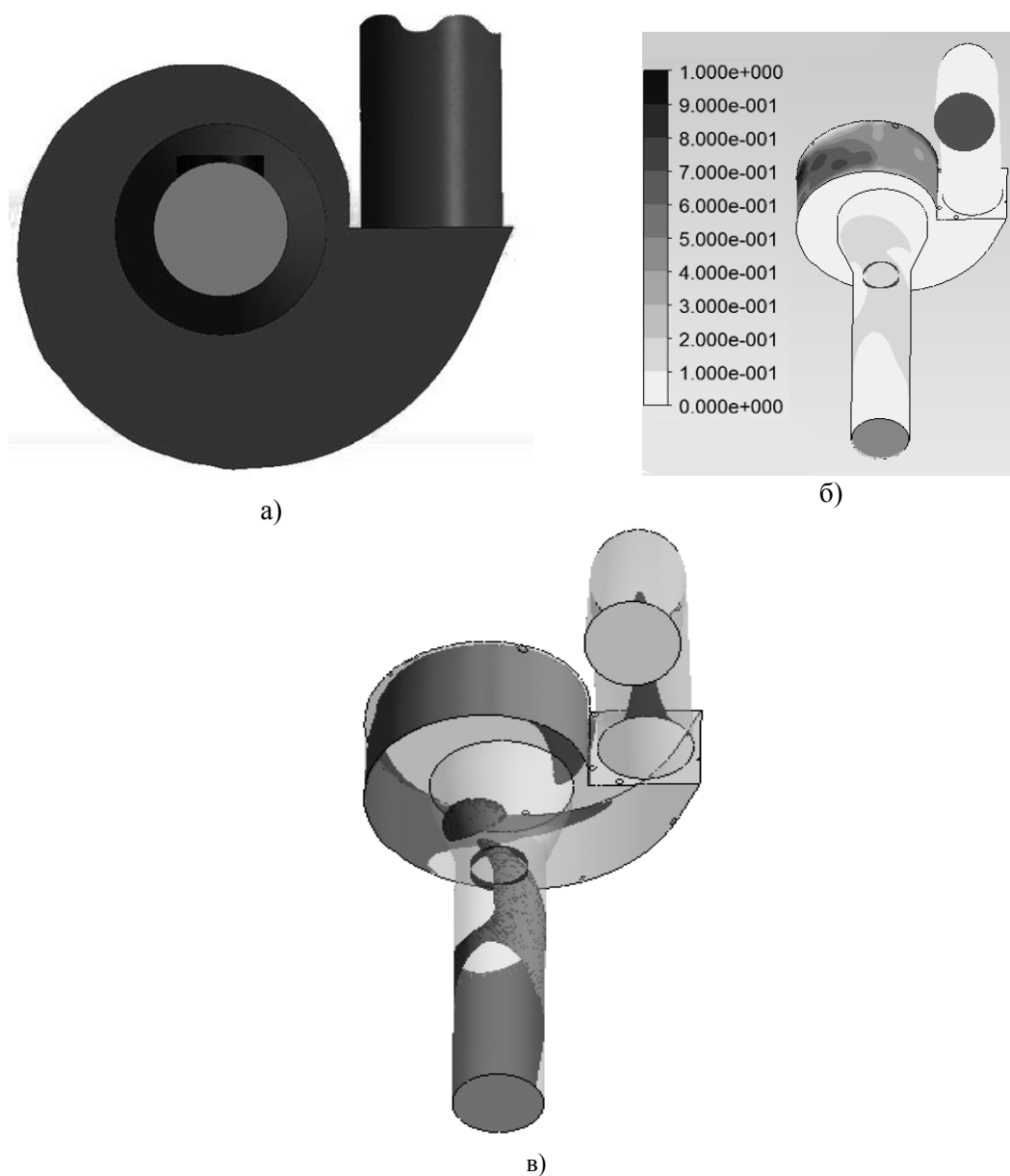
На рис. 9 - 12 представлены результаты расчета для вариантов с варьируемым в интервале $0^\circ - 45^\circ$ и отсчитываемым от оси плазматрона углом поворота подвода аэросмеси улиточного аппарата. Максимальная концентра-

ция угольной пыли наблюдается в улиточном аппарате, где происходит циркуляция пыли (рис.9а). С накоплением угольных частиц в улитке, взаимодействие между частицами становится более интенсивным. Учет этого взаимодействия позволяет корректно описать выход частиц в канал с плазматроном. Основным местом выхода частиц является переход улитка - конфузор. Эта особенность конструкции и определяет формирование «жгута» частиц. Характер движения частиц можно представить из распределения объемной концентрации

угольных частиц вблизи внутренней поверхности улиточного аппарата и камеры плазменного воспламенения аэросмеси (рис. 9б), а также из рис. 9в. на котором изображена «изоповерхность» (поверхность с одинаковой концентрацией рассматриваемой величины) объемной концентрации угольных частиц.

