

В Е С Т Н И К

**АЛМАТИНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ**

№ 1(44)

2019

**Научно-технический журнал
Выходит 4 раза в год**

Алматы

А.С. Аскарова¹, С.А. Болегенова¹, В.Ю. Максимов², А.К. Аташева¹

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²Научно-исследовательский институт экспериментальной и теоретической физики,
Алматы, Казахстан

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В ТОПОЧНОЙ КАМЕРЕ КАЗАХСТАНСКОГО КОТЛА МЕТОДОМ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ

Аннотация. Данная статья посвящена исследованию тепломассопереноса при горении твердого топлива в пылевидном состоянии. Разработана и предложена оптимальная технология сжигания угля с учетом особенностей, как самого топлива (высокая зольность), так и конструктивных особенностей котельной установки (низкая износостойкость энергооборудования, вследствие наблюдающегося перегрева стенок топочной камеры). Предложены наилучшие конструктивные параметры топочной камеры котла БКЗ-420, позволяющие повысить износостойкость энергооборудования и снизить выбросы вредных веществ в атмосферу. Проведена графическая интерпретация полученных основных характеристик процесса тепломассопереноса в виде двумерных, в зависимости от высоты топочной камеры, и трехмерных графиков по всему топочному пространству и на выходе из него, показаны области минимальной и максимальной концентрации вредных продуктов сжигания угля. Определены оптимальные параметры, необходимые для использования разработанной технологии организации сжигания низкосортного пылеугольного топлива в исследуемой топочной камере.

Ключевые слова. Горение, топочная камера, пылеугольное топливо.

В ближайшее время основным видом органического топлива, которое позволит увеличить производство электроэнергии и тепла, будет твердое топливо – уголь. Однако казахстанский уголь имеет значительный недостаток – высокую зольность, приводящую к таким проблемам как: трудности воспламенения угольного потока и его горения в целом; зашлакованность топочных экранов и камер сгорания; выбросы вредных веществ: оксиды углерода (CO , CO_2) и оксиды азота (NO_x). Наиболее вредными загрязнителями атмосферы при сжигании топлива на ТЭС являются оксиды азота NO_x [1].

При освоении новых энергетических блоков, использующих пылеугольное топливо, исследования топочных процессов с целью их усовершенствования чрезвычайно затруднено. Для повышения надежности и улучшения качества проектирования большую актуальность приобретает разработка методов комплексного расчета топочных устройств с учетом аэродинамики топочной камеры, воспламенения, теплообмена и механизмов выгорания пылеугольного факела [2].

Горение пылеугольного факела в реальных условиях представляет собой сложный для математического анализа физико-химический процесс. Особой сложностью отличается он в условиях топочных камер промышленных котлов, где ось факела криволинейна, а холодные экранированные стены топочной камеры обуславливают значительный градиент температуры и всех зависящих от нее параметров от периферии к центру факела. Проблема моделирования такого процесса включает взаимодействие турбулентного горения многих химических компонент с многофазными процессами (частицы газообразного или твердого топлива и углерода в поле течения) и с лучистым теплопереносом [3].

Незаменимым эффективным методом теоретического исследования течений химически реагирующих сред является численное моделирование. Более того, созданы мощные вычислительные программные комплексы (FLOREAN, Ansys Fluent и другие), в которых реализованы различные математические модели. В качестве вычислительного инструмента в данной работе используется программный комплекс FLOREAN [4].

В работе используется топочная камера котла БКЗ-420. Топочная камера БКЗ-420 имеет существенный недостаток, который заключается в том, что струи горячего воздуха

бьют в стенку, которая находится напротив горелок. Это приводит к ее обжигу и дальнейшему нарушению целостности. Для предотвращения этого на ТЭЦ, в номинальном режиме, через инжекторы, установленные на противоположной горелкам второго яруса стенке, подается холодный воздух с массовым расходом 5 кг/с (Рис.1). Мы смоделировали этот базовый вариант.

