

ISSN 1563-034X
Индекс 75877; 25877

ӘЛ-ФАРАБИ атындағы ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

ҚазҰУ ХАБАРШЫСЫ

Физика сериясы

КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени АЛЬ-ФАРАБИ

ВЕСТНИК КазНУ

Серия физическая

AL-FARABI KAZAKH NATIONAL UNIVERSITY

KazNU BULLETIN

Physics series

№1 (56)

Алматы
«Қазақ университеті»
2016

Аскарова А.С., Болегенова С.А.,
Болегенова С.А.,
Максимов В.Ю., Ергалиева А.Б.,
Габитова З.Х., Боранбаева А.Е.

**Исследование характеристик
теплообмена при горении
пылеугольного факела
в топочной камере котла
БКЗ-160 Алматинской ТЭЦ-3**

Askarova A., Bolegenova S.A.,
Bolegenova S.,
Maximov V., Yergaliyeva A.,
Gabitova Z., Boranbaeva A.

**Investigation of heat transfer
characteristics when burning the
coal-dust torch in the combustion
chamber of the boiler BKZ-160
Almaty CHP-3**

Аскарова Ә.С., Бөлегенова С.А.,
Бөлегенова С.,
Максимов В.Ю., Ергалиева А.Б.,
Ғабитова З.Х., Боранбаева А.Е.

**Алматы ЖЭО-3 БКЗ-160
қазандығының жану
камерасында шаңтозаңды
алаудың жануы кезіндегі
жылуалмасу сипаттамаларын
зерттеу**

Исследования различных химических процессов в газовой среде являются актуальными на сегодняшний день, поскольку рассматриваются во многих областях науки и техники, и представляют огромный практический интерес у исследователей и инженеров. Целью данного исследования было проведение вычислительного эксперимента для определения основных характеристик теплообмена в топочной камере реального энергетического объекта – котла БКЗ-160 Алматинской ТЭЦ-3. Методологию работы составил – метод математического моделирования который проводился с помощью пакета прикладных программ FLOREAN. Результатами работы было исследование процессов теплообмена, которое позволило нам в ходе данного исследования определить распределение температуры, химической энергии и концентрации кислорода по всему объему топочной камеры.

Ключевые слова: теплообмен, численное моделирование, сжигание угля, температура, окислитель, химическая энергия.

Researches of various chemical processes in the gas environment are relevant today, as discussed in many areas of science and technology, and are of great practical interest for researchers and engineers. The aim of this study was to conduct a computational experiment to determine the basic characteristics of the heat exchange in the combustion chamber of the real energy facility-BKZ-160 of the AlmatyCHP-3. The methodology of work is- the method of mathematical modeling which was conducted with the help of the application package FLOREAN. The results of study was to investigate the processes of heat exchange, which will allow us in this study to determine the distribution of temperature, chemical energy, and the oxygen concentration in the entire volume of the combustion chamber.

Key words: heat transfer, numerical simulation, coal combustion, temperature, oxidant chemical energy.

Газдық ортадағы түрлі химиялық процестерді зерттеу қазіргі уақытта өзекті болып отыр, себебі ғылым мен техниканың көп салаларында қарастырылады және зерттеушілер мен инженерлердің тәжірибелік қызығушылығына ие. Зерттеудің негізгі мақсаты Алматы ЖЭО-3 БКЗ-160 қазандығы – шынайы энергетикалық объектінің жану камерасындағы жылуалмасудың негізгі сипаттамаларын анықтау үшін есептеу тәжірибесін жүргізу болып табылады. Жұмыс әдіснамасы – FLOREAN қолданбалы бағдарламалар пакеті көмегімен жүргізілген математикалық модельдеу әдісі. Жұмыс нәтижесі осы зерттеу барысында жану камерасының толық көлемі бойынша оттегінің температурасы, химиялық энергиясы және шоғылануының таралуын анықтауға мүмкіндік берген жылуалмасу процестерін зерттеу болды.