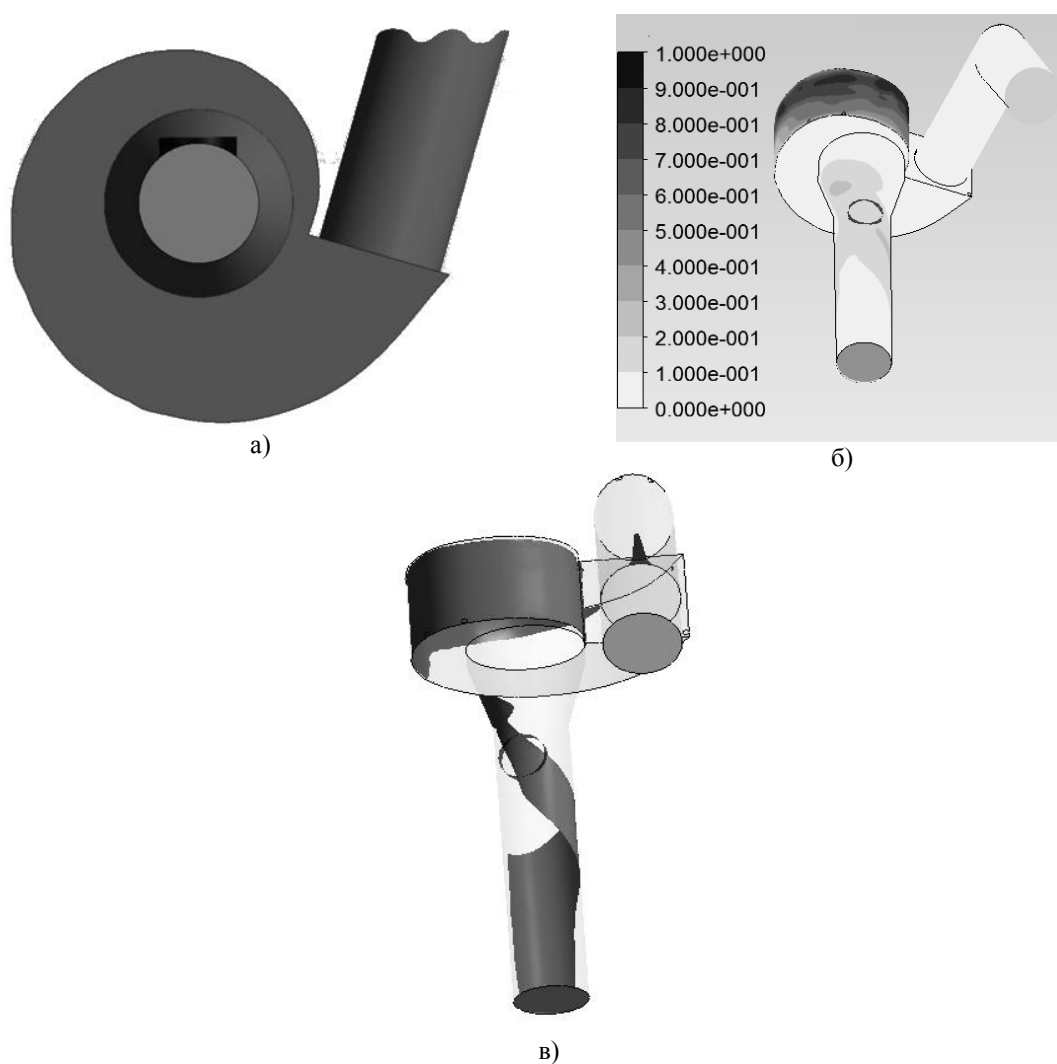
После выхода в канал частицы под действием инерционных сил движутся по спирали

вдоль стенки канала. В зависимости от размера угольных частиц (их инерционности) их траектория отличается. Наиболее мелкая фракция частиц достаточно равномерно распределена по стенкам канала. При увеличении размера частиц прослеживается движение пылеугольного потока в виде «жгута».