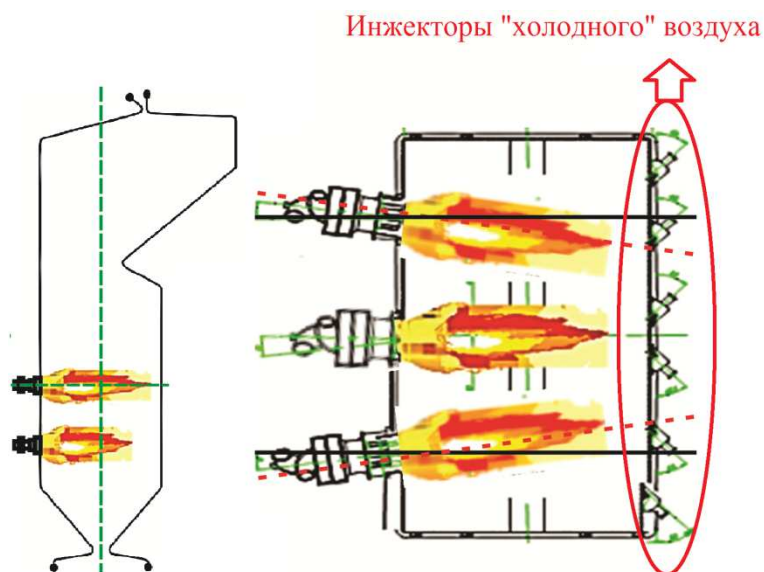


Рисунок 1 – Организация сжигания пылеугольного топлива на котле БКЗ-420

Таблица 1 - Основные исходные данные для трехмерного моделирования

Расход топлива на котёл (при номинальной нагрузке)		В, т/час	72					
Тип горелок		Вихревая двухпоточная						
Количество горелок на котле		$N_{Г}$, шт.	6					
Производительность одной горелки по топливу		$V_{Г}$, т/час	12					
Температура аэрсмеси после мельниц		$t_{a/cm}$, °С	90÷130					
Тип системы пылеприготовления		Прямое дувание						
Расход первичного воздуха на одну горелку		$V_{п.в.}$, $нм^3/час \times 10^3$	13860					
Расход вторичного воздуха на горелку		$V_{вт.в.}$, $нм^3/час \times 10^3$	52140					
Температура горячего воздуха		$t_{гв}$, °С	280÷340					
Коэффициент избытка воздуха за топкой		α_T	1,1÷1,4					
W_r, %	A_r, %	Q_r, ккал/кг	V_{daf}, %	S_t, %	C_{daf}, %	H_{daf}, %	N_{daf}, %	O_{daf}, %
5	40,0	4000	24-28	0,4-0,7	82,0	5,0	1,5	11,5

Ниже представлен общий вид топочной камеры котла БКЗ-420, а также её разбивка на контрольные объемы (Рис.2). Для проведения вычислительных экспериментов используется метод контрольного объема. Таким образом, модель топочной камеры исследуемого котла имеет 871 594 контрольные ячейки.

Ниже представлены результаты 3D-моделирования процесса сжигания угля в топочной камере котла БКЗ-420 для двух вариантов подачи дополнительного воздуха через отверстия, расположенные на противоположной горелкам стене.

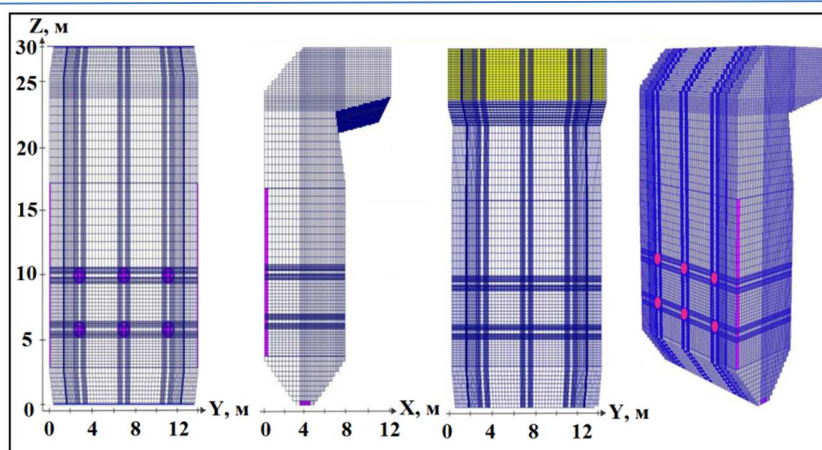
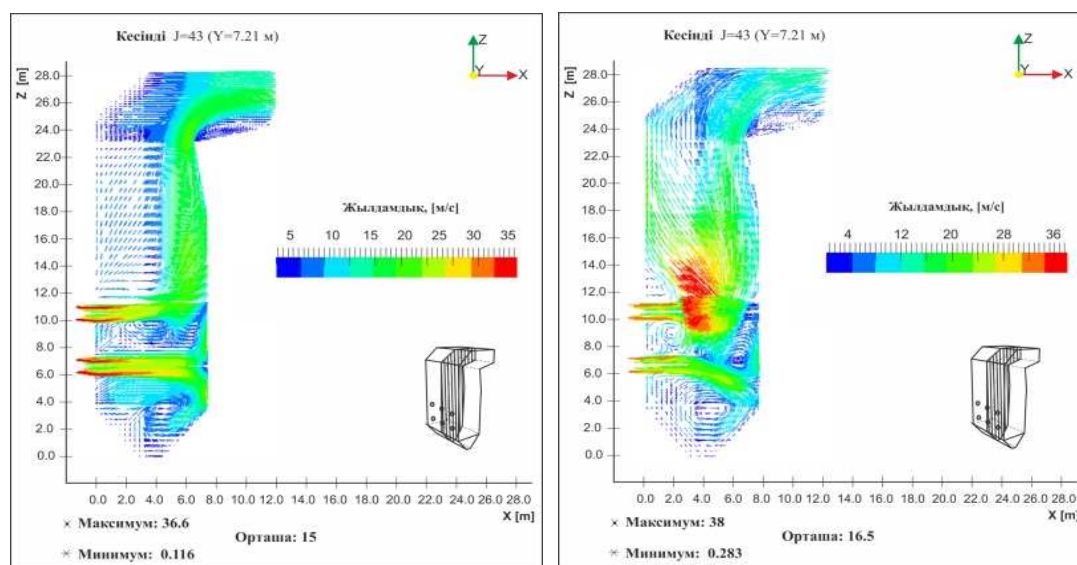


Рисунок 2 – Общий вид топочной камеры и разбивка на контрольные объемы

В ходе выполнения исследовательской работы авторами настоящей статьи был предложен альтернативный режим работы исследуемой котельной установки для ТЭЦ, когда расход воздуха через дополнительные инжекторы увеличивается до 10 кг/с, а отверстия повернуты под углом 45° к оси котла. Наклон инжекторов холодного воздуха на 45° к оси топки создает необходимые условия для образования дугообразного потока, который защищает стенки от перегрева и помогает уменьшить температуру возвратного потока горячей аэросмеси.

На Рис.3 представлено распределение вектора скорости в продольном сечении ($y=7.21\text{ м}$) котла БКЗ-420 при массовом расходе воздуха, равном 5кг/с (Рис.3а) и 10кг/с (Рис. 2б) и направленном от стенки противоположной горелкам.

Сравнивая рисунки 3а и 3б, можно заметить, что с увеличением массового расхода воздуха, увеличивается турбулентность, а также максимальные, средние и минимальные значения скорости. Максимальное значение скорости для первого случая равно 36,6 м/с, а для второго – 38 м/с. При массовом расходе воздуха равном 10 кг/с потоки аэросмеси образуют завихрения выше и ниже области верхних горелок. Образование турбулентных вихрей создает лучшие условия для более полного выгорания пылеугольного топлива.

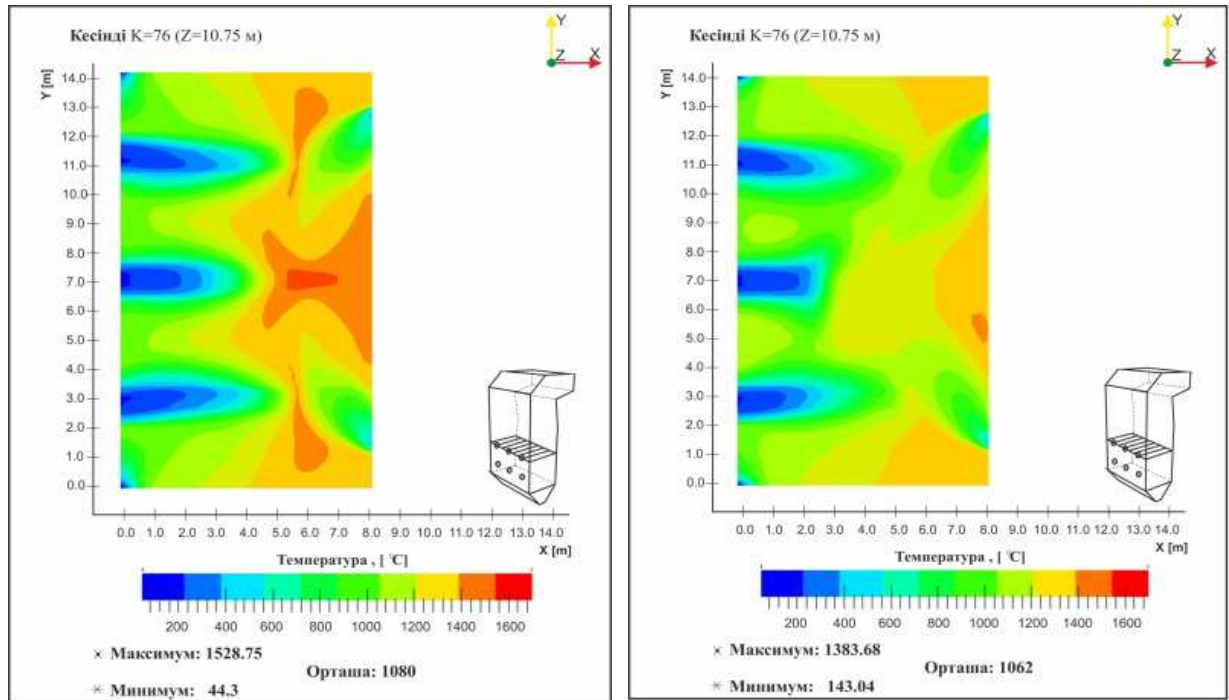


а) 5 кг/с

б) 10 кг/с

Рисунок 3 – Распределение вектора скорости в центральном продольном сечении ($y=7.21\text{ м}$) топочной камеры котла БКЗ-420

На Рис.4 можно видеть, что максимальное значение температуры наблюдается в центре топки, в области смешения аэросмеси и дополнительного воздуха, направленного под углом в 45 градусов к стенке котла. Такая компоновка создает условие для образования дугообразного потока, который защищает от перегрева стенки и помогает уменьшить температуру обратного потока.



а) 5 кг/с

б) 10 кг/с

Рисунок 4 – Распределение температуры T в поперечном сечении камеры сгорания в зоне горелок верхнего яруса

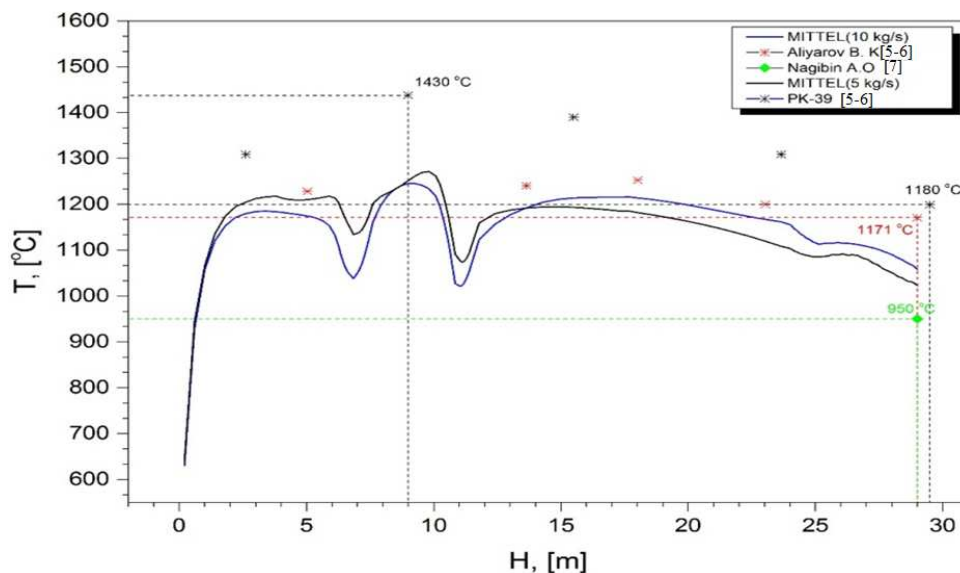


Рисунок 5 – Средняя температура по высоте топки котла

Сказанное выше подтверждается двухмерными графиками распределения температуры по высоте топочной камеры для двух разных массовых расходов дополнительного воздуха через отверстие, представленными на Рис.5. Анализ рисунка

показывает, что на высоте $H_1=6.82$ и $H_2=10.8$ метров расположены горелочные устройства, через которые подается холодная азросмесь, наблюдаются минимумы в распределении температуры. На выходе камеры при массовом расходе воздуха 5кг/с значение температуры выше по сравнению с подачей при 10кг/с .

Из Рис.6 можно увидеть, что на выходе из камеры сгорания среднее значение концентрации оксида углерода CO , при количестве подаваемого дополнительного воздуха 5кг/с , составляет $2,01 \cdot 10^{-4}$ кг/кг , а при количестве подаваемого дополнительного воздуха 10кг/с составляет $1,71 \cdot 10^{-4}$ кг/кг . Второй метод сжигания топлива обеспечивает уменьшение концентрации угарного газа CO на выходе камеры сгорания на 15%.

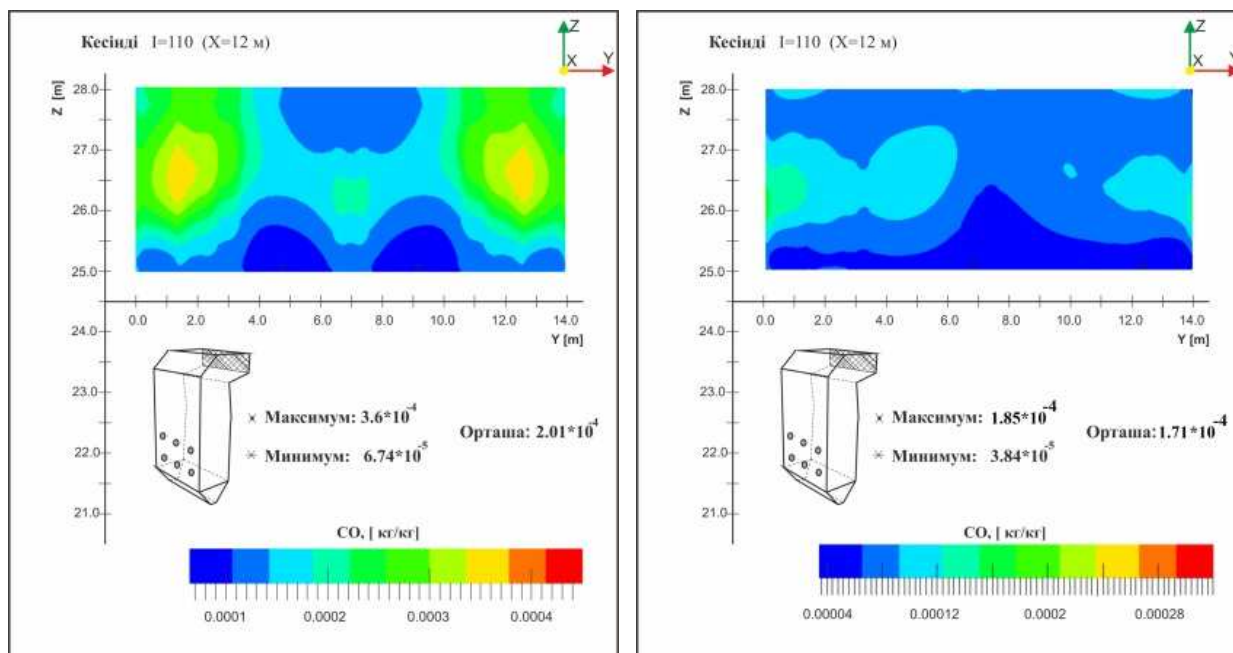


Рисунок 6 – Распределения концентрации угарного газа CO на выходе из камеры сгорания

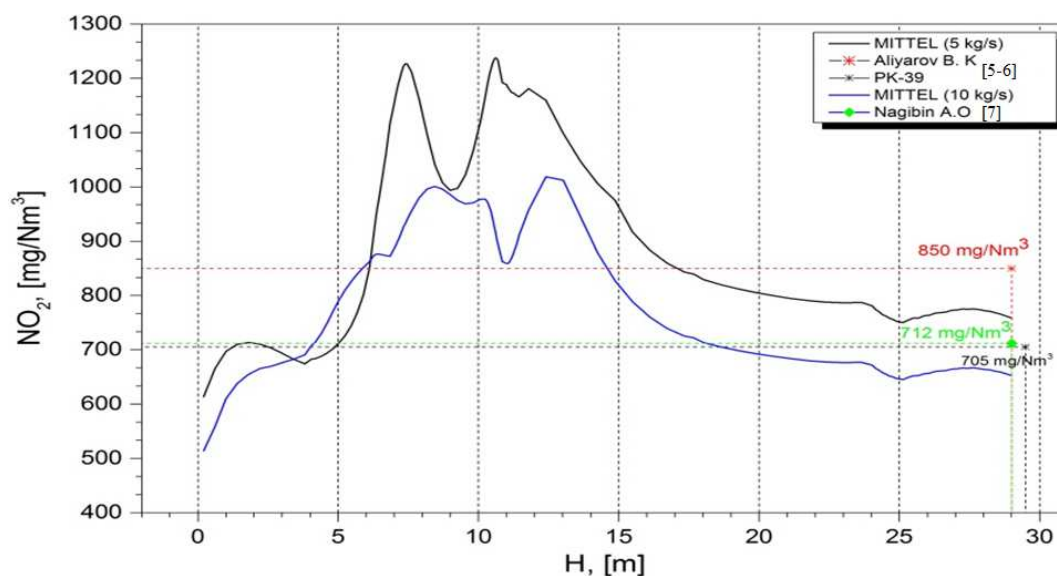


Рисунок 7 – График распределения средних значений оксидов азота NO_x по высоте топочной камеры для различных значений массового расхода дополнительного воздуха

На выходе (Рис.7) мы имеем среднее значение концентрации $\text{NO}_x = 761 \text{ mg/Nm}^3$ для расхода дополнительного воздуха, равного 5 кг/с , и среднее значение концентрации NO_x по сечению на выходе, равное 655 mg/Nm^3 для расхода 10 кг/с , что вполне допустимо для норм выбросов NO_x , принятых на ТЭЦ.

По результатам проведенного исследования можно сформулировать следующий вывод: предложенная технология сжигания высокозольного угля в топке котла БКЗ-420, оптимальна тем, что повышает износостойкость мощности и снижает выбросы вредных веществ в атмосферу. Такая организация сжигания пылеугольного топлива снижает температуру стенки, находящейся напротив горелок на $17,24\%$, двуокиси углерода CO_2 – на $4,65\%$ и оксидов азота NO_x – на 14% . Кроме того, результаты полученные в ходе проведения данного исследования, позволят освоить новые технические решения для организации наиболее эффективного производства энергии, как на действующих электростанциях, так и при создании новых.

Список использованных источников

1. Statistical Review of World Energy
2. Askarova, A.S., Bekmukhamet, A., Bolegenova, S.A., Symbat, B., Maximov, V.Y., Beketayeva, M.T., Yergaliyeva, A. 3-D modeling of heat and mass transfer during combustion of solid fuel in Bkz-420-140-7C combustion chamber of Kazakhstan // Journal of Applied Fluid Mechanics, Volume 9, Issue 2, 2016, Pages 699-709.
3. Корольченко А.Я. Процессы горения и взрыва. – М.: Пожнаука, 2007. – 266 с.
4. Askarova, A.S., Messerle, V.E., Ustimenko, A.B. Bolegenova, S.A., Bolegenova, S.A., Maximov, V.Y., Yergaliyeva, A. Reduction of noxious substance emissions at the pulverized fuel combustion in the combustor of the BKZ-160 boiler of the Almaty heat electropower station using the “Overfire Air” technology // Thermophysics and Aeromechanics, Volume 23, Issue 1, Pages 125-134.
5. Алияров Б.К., Алиярова М.Б., Сжигание казахстанских углей на ТЭС и на крупных котельных., Алматы-2012. -130с.
6. Алияров Б.К., Освоение сжигания экибастузских углей на тепловых электрических станциях. Алматы , Гылым, 1996, 272с.
7. Аскарлова А.С., Мессерле В.Е., Нагибин А.О., Устименко А.Б. Горение пылеугольного факела в топке с плазменно-топливной системой. //Теплофизика и аэромеханика, 2010, Т.17, №3, с.467-476.

REFERENCES

1. Statistical Review of World Energy
2. Askarova, A.S., Bekmukhamet, A., Bolegenova, S.A., Symbat, B., Maximov, V.Y., Beketayeva, M.T., Yergaliyeva, A. 3-D modeling of heat and mass transfer during combustion of solid fuel in Bkz-420-140-7C combustion chamber of Kazakhstan // Journal of Applied Fluid Mechanics, Volume 9, Issue 2, 2016, Pages. 699-709.
3. Korolchenko A.Ya. The processes of combustion and explosion. - M .: Pozhnauka, 2007. - 266 p
4. Askarova, A.S., Messerle, V.E., Ustimenko, A.B. Bolegenova, S.A., Bolegenova, S.A., Maximov, V.Y., Yergaliyeva, A. Reduction of noxious substance emissions at the pulverized fuel combustion in the combustor of the BKZ-160 boiler of the Almaty heat electropower station using the “Overfire Air” technology // Thermophysics and Aeromechanics, Volume 23, Issue 1, Pages 125-134.
5. Aliyarov B.K., Aliyarova M.B, Burning of Kazakhstan coal at thermal power plants and large boiler houses., Almyty-2012. -130p

6. Aliyarov B.K., Mastering the burning of Ekibastuz coal at thermal power plants. Almaty, Gylum, 1996, 272p.
7. Askarova A.S., Messerle V.E., Nagibin A.O., Ustimenko A.B. Burning pulverized coal torch in the furnace with a plasma-fuel system. // Thermophysics and aeromechanics, 2010, T.17, No. 3, Pages. 437-476.

3D-МОДЕЛЬДЕУ ӘДІСІМЕН ҚАЗАҚСТАНДЫҚ ҚАЗАНДАРДАҒЫ ПЕШ КАМЕРАЛАРЫНА ЖЫЛУ ЖӘНЕ МАССА ТАСЫМАЛДАУ ПРОЦЕССИН ОҢТАЙЛАНДЫРУ

А.С. Аскарова¹, С.А. Болегенова¹, В.Ю. Максимов², А.К. Аташева¹

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

²Эксперименттік және теориялық физика ғылыми-зерттеу институты, Алматы, Қазақстан

Аңдатпа. Бұл мақала шаң күйіндегі қатты отынның жану кезіндегі жылу мен масса тасымалдауын зеттеуге арналған. Отынның өзі секілді (жоғары күлділік), сонымен қатар қазан құрылғыларының конструкциялық қасиеттерін (нәтижесінде пеш камерасы қабырғаларының қызып кетуі байқалатын қуат жабдығының төменгі төзімділігі), көмірдің қасиеттерін игере отырып, оның жануының оптималды технологиясы игеріліді және ұсынылды. Қуат жабдығының төзімділігін арттыратын және атмосфераға зиянды заттарды шығаруды азайтатын, БКЗ-420 қазандық жану камерасының ең үздік конструкциондық параметрлері ұсынылды. Көмірді жағудағы зиянды өнімдердің концентрациясының минималды және максималды областары көрсетілген, пеш камерасының биіктігіне тәуелді екіөлшемді түрдегі, пештің барлық кеңістігіндегі және оның шығысындағы үшөлшемді графиктерінің жылу мен масса тасымалдау процесстерінен алынған негізгі сипаттамаларға графикалық интрепретация жүргізілді. Зерттелген пеш камерасында төменгісортты күлкөмірді отынды жағуға әзірленген технологияны қолдануға қажетті тиімді параметрлер анықталды.

Кілттік сөздер: Жану, пеш камерасы, күлкөмір отын.

OPTIMIZATION OF HEAT AND MASS TRANSFER PROCESSES IN THE FURNACE CHAMBER OF THE KAZAKHSTAN BOILER BY 3D MODELING

A.S. Askarova¹, S.A. Bolegenova¹, V.Y. Maximov², A.K. Atasheva¹

¹Kazakh national university named after al-Farabi, Almaty, Kazakhstan

²Scientific Research Institute of Experimental and Theoretical Physics, Almaty, Kazakhstan

Abstract. This article is devoted to the study of heat and mass transfer during the combustion of solid fuel in a pulverized state. The optimal technology of coal combustion has been developed and proposed taking into account the features of both the fuel itself (high ash content) and the design features of the boiler plant (low wear resistance of power equipment, due to the observed overheating of the furnace chamber walls). The best design parameters of the combustion chamber of the boiler BKZ420 are proposed, which make it possible to increase the wear resistance of power equipment and reduce emissions of harmful substances into the atmosphere. A graphical interpretation of the obtained main characteristics of the process of heat and mass transfer in the form of two-dimensional, depending on the height of the combustion chamber, and three-dimensional graphs throughout the furnace space and at the exit from it, shows areas of minimum and maximum concentrations of harmful products of coal combustion. The optimal parameters necessary for the use of the developed technology of organizing the combustion of low-grade pulverized coal in the investigated combustion chamber are determined.

Keywords: Combustion, combustion chamber, pulverized coal.