Түйін сөздер: жылуалмасу, сандық модельдеу, көмірді жағу, температура, тотықтырғыш, химиялық энергия.

**ИССЛЕДОВАНИЕ
ХАРАКТЕРИСТИК
ТЕПЛООБМЕНА
ПРИ ГОРЕНИИ
ПЫЛЕУГОЛЬНОГО
ФАКЕЛА В ТОПОЧНОЙ
КАМЕРЕ КОТЛА БКЗ-160
АЛМАТИНСКОЙ ТЭЦ-3**

Введение

Экономика Казахстана с каждым годом уверенно набирает быстрые темпы развития. Заслугой экономического роста является интеграция национального хозяйства Казахстана в мировую экономику, что соответственно приводит к развитию рыночных отношений, способствует повышению эффективности и конкурентоспособности национального хозяйства. Надежная основа для создания современной конкурентоспособной экономики является значительный производственный, существенный военно-промышленный и научно-технический потенциалы; высокий образовательный уровень населения; большие запасы природных ресурсов, но есть и множество недостатков, таких как отсутствие выхода на мировой океан; монополизация производства; структурная диспропорциональность экономики; устаревший уровень производственного аппарата и др. предполагает безотлагательное проведение структурной перестройки экономики и интенсивное развитие внутреннего рынка.

В Казахстане угольная промышленность – одна из наиболее крупных отраслей экономики и является основой энергетического комплекса Казахстана наряду с нефтяной и газовой промышленностью. Развитие угольной промышленности страны, с учетом интеграции в мировой топливно-энергетический комплекс, определяется главным образом необходимостью приобретения энергетической независимости. В связи с этим становится актуальным вопрос реконструкции, эксплуатации и, разумеется, разработки нового производственно-технологического комплекса.

Исследование динамики выгорания пылеугольного факела, нелинейных процессов тепломассопереноса является непростой и до конца неизученной задачей, решение которой требует глубокого анализа, как с прикладной, так и с фундаментальной точки зрения. Взаимодействие потока газа и химических процессов описывается сложной системой нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных. Одним из эффективных методов теоретического исследования таких течений является численное моделирование. Численное моделирование и проведение вычислительных экспериментов позволяет опти-

мально решать научные и проектно- конструкторские задачи [1-4].

Физическая постановка задачи

Вычислительные эксперименты на реальной энергетической установке камеры сгорания котла БКЗ- 160 Алматинской ТЭЦ- 3 были проведены с помощью стартового пакета программ FLOREAN [5-7].

Этот пакет программ был использован для основы численных исследований и был дополнен нами новой компьютерной программой GEOM, которая пишется всегда при выборе нового объекта исследования (топочная камера), с учетом геометрии, размеров горелочных устройств, их формы и расположением в пространстве камеры сгорания. В этой компьютерной программе учитываются все характеристики сложного реального физико-химического процесса в выбранном нами объекте исследования и задаются граничные условия для решения выбранной за-

дачи исследования, адекватно отражающие этот процесс.

Установленная электрическая мощность ТЭЦ-3 – 173 МВт, тепловая – 335,26 Гкал/ч. На ТЭЦ-3 установлено 6 котельных агрегатов БКЗ-160, паропроизводительность каждого из которых 160 т/час (рисунок 1).

По боковым сторонам топочной камеры расположены 4 блока прямоточных щелевых горелок (по 2 горелки в блоке), направленных по касательной к окружности диаметром 60х4 с шагом 64 мм.

Проведение исследования тепловых характеристик является важным этапом моделирования процессов тепломассопереноса при сжигании пылеугольного топлива, которое позволяет определить температурные поля по всему объему топочной камеры и на выходе из нее. Кроме того, такие исследования позволяют найти распределения энергии, выделяющейся в результате химических реакций, и определить величину, характеризующую теплообмен посредством излучения.