а) расчетная геометрия б) объемная концентрация дисперсной фазы вблизи внутренней поверхности улиточного аппарата и камеры плазменного воспламенения аэросмеси
 в) изоповерхность объемной концентрации дисперсной фазы – 7 %

Рис. 9 – Результаты расчета течения аэросмеси при угле поворота улиточного аппарата 0°



а) расчетная геометрия б) объемная концентрация дисперсной фазы вблизи внутренней поверхности улиточного аппарата и камеры плазменного воспламенения аэросмеси, в) изоповерхность объемной концентрации дисперсной фазы – 10 %

Рис. 10 – Результаты расчета течения аэросмеси при угле поворота улиточного аппарата 15°

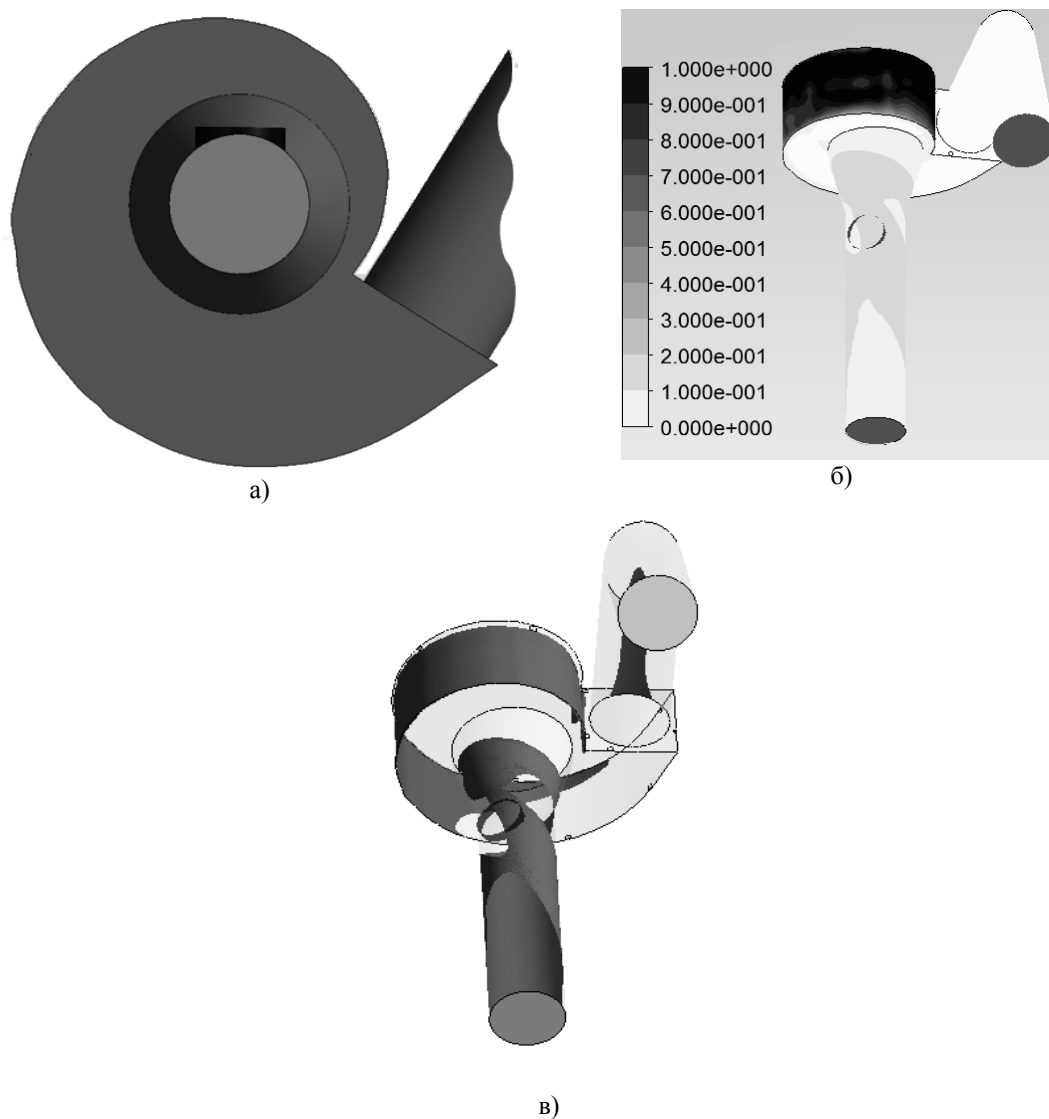
Из сравнения рис. 9, г – 12, г при различных углах поворота улиточного аппарата, можно сделать вывод о том, что движение основной массы угольной пыли в трубе зависит от угла поворота улиточного аппарата (рис. 13). Это наглядно демонстрирует распределение и изоповерхность объемной концентрации угольной пыли на рис. 9-12. Оценка количества угольной пыли, проходящий через сечения плазматрона позволяет построить график, представленный на рис.13. Из рис. 13 видно, что оптимальным вариантом с точки зрения попадания «жгута» аэросмеси в область выхода факела от плазматрона, является угол поворота улиточного аппарата на 15° (рис. 10), при котором доля угольной пыли, проходящая че-

рез сечение плазматрона составляет 19.5 % от общей массы, подаваемой в улиточный аппарат.

Основываясь на результатах численных расчетов, улиточные аппараты трех ПТС на котле БКЗ-420 АТЭЦ-2 были повернуты на 15° относительно оси плазматрона для проведения испытаний плазменного воспламенения высокозольного Экибастузского угля. Во время испытаний плазматроны работали на средней мощности 190 кВт каждый. Расход угольной пыли через каждую ПТС варьировался от 2,5 до 3,1 т/ч, а расход первичного воздуха - от 2240 до 2640 $\text{м}^3/\text{ч}$ [12]. Расход вторичного воздуха составлял 40% от номинального значения. Результаты испытаний показали, что

при оптимальном угле поворота улиточных аппаратов, равном 15° , достигается устойчивое воспламенение пылеугольного факела (рис. 14). Из рисунка видно, что при этом яркость

факела увеличилась (температура ядра факела - 1022°C), а площадь светящейся части факела возросла примерно в 1,5 раза.



а) расчетная геометрия б) объемная концентрация аэросмеси вблизи внутренней поверхности улиточного аппарата и камеры плазменного воспламенения аэросмеси, в) изоповерхность объемной концентрации угольной пыли – 6%

Рис. 11 – Результаты расчета течения аэросмеси при угле поворота улиточного аппарата 30°

Заключение

Применение ПТС на пылеугольных котлах повышает эффективность сжигания энергетических углей при одновременном снижении вредных выбросов.

Испытания ПТС на котле БКЗ-420 Алма-тинской ТЭЦ-2 в режиме растопки котла из холодного состояния подтвердили возможность воспламенения высокозольных Экиба-

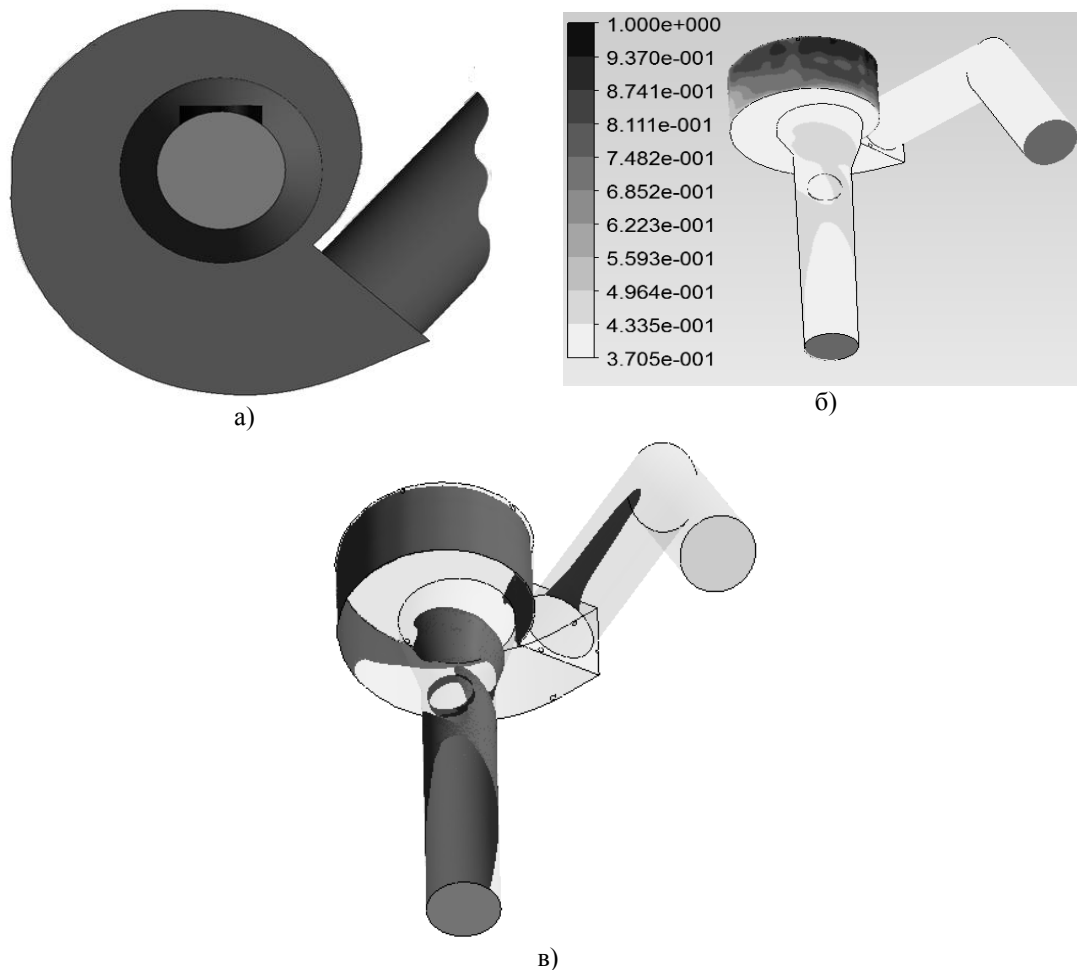
стуских углей в холодной топке без подогрева первичного воздуха.

Численные исследования вихревой ПТС с подачей аэросмеси через улиточный аппарат показали, что распределение объемной концентрации угольной пыли в месте установки плазматрона зависит от угла поворота улиточного аппарата.

Результаты натурных испытаний подтвердили, что при оптимальном расчетном уг-

ле поворота улиточных аппаратов, равном 15° относительно оси плазмотрона, достигается устойчивое плазменное воспламенение пылеугольного факела в топке котла БКЗ-420, так

как весь пылеугольный поток проходит через область выхода плазменного факела от плазмотрона.



а) расчетная геометрия б) объемная концентрация аэросмеси вблизи внутренней поверхности улиточного аппарата и камеры плазменного воспламенения аэросмеси, в) изоповерхность объемной концентрации угольной пыли – 6.5%

Рис. 12 – Результаты расчета течения аэросмеси при угле поворота улиточного аппарата 45°

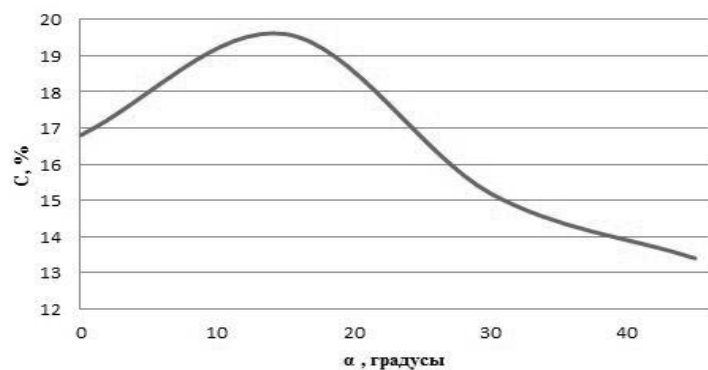


Рис. 13 – Зависимость изоповерхности объемной концентрации угольной пыли от угла поворота улиточного аппарата

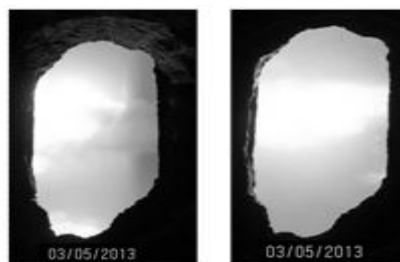


Рис. 14 – Пылеугольный факел от ПТС в начальный момент (слева) и через 5 минут (справа) после подачи угля (температура в ядре факела 835 и 1022°C соответственно).

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009 – 2013 годы» госконтракт № 14.A18.21.1962

Литература

1. Мессерле В.Е., Устименко А.Б. Плазмохимические технологии переработки топлив // Известия вузов. Химия и химическая технология, 2012. Т. 55, Вып. 4. С. 30-34.
2. Мессерле В.Е., Карпенко Е.И., Устименко А.Б., Тютеебаев С.С., Карпенко Ю.Е., Еремина Т.В. Моделирование и испытания плазменно-топливных систем на котле БКЗ-420 Алматинской ТЭЦ-2 // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления, Научный журнал, 2012. № 2 (37). С. 21-27.
3. Messerle V.E., Ustimenko A.B., Askarova A.S., Nagibin A.O. Pulverized Coal Torch Combustion in a Furnace with Plasma-Coal System // Thermophysics and Aeromechanics, 2010. V. 17, No 3. P. 435-444.
4. Messerle V.E., Ustimenko A.B., Tyutebaev S.S., Lukiaschenko V.G., Shevchenko V.N., Stepanov I.G., Umbetkaliev K.A., Nagibin A.O., Kozak V.N., Lavrichshev O.A., Karpenko E.I., Lobitsin S.V., Karpenko Yu.E. Tests of plasma-fuel systems in Almaty TPP-2 // Proceedings of 7th International scientific conference "Modern achievements in physics and physical education", Kazakhstan, Almaty, October 3-5, 2011. P. 3-5.
5. Messerle V.E., Ustimenko A.B., Lukiaschenko V.G., Shevchenko V.N., Stepanov I.G., Umbetkaliev K.A., Nagibin A.O., Kozak V.N., Karpenko E.I., Lobitsin S.V., Karpenko Yu.E. Application of plasma-fuel systems in Almaty TPP-2 // Proceedings of VI International Symposium on theoretical and applied plasmachemistry. September 3-9, 2011, Ivanovo, Russia: Ivanovo State Chemical-engineering University, 2011, P.392-395.
6. Messerle V.E., Karpenko E.I., Ustimenko A.B. Plasma Assisted Power Coal Combustion in the Furnace of Utility Boiler: Numerical Modelling and Full-Scale Test // Fuel, 15 June 2014. V. 126, P. 294-300, DOI information: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2014.02.047>
7. ANSYS FLUENT User's Guide. Release 14.0. ANSYS, Inc. November 2011
8. Yu-chun Zhang, Zhen-bo Wang, You-hai Jin. Simulation and experiment of gas-solid flow field in short-contact cyclone reactors. Chemical Engineering Research and Design, September 2013. Vol. 91, Issue 9. P. 1768-1776
9. D.R. Kaushal, T. Thinglas, Yuji Tomita, Shigeru Kuchii, Hiroshi Tsukamoto. CFD modeling for pipeline flow of fine particles at high concentration. International Journal of Multiphase Flow, July 2012. V. 43. P. 85-100.
10. Sonali Swain, Swati Mohanty. A 3-dimensional Eulerian-Eulerian CFD simulation of a hydrocyclone. Applied Mathematical Modelling, 2013. V. 37, P. 2921-2932.
11. Anders Darelus, Anders Rasmuson, Berend vanWachem, Ingela Niklasson Bjorn, Staffan Folestad. CFD simulation of the high shear mixing process using kinetic theory of granular flow and frictional stress models. Chemical Engineering Science, 2008. V. 63, P. 2188 – 2197.
12. Мессерле В.Е., Устименко А.Б., Лукьященко В.Г., Шевченко В.Н., Степанов И.Г., Умбеткалиев К.А., Козак В.Н., Синдеев А.Л., Лобыцин С.В., Карпенко Ю.Е., Сапрыкин Д.С., Тохтаев Р.Д. О результатах промышленных испытаний плазменно-топливных систем (ПТС) на пылеугольном котле БКЗ-420-140-7с ст. № 3 алматинской ТЭЦ-2 // Сборник материалов VII Международного Симпозиума "Горение и плазмохимия". (ISBN 978-601-04-0134-1) – Алматы: КазНУ им.аль-Фараби, 2013. С. 229-232.

13. Интернет-ресурс: <http://www.don-tech.ru/news/read.php?n=7>

14. Маршак Ю.Л., Артемьев Ю.П., Миронов С.П., Полферов К.Я. Пути улучшения сжигания низкосортного антрацитового шты-

ба на электростанциях // Теплоэнергетика, 1988. № 9. С. 2-10.

15. Волков Э.П., Перепелкин А.В. Технологические и экологические проблемы сжигания низкосортных топлив // Теплоэнергетика, 1989. № 9. С. 25-28.

NUMERICAL AND EXPERIMENTAL STUDIES OF VORTEX PLASMA-FUEL SYSTEMS FOR FUEL OIL-FREE IGNITION OF POWER COALS

V.E. Messerle, A.B. Ustimenko, Yu.E. Karpenko, M.Yu. Chernetski,
A.A. Dekterev, S.A. Phillimonov

¹Institute of Combustion Problems, 172, Bogenbai Batyr str., Almaty, 050012, Kazakhstan

²Siberian Federal University, 79, Svobodnyi av., Krasnoyarsk, 660041, Russia

³Institute of Thermophysics of SB RAS, 1, academician Lavrentiev av., Novosibirsk-90, 630090, Russia

⁴Research Institute of Experimental and Theoretical Physics, 71, al-Farabi str., Almaty, 050040, Kazakhstan

⁵Branch Centre of Plasma-Energy Technologies, 33, Pushkin str., Gusinoozyorsk, 671160, Russia

*e-mail: ust@physics.kz

Abstract

The work carried out investigations of feeding pulverized coal and its combustion in the boiler furnace with plasma-fuel systems. The results of the three-dimensional simulation of conventional coal combustion and combustion of coal which has been activated plasma system in the combustion chamber are presented. Numerical study of vortex plasma-fuel system with fuel mixture via snail feeding apparatus using CFD software Fluent are carried out. The dependence of the trajectory of fuel mixture in the vortex plasma-fuel system from the angle of rotation of the snail is found. The optimal rotation angle at which the stability of the plasma ignition of pulverized coal flame is determined. It is shown that the use of plasma-fuel systems on coal-fired boilers increases combustion efficiency of coal power while reducing emissions. Test of plasma-fuel systems at a boiler BKZ-420-2 of Almaty TPP during its startup from the cold state confirmed the possibility of ignition of high-ash Ekibastuz coal using unheated primary air.

МАЗУТЫ ЖОҚ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ КӨМІРДІҢ ТҮТАНУЫН ҚҰЙЫНДЫ ПЛАЗМАЛЫ-ОТЫН ЖҮЙЕЛЕРІНДЕ САНДЫҚ ЖӘНЕ ЭКСПЕРИМЕНТТІК ЗЕРТТЕУ

В.Е. Мессерле^{1,2,3}, А.Б. Устименко^{4*}, Ю.Е. Карпенко⁵, М.Ю. Чернецкий^{2,3},
А.А. Дектерев^{2,3}, С.А. Филимонов²

¹ Жану проблемалар институт, 050012, Қазақстан, Алматы, Бөгенбай батыр көш., 172

² Сібір Федералды Университеті, 660041, Ресей, Красноярск қ, Свободный даң, 79

³ Жылу физика институты СБ РФА, 630090, Новосибирск қ, Академик Лаврентьев қ, 1, ИТ СБ РФА аль-Фараби атындағы ҚазҰУ эксперименттік және теориялық физиканың ғылыми-зерттеу институты, 050040, Қазақстан, Алматы, аль-Фараби көш., 71

⁵ ААҚ «Отраслевой центра плазменно-энергетических технологий», 33671160, Гусиноозерск қ, Пушкин көш., 33, Ресей, *e-mail: ust@physics.kz

Аннотация

Шанды көмірдің құйынды плазма-отын жүйелері жабдықталған қазандық пешке жіберу процестерін зерттеу. Қазандық пеште көмірді дәстүрлі жағу мен белсендірілген плазмада жағудың үш пішіндегі моделі жасалынды. Арнаулы қондырғы арқылы аэрокоспаны жіберу арқылы құйынды плазма-отын жүйелерінде сандық зерттеулер жүргізілді. Шанды көмірдің алаулап жануы арнайы қондырғыда аэрокоспаны белгілі бұрышпен жіберудің құйынды плазма-отын жүйелерінде белгілі бір тәуелділіктері анықталды. Шанды көмірдің құйынды плазма-отын жүйелері жабдықталған қазандық пешке отынды жағу кезінде жанудың толық жану мен қоршаған ортаға зиянды қалдықтардың концентрациясы азаюы анықталды. Алматы ЖЭО-2 БКЗ-420 қазандығында құйынды плазма-отын жүйелерінде жасалынған зерттеулер күлділігі жоғары Екібастұз көмірін қыздырылған ауасыз жаға беруге болатындығы анықталды.