

А.С.Аскарова, С.А.Болегенова, В.Ю., Максимов, А.А.Туякбаев,
З.Х.Габитова, А.С. Сагинаева, К.Бердыхан

Казахский Национальный университет им. Аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

ПРОЦЕССЫ ТЕПЛОМАСООБМЕНА И КОНЦЕНТРАЦИОННЫЕ ПОЛЯ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ФАКЕЛА В ТОПОЧНОЙ КАМЕРЕ КОТЛА БКЗ 75 ШАХТИНСКОЙ ТЭЦ

Аннотация. Рассмотрены процессы тепломассообмена и концентрационных полей продуктов горения пылеугольного факела в топочной камере котла БКЗ 75 Шахтинской ТЭЦ. Результаты проведенных вычислительных экспериментов позволяют сделать вывод о том, что в центральной области топочной камеры котла БКЗ 75-39ФБ Шахтинской ТЭЦ наблюдается резкое изменение аэродинамических характеристик с образованием вихревого течения, которое ослабевает по мере продвижения пылеугольного потока и пылеугольного горения к выходу.

Ключевые слова: тепломассообмен, факел, камера сгорания, котел.

Введение

Самый важный природный ресурс - уголь, и все это благодаря своей энергетической ценности. Если взять все страны, которые добывают уголь, то лишь Япония не располагает достаточными его запасами. Как известно, уголь довольно распространенный вид энергоресурса, но, несмотря на это, на нашей планете есть такие территории, на которых месторождений угля нет. Уголь один из распространенных и важнейших источников энергии.

Промышленность Казахстана направлена на использование угля в качестве энергетического топлива. На начало 2013 года Казахстан является одной из стран лидеров по запасам углей и занимает 8-ое место. В Казахстане сосредоточено около 3,9% мировых запасов угля. Лидерами по запасам угля являются: США – 237,2 млрд. тонн (27,6%), Россия – 157 млрд. тонн (18,2%) и Китай – 114,5 млрд. тонн (13,3%). Всего же в мире доказанные запасы угля составляют 860,9 млрд. тонн (рисунок 1).

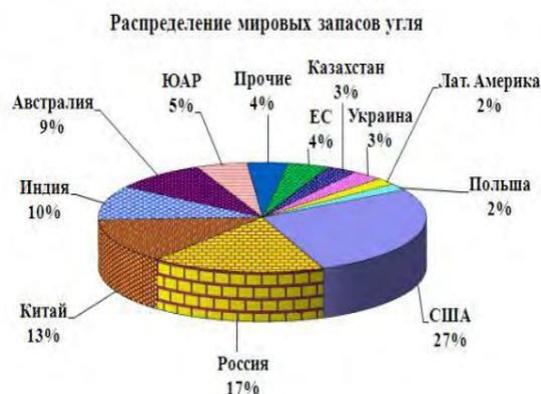


Рисунок 1 – Мировые запасы угля

Физическая постановка задачи

Основными агрегатами тепловой электростанции Республики Казахстан являются паровые котельные установки, работающие на высокосолевом пылеугольном топливе. Паровой котел - агрегат для получения пара с давлением выше атмосферного за счёт теплоты, выделяющейся в топке при сжигании топлива. Рабочее тело большинства паровых котлов – вода. Основными видами топлива для паровых котлов служат газ, мазут и угольная пыль.

Наиболее эффективным методом получения теплоты в таких котлах, на сегодняшний день, является факельное сжигание пылеугольного топлива в топочной камере, представляющей собой вертикальную шахту призматической формы. Приготовленная определенным образом аэрозоль (пылеугольное топливо +

первичный и вторичный воздух), генерируется в топочной камере посредством специальных горелочных устройств.

Котлоагрегаты типа БКЗ-75-39ФБ

Паровой котел заводской марки БКЗ 75-39ФБ – вертикально-водотрубный, производительностью 75 т/ч, температурой перегретого пара 440°C и давлением перегретого пара 39 кгс/см². Данный котельный агрегат блочной конструкции, предназначен для работы на бурых и каменных углях, торфе, антрацитовом штыбе и тощих углях, является однообразным, с естественной циркуляцией и выполнен по П-образной схеме [5-7].

Топочная камера котла БКЗ 75-39ФБ Шахтинской ТЭЦ полностью экранирована трубами диаметром 60 мм и толщиной стенки 3 мм. Трубы фронтного, заднего экранов и нижней части образуют холодную воронку. В верхней части трубы заднего экрана разведены в четырехрядный фестон. Экраны разделены на 12 самостоятельных циркуляционных контуров по числу постановочных блоков топочной камеры.

Для сжигания пылеугольного топлива топочная камера исследуемого котла оборудуется четырьмя пылеугольными горелками, расположенными по две на каждой боковой стенке (рисунок 2). Для такой конструкции предусмотрено прямое вдувание пыли и индивидуальная система пылеприготовления, состоящая из двух молотковых мельниц. По производительности мельницы имеют двукратный запас (30,6 т/ч), одна мельница может обеспечить работу котла в номинальном режиме. В год на одном котле Шахтинской ТЭЦ сжигается примерно 44,256 тысяч тонн угля и 4,15 тыс. тонн мазута. В процессе сжигания угольной пыли на данном котле, величина механического недожога, полученная в результате эксплуатации котла, составляет 13,37%.

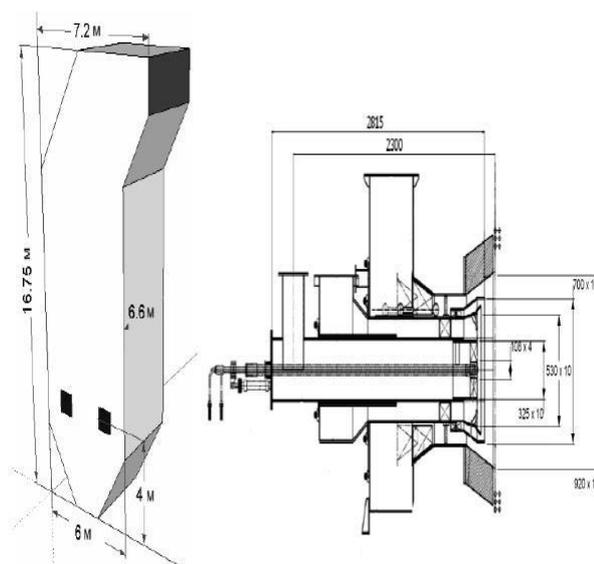
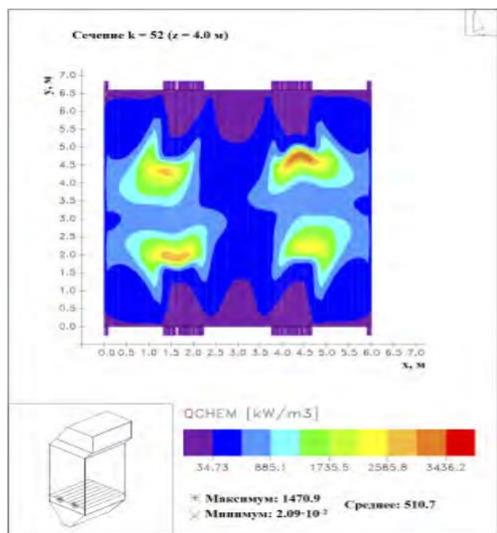


Рисунок 2 – Общий вид камеры сгорания и пылеугольной горелки

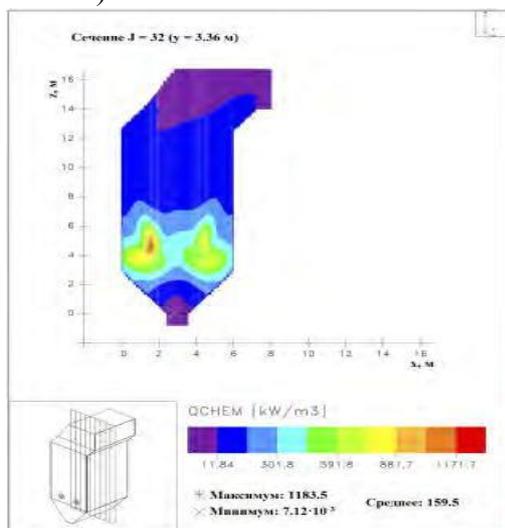
В котле БКЗ 75-39ФБ Шахтинской ТЭЦ сжигается пыль Карагандинского рядового угля марки КР-200, зольностью 35,1%, выходом летучих 22%, влажностью 10,6% и теплотой сгорания 18550 кДж/кг. Тонина помола угля составляет $R_{90}=20\%$.

Физико-химические превращения процессов тепломассопереноса

Процессы тепломассопереноса, происходящие при физико-химических превращениях, характеризуются формированием и разложением продуктов реакции горения. Каждая химическая реакция, протекающая в топочной камере, сопровождается выделением или поглощением определенного количества энергии. Распределение энергии химических реакций, выделяемой при горении пылеугольного топлива в топочном пространстве, представлено в различных сечениях топочной камеры.



а)



б)

Рисунок 3 – Распределение энергии, выделяемой за счет химических реакций в сечениях: а) горелочных устройств; б) в центральных продольных сечениях топочной камеры

Из анализа рисунков 3-4 видно, что химические реакции с наибольшим выделением тепла наблюдаются в области подачи топлива и окислителя, т.е. вблизи установки горелочных устройств [6]. Именно в этой области смесеобразования горючего вещества и кислорода воздуха достигает максимального уровня, благодаря интенсивному перемешиванию, посредством турбулентных пульсаций и вихревого характера течения.

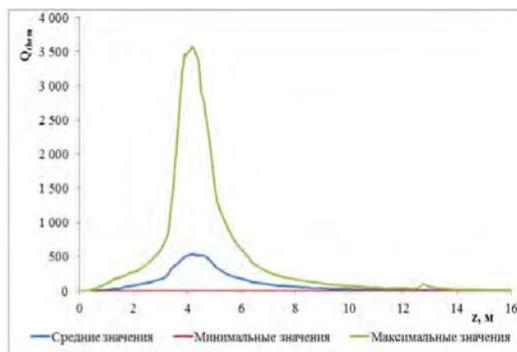


Рисунок 4 – Распределение энергии, выделяемой за счет химических реакций, по высоте топочной камеры котла БКЗ75

По мере продвижения пылеугольного потока к выходу, интенсивность протекания химических реакций ослабевает, и на выходе энергия химических реакций составляет всего 15.64 kW/m^3 , по сравнению с 3470 kW/m^3 в области пояса горелок. Это отражает реальную картину процессов теплообмена, происходящих при сжигании пылеугольного топлива в топочных камерах.

Энергия, выделяемая вследствие химических реакций, напрямую зависит от содержания горючего углерода (рисунок 5) и концентрации кислорода (рисунок 6) в топочной камере котла.

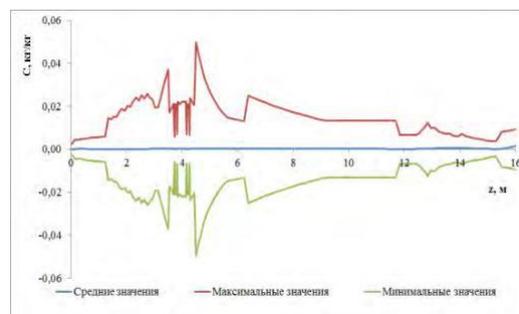
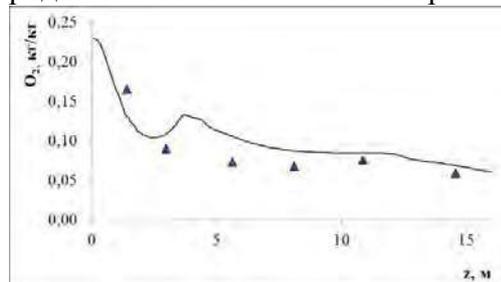


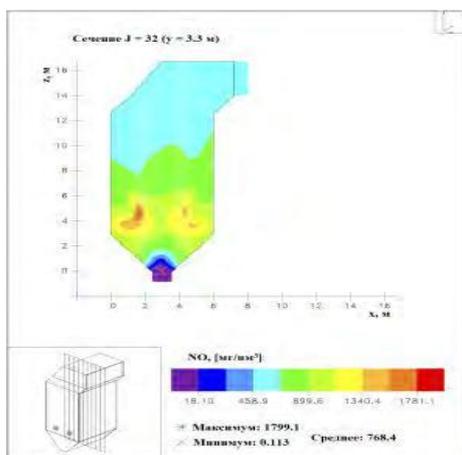
Рисунок 5 – Изменение концентрации углерода по высоте топочной камеры



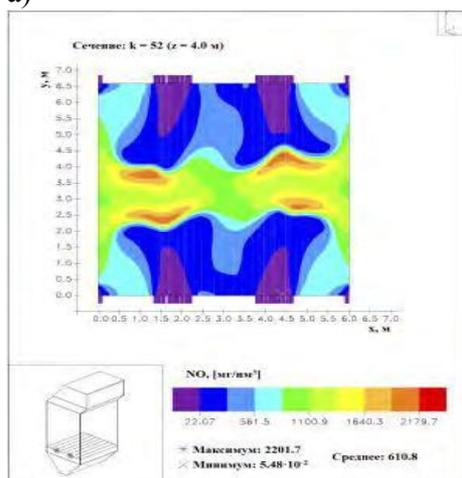
Линия – вычислительный эксперимент; ▲ - эксперимент на ТЭЦ

Рисунок 6 – Распределение концентрации кислорода O_2

На рисунках 7-10 представлены результаты вычислительных экспериментов по исследованию массообмена и концентрационных характеристик вредных пылегазовых выбросов в топочной камере котла БКЗ-75 Шахтинской ТЭЦ.



а)

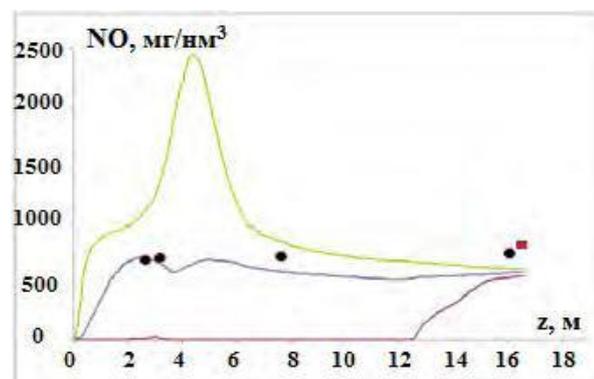


б)

Рисунок 7 – Распределение концентрации NO: а) центральных продольных сечениях топочной камеры котла БКЗ-75; б) в сечениях установки горелочных устройств

Анализ рисунка 7 показывает, что зоной максимального образования оксида азота NO, является область высоких температур и интенсивного вихревого течения. Для исследуемой топочной камеры такая область находится в зоне расположения горелочных устройств на высоте $z=4.0$ м. Интенсивное перемешивание топлива и окислителя, создаваемое турбулентными потоками впрыскиваемой аэроэмульсии вблизи горелок, а

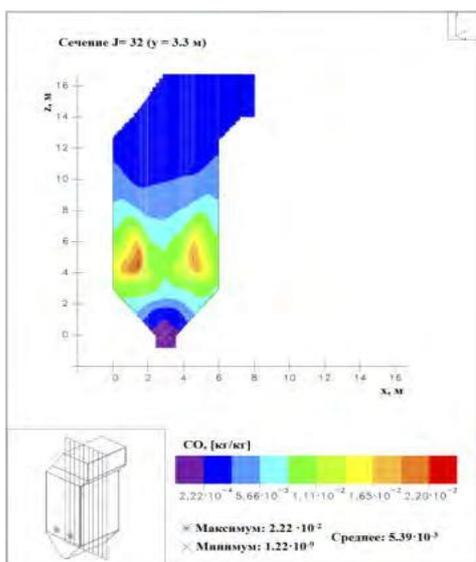
также высокая температура в ядре факела ($\sim 1200^\circ\text{C}$), создают благоприятные условия для образования оксидов азота [6]. В этой области концентрация NO достигает максимальных значений 2201 мг/м^3 .



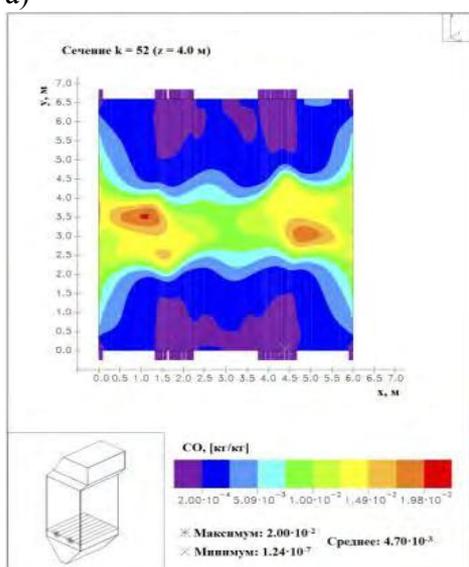
Линии – вычислительный эксперимент; ●, ■ - эксперименты на ТЭЦ
Рисунок 8 – Распределение концентрации NO по высоте топочной камеры

По мере прохождения пылеугольного факела к выходу из топочной камеры (рисунок 8), наблюдается равномерное снижение концентрации NO, поскольку эта область содержит в себе меньше кислорода и компонент топлива [6]. Кроме того, снижается и температура по высоте топочной камеры, в результате чего уменьшается скорость образования окиси азота.

Основным итогом процесса горения углерода при высоких температурах является соединение кислорода с углеродом пылеугольного топлива, с образованием окиси углерода CO, либо углекислого газа CO₂. Особую значимость при горении пылеугольного топлива приобретает реакция окисления углерода до окиси углерода CO, поскольку в дальнейшем CO, вступая в реакцию с кислородом воздуха, «догорает» до CO₂, выделяя при этом максимальное значение энергии, равное 571 кДж/моль.



а)



б)

Рисунок 9 – Распределение концентрации окиси углерода CO: а) в центральных продольных сечениях топочной камеры; б) в сечениях установки горелочных устройств

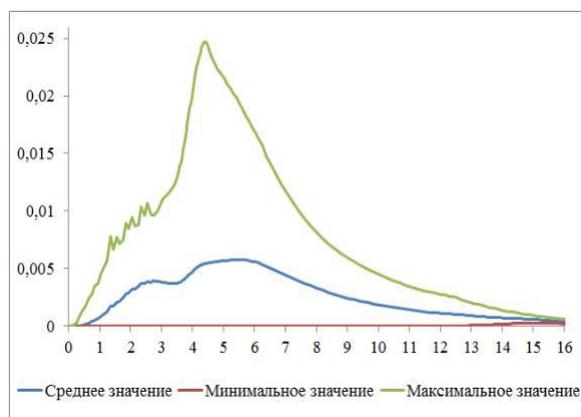
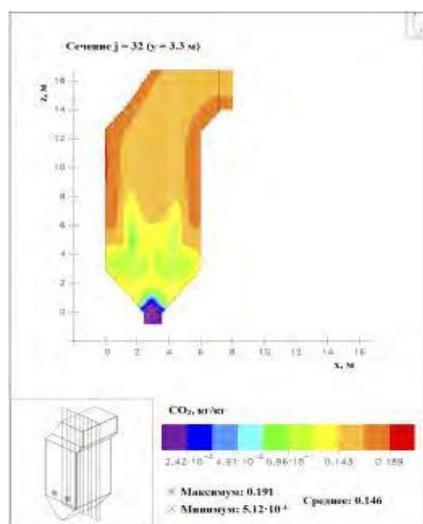
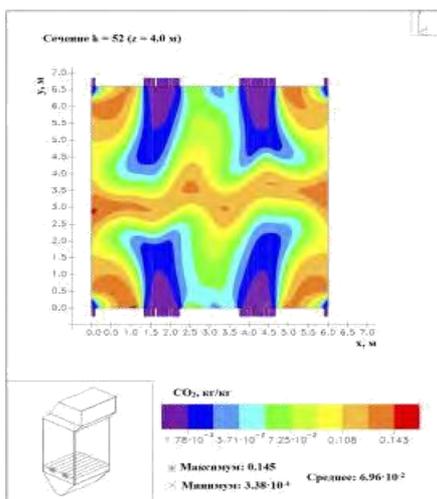


Рисунок 10 - Распределение концентрации окиси углерода CO по высоте камеры сгорания

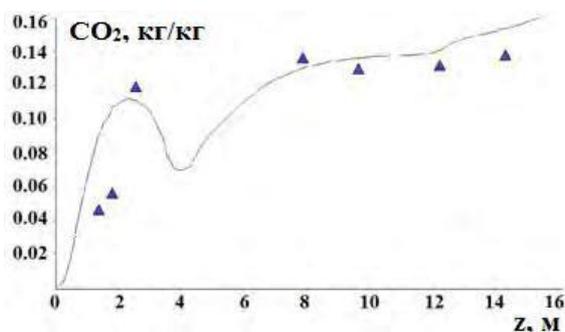
Анализ рисунков 9-10 показывает, что максимальные значения концентрации окиси углерода CO принимает в центральном сечении области расположения горелочных устройств, поскольку здесь наблюдается область высоких температур, имеется большая концентрация углерода топлива и кислорода окислителя. В результате, в области горелок концентрация CO принимает значение равное $4.7 \cdot 10^{-3}$ кг/кг. По мере продвижения к выходу из камеры сгорания концентрация CO падает, в виду того, что уменьшается концентрация углерода и кислорода, а благодаря химической реакции CO, вступая в реакцию с кислородом окисляется и образует CO₂, распределение которого представлено на рисунках 11-12.



а)



б)
Рисунок 11 – Распределение концентрации углекислого газа CO₂: а) в центральных продольных сечениях топочной камеры; б) в сечениях установки горелочных устройств



Линии – вычислительный эксперимент;

▲ - эксперимент на ТЭЦ [1-3]

Рисунок 12 - Распределение концентрации углекислого газа CO₂ по высоте камеры сгорания

Характер распределения углекислого газа CO₂ полностью противоположен характеру распределения окиси СО [10]. Видно, что в области пояса горелочных устройств на высоте 4 метра концентрация углекислого газа CO₂ минимальна (рисунок 12) и составляет 0.07 кг/кг, тогда как концентрация СО в этой области максимальна. В отличие от распределения окиси СО, концентрация углекислого газа CO₂ по мере продвижения к выходу из топочной камеры растет и на выходе принимает максимальное значение равное 0.152 кг/кг.

Вывод

По итогам вычислительного эксперимента можно заключить, что химические реакции с наибольшим выделением тепла наблюдаются в области подачи топлива и окислителя, т.е. вблизи установки горелочных устройств. Наибольшей интенсивностью химические реакции обладают в области подачи топлива и окислителя, поскольку здесь смесеобразование горючего вещества и кислорода воздуха достигает максимального уровня, благодаря интенсивному перемешиванию, посредством турбулентных пульсаций, что способствует увеличению скорости химической реакции окисления с выделением максимального количества энергии $Q_{chem}=3470 \text{ kW/m}^3$.

Список литературы

11 Askarova A.S., Bolegenova S., V.Maximov, Bekmukhamet A. Mathematical simulation of pulverized coal in combustion chamber // Procedia Engineering.-ELSEVIER, Praha, Czech Republic, 2012.- p. 1259-1265.

12 А.С. Аскарова, С.А. Болегенова, В.Ю. Максимов, М.Т. Бекетаева, А.Бекмухамет Получение температурных и аэродинамических характеристик камеры сгорания котла БКЗ-75 Шахтинской ТЭЦ методом моделирования топочных процессов // VIII Всероссийская конференция с международным участием «ГОРЕНИЕ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА», 13-16 ноября 2012 года.- Новосибирск, Россия.- с.8.1-8.8.

13 А.С. Аскарова, С.А. Болегенова, В.Ю. Максимов Исследование образования вредных веществ в камере сгорания БКЗ-75 Шахтинской ТЭЦ // VIII Всероссийская конференция с международным участием «ГОРЕНИЕ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА», 13-16 ноября 2012 года.- Новосибирск, Россия.- с. 9.1-9.4.

14 A.S. Askarova, S.A. Bolegenova, R. Leithner, V. Ju. Maximov Numerical modeling of temperature and concentration characteristics in combustion chamber at power plant of Kazakhstan // International Journal of Mathematics and Physics, 2013.- p. 102-106.

- 15 A. Askarova, S. Bolegenova, V. Maximov, A. Bekmuhamet, M. Beketayeva // Transaction of the ASME, 1950, № 5, p. 591-599. Three-dimensional modeling of aerodynamic characteristics of combustion chamber BKZ-75 mining thermal power station // Recent Advances in Systems Science and Mathematical Modelling, Paris, France, 2012.- p. 276-279.
- 16 Алияров Б.К. Освоение сжигания экибастузского угля на тепловых электростанциях. - Алматы: Гылым, 1996. – с. 272.
- 17 Omory J., Orning A. Effect of Pressure on the Combustion of pulverized coal
- 18 Кацнельсон Б.Д. Горение угольной пыли под давлением. - ЦКТИ, 1954, кн. 26, с. 35-43.
- 19 Кацнельсон Б.Д., Мароне И.Я. О воспламенении и горении угольной пыли. - Теплоэнергетика, 1961, № 1, с. 30-35.
- 20 Кацнельсон Б.Д. Исследование горения частиц и факела твердых топлив на лабораторных установках. - В кн.: Третье Всесоюзное совещание по теории горения, т. 2, М.: Изд-во АН СССР, 1960, с. 115-122.

Принято в печать 20.10.14

**А.С.Аскарова, С.А.Болегенова, В.Ю., Максимов, А.А.Туякбаев,
З.Х.Габитова, А.С. Сагинаева, К.Бердыхан**
Казахский Национальный университет им. Аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

ПРОЦЕССЫ ТЕПЛОМАССОБМЕНА И КОНЦЕНТРАЦИОННЫЕ ПОЛЯ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ФАКЕЛА В ТОПОЧНОЙ КАМЕРЕ КОТЛА БКЗ 75 ШАХТИНСКОЙ ТЭЦ

Аннотация. Рассмотрены процессы тепломассообмена и концентрационных полей продуктов горения пылеугольного факела в топочной камере котла БКЗ 75 Шахтинской ТЭЦ. Результаты проведенных вычислительных экспериментов позволяют сделать вывод о том, что в центральной области топочной камеры котла БКЗ 75-39ФБ Шахтинской ТЭЦ наблюдается резкое изменение аэродинамических характеристик с образованием вихревого течения, которое ослабевает по мере продвижения пылеугольного потока и пылеугольного горения к выходу.

Ключевые слова: тепломассообмен, факел, камера сгорания, котел.

**A.S.Askarova, S.A.Bulegenova, V.Y., Maksimov,
A.A.Tuyakbaev, Z.H.Gabitova, AS Saginaeva, K.Berdihan**
Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

HEAT AND MASS TRANSFER PROCESSES AND CONCENTRATION WASTE GAS FIELD COAL-DUST FLAME IN THE COMBUSTION CHAMBER OF THE BOILER BKZ 75 SHAKHTINSK CHP

Annotation. The processes of heat and mass transfer and concentration fields of combustion products of coal-dust torch in the combustion chamber of the boiler BKZ 75 Shakhtinskaya CHP. The results of computational experiments allow us to conclude that in the central region of the combustion chamber of the boiler BKZ 75-39FB Shakhtinskaya CHP seen a dramatic change in the aerodynamic characteristics of the formation of the vortex flow, which weakens as you move the flow of pulverized coal and pulverized coal combustion to the exit.

Keywords: heat and mass transfer, a torch, a combustion chamber, the boiler.

**Ә.С.Асқарова, С.А. Бәлегенова, В.Ю.Максимов, А.А.Туяқбаев, З.Х.Габитова,
А.С.Сағынаева, Қ.Бердіхан**
Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті

**ЖЫЛУ МАССА АЛМАСУ ПРОЦЕСТЕРІ МЕН ШАХТИНСК ЖЭО-ның БКЗ 75
ҚАЗАНДЫҒЫНЫҢ ЖАНУ КАМЕРАСЫНДАҒЫ ШАҢКӨМІРЛІ АЛАУДЫҢ ЖАНУ
ӘНІМДЕРІНІҢ КОНЦЕНТРАЦИЯЛЫҚ ӘРІСТЕРІ**

Тңйін. Шахтинск ЖЭО-ның БКЗ 75 қазандығының жану камерасындағы шаңкөмірлі алаудың жану әнімдерінің концентрациялық әрістері мен жылу масса алмасу процестері қарастырылды. Жүргізілген есептеуіш тәжірибелердің нәтижелері Шахтинск ЖЭО-ның БКЗ 75-39ФБ қазандығының жану камерасының орталық бөлігінде құйынды ағыстардың түзілуіне қатысты аэродинамикалық сипаттамалардың күрт әзгерісі байқалатындығын кәрсетті. Аталған ағыс шаңкөмірлі ағын мен шаңкөмірлі жанудың шығысқа қарай баяу қозғалысы әсерінен әлсірей түседі.

Кілтті сәздер: жылу және масса, алау, іштен жану камерасы, қазандық