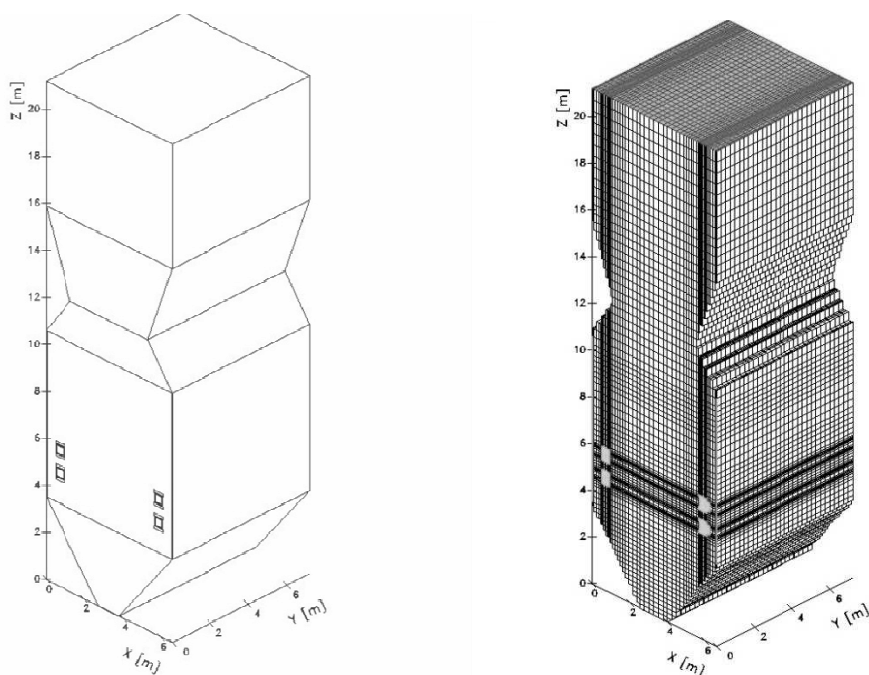


Рисунок 1 – Геометрия (а) и разбивка (б) на контрольные объемы топочной камеры котла БКЗ-160 Алматинской ТЭЦ-3

Результаты

На рисунках 2-3 приведены профили температуры, характеризующие тепловое поведение пылеугольного потока в топочной камере.

Из рисунка 2 и видно, что наибольшие изменения (максимумы и минимумы) распределения температуры приходится на область расположения горелочных устройств, поскольку здесь, посредством вихревого характера тече-

ния, наблюдается максимальный конвективный перенос и, как результат, увеличивается время пребывания угольных частиц, что приводит к росту температуры в указанной зоне. Именно в области пояса горелок, где взаимодействуют топливо и окислитель, наиболее интенсивно происходят химические реакции с максимальным выделением тепла (рис.3а,3б). Минимумы же температуры объясняются тем, что аэро-

смесь, подаваемая через горелки, холодная ($T_a = 250 \text{ }^\circ\text{C}$). Далее, по мере продвижения к выходу из топочной камеры в связи с ослаблением химических процессов, температура падает и на выходе ее значение составляет $\sim 1100^\circ\text{C}$ (рисунок 3в). Из рисунка 2, 3а видно, что значения температуры достигают своих максимальных значений в области, близкой к месту расположения горелочных устройств.

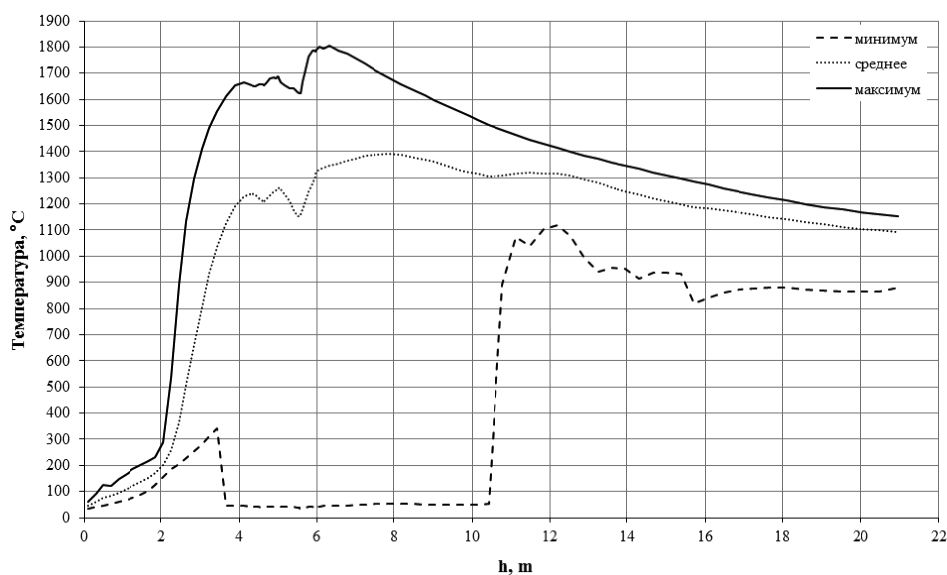


Рисунок 2 – Распределение температуры по высоте топочной камеры

Анализ рисунков 2, 3а, 3б показывает, что исходящие из горелок факелы, образуют в центре топочной камеры высокотемпературное ядро со средней температурой горения $\sim 1200^\circ\text{C}$. В первую очередь, это объясняется максимальным уровнем турбулентных пульсаций в данной области, что приводит к интенсификации процесса горения угольных частиц. Также, на рисунке 3а показано, что турбулентный перенос вещества (аэросмеси) обуславливает распространение пылеугольного факела по всему объему топочной камеры, о чем свидетельствуют средние значения температуры в указанных сечениях. Такое поведение способствует равномерному обогреву стенок топочной камеры.

Процессы теплопереноса, 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. Энергия, выделяемая вследствие химических реакций, напрямую зависит от содержания горючего углерода и концентрации кислорода в топочной камере котла. На рисунках 4-5 представлены результаты численного моделирования распределения концентрации кислорода O_2 по высоте и в объеме топочной камеры, из анализа которых можно судить о химической полноте выгорания топлива. Мы наблюдаем, что на высоте находящейся выше горелочных устройств и выше происходит заметный спад концентрации кислорода, которая имеет максимальные значения в зоне подачи воздуха (рис. 4, 4а). Основная часть кислорода расходуется на начальном этапе горения на горение летучих и на окисление углерода и азота топлива. Сказанное выше подтверждается 3-D графиками и дает более полную картину распределения

безразмерной концентрации кислорода в продольном сечении камеры сгорания (рис. 4а, $y = 3,7$ м), в поперечном сечении (рис. 4б, $z = 4,81$), приходящейся на нижний ярус горелок и на выходе из топочного пространства (рис. 4и, $z = 20,96$).

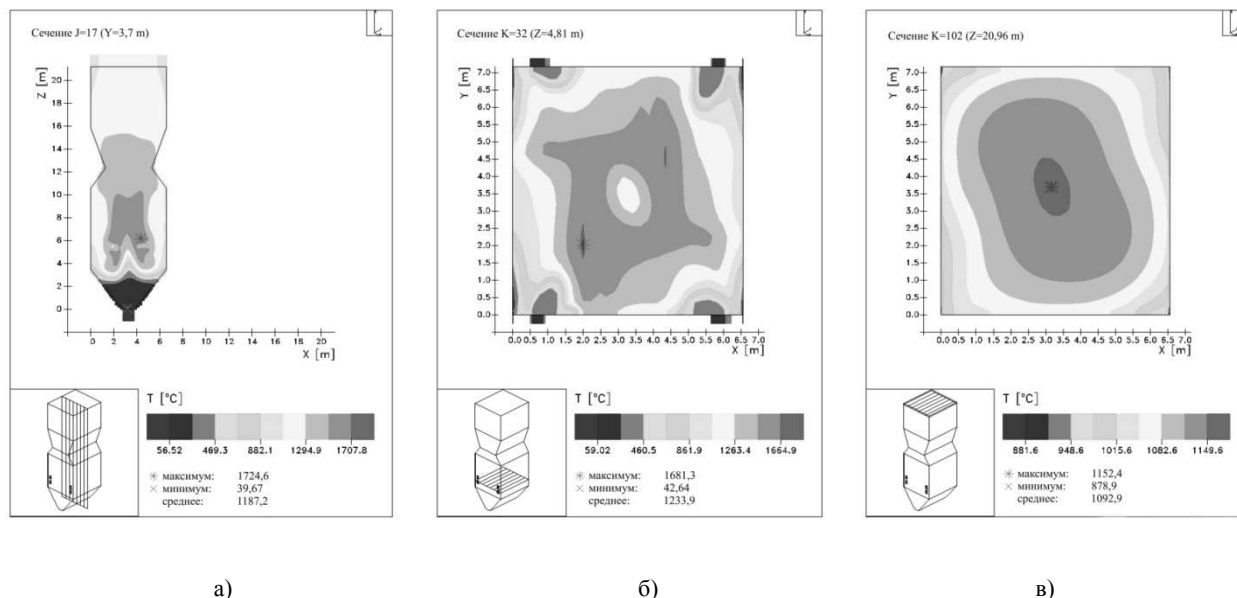


Рисунок 3 – Распределение температуры: а) в продольном сечении ($y = 3,7$ м); б) в сечении установки горелочных устройств ($z = 4,81$ м); в) на выходе из топочной камеры ($z = 20,96$ м)

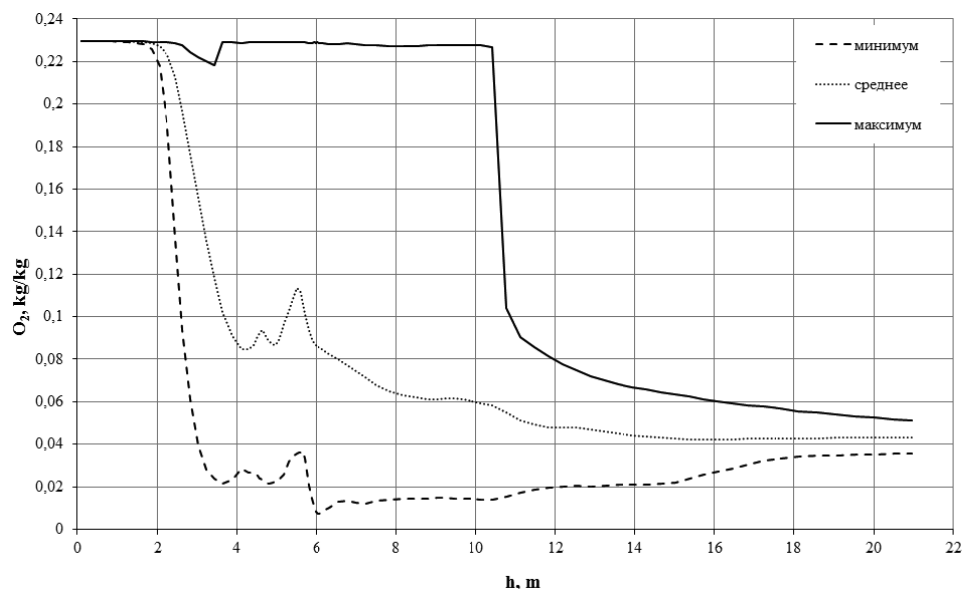


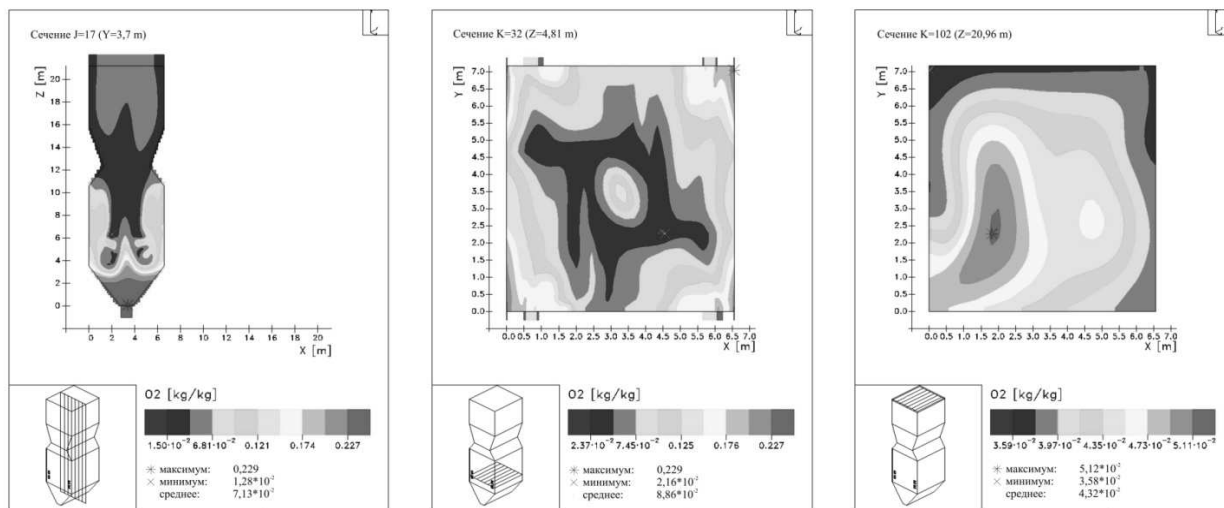
Рисунок 4 – Распределение концентрации кислорода O_2 по высоте топочной камеры

Область расположения горелок с наибольшей концентрацией углерода и кислорода является областью высвобождения тепловой энергии, как уже было сказано выше. Поэтому в этой

области (рис.6) наблюдается четко выраженные максимумы и минимумы химической энергии Q_{chem} , которые наблюдаются около верхнего и нижнего яруса горелок (2 максимума на кри-

вой распределения Q_{chem} при $z = 4,998$ м и $z = 5,938$ м). Мы видим, что ход кривой в области первого максимума химической энергии Q_{chem} и второго максимума распределения химической энергии Q_{chem} совпадает с кривой распределения температуры T (рис. 2). Отчетливо видно,

что минимальные значения энергии, выделяемой за счет химических реакций, наблюдается на выходе из топочной камеры, где все процессы горения с выделением тепла почти завершены. Сказанное выше подтверждается 3-х мерными распределениями Q_{chem} (рис. 6а, 6б, 6в).



а)

б)

в)

Рисунок 5 – Распределение концентрации кислорода O_2 : а) в продольном сечении ($y = 3,7$ м); б) в сечении установки горелочных устройств ($z = 4,81$ м); в) на выходе из топочной камеры ($z = 20,96$ м)

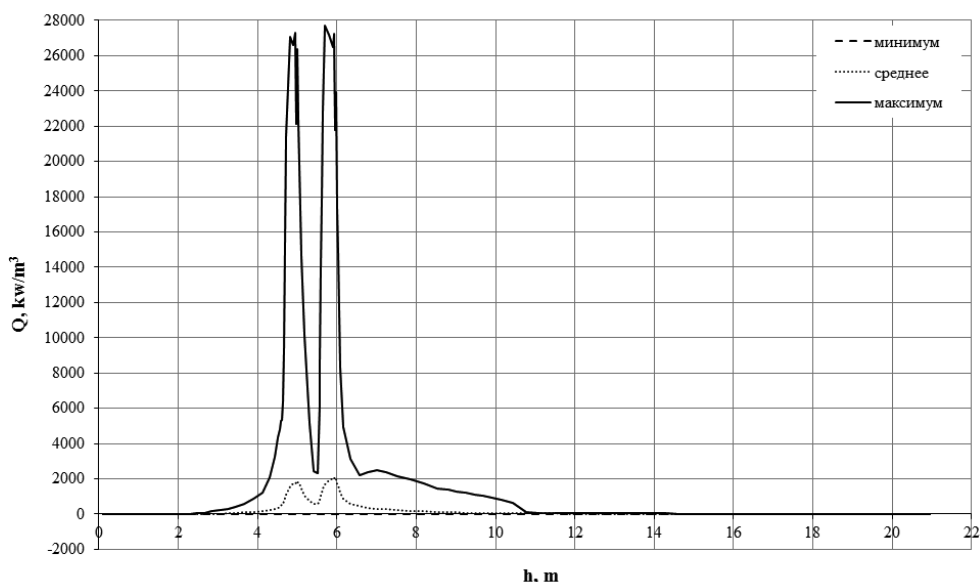


Рисунок 6 – Распределение энергии, выделяемой за счет химических реакций, по высоте топочной камеры котла БКЗ 160 Алматинской ТЭЦ-3

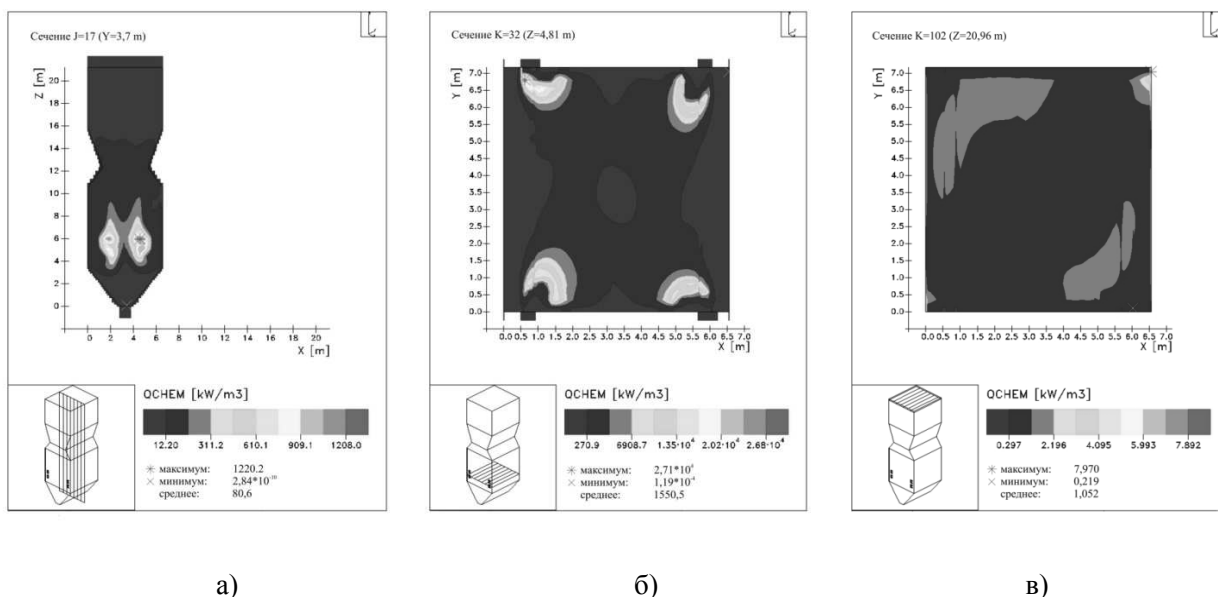


Рисунок 7 – Распределение химической энергии: а) в продольном сечении ($y = 3,7$ м); б) в сечении установки горелочных устройств ($z = 4,81$ м); в) на выходе из топочной камеры ($z = 20,96$ м)

Анализ рисунков 7, 7а показывает, что по мере продвижения пылеугольного потока к выходу, интенсивность протекания химических реакций ослабевает, и на выходе (рис. 7в) энергия химических реакций составляет всего $1,052 \text{ kW/m}^3$ (рис.7в), по сравнению с $1550,5 \text{ kW/m}^3$ в области пояса горелок. Это отражает реальную картину процессов теплообмена, происходящих при сжигании пылеугольного топлива в топочных камерах.

Заключение

В центральной области топочной напротив обоих ярусов горелок ($k=32, z=4,81$ м, $k=50, z=5.79$ м) происходит встречное столкновение пылегазовых потоков из противоположно расположенных горелок, что приводит к максимальному возмущению течения в этой области, к высоко-

му уровню турбулентности, а это в свою очередь обеспечивают высокую степень смешивания топлива и окислителя, к быстрому воспламенению пылегазового факела и полному его выгоранию. Области максимума и минимума значений температуры отчетливо видны в центральной области пылеугольного факела, соответственно это те области, где происходит процесс воспламенения пылегазовой смеси и область подачи холодной аэросмеси. Такое распределение температуры по высоте топочной камеры отражает реальный процесс турбулентного теплообмена. В зоне расположения горелочных устройств интенсивно происходят химические реакции между компонентами топлива и окислителя, это подтверждается максимальными значениями химической энергии ($Q_{\text{chem}} = 2,71 \cdot 10^4 \text{ kW/m}^3$), а также вследствие повышения температуры ($T_{\text{max}} \approx 1681^\circ\text{C}$) в этой области топочного пространства.

Литература

- 1 Askarova A. S., Messerle V. E., Ustimenko A. B. et. al. Numerical simulation of the coal combustion process initiated by a plasma source // Thermophysics and Aeromechanics. – 2014. – Vol. 21. – Issue 6. – P. 747-754.
- 2 Messerle V. E., Ustimenko A. B. et al. Pulverized coal torch combustion in a furnace with plasma-coal system // Thermophysics and Aeromechanics. – 2010. – Vol. 17. – Issue 6. – P. 435-444.
- 3 Karpenko E I; Lavrishcheva, Y. I., Messerle V.E. et al. Plasma-supported coal combustion in boiler furnace // IEEE Transactions on Plasma Science. – 2007. – Vol. 35. Issue 6, – P. 1607-1616.
- 4 Karpenko E.I, Messerle V. E. Ustimenko A.B. et al. Plasma enhancement of combustion of solid fuels // High energy chemistry. – 2006. – Vol. 40. – Issue . – P. 111-118.

- 5 Leithner, R. Numerical Simulation. Computational Fluid Dynamics CFD: Course of Lecture. – Braunschweig, 2006. – 52 p.
- 6 Müller, H. Numerische simulation von Feuerungen. CFD–Vorlesung, TU. – Braunschweig: IWBT, 1997. – 8–12 s
- 7 Askarova, A. S., Bolegenova, S. A., Maximov, V. Yu. et al. Computational method for investigation of solid fuel combustion in combustion chambers of a heat power plant // High Temperature. –2015. –Vol. 53.– Issue 5. – P. 751-757.

References

- 1 Askarova A. S., Messerle V. E., Ustimenko A. B. et. al. Numerical simulation of the coal combustion process initiated by a plasma source. Thermophysics and Aeromechanics,6, (2014), 747-754.
- 2 Messerle V. E., Ustimenko A. B. et al. Pulverized coal torch combustion in a furnace with plasma-coal system. Thermophysics and Aeromechanics, 6, (2010), 435-444.
- 3 Karpenko E I; Lavrishcheva, Y. I., Messerle V.E. et al. Plasma-supported coal combustion in boiler furnace. IEEE Transactions on Plasma Science.6, (2007),1607-1616.
- 4 Karpenko E.I, Messerle V. E. Ustimenko A.B. et al. Plasma enhancement of combustion of solid fuels. High energy chemistry.2, (2006),111-118.
- 5 Leithner, R. Numerical Simulation. Computational Fluid Dynamics CFD: Course of Lecture. Braunschweig, 2006.52 p.
- 6 Müller, H. Numerische simulation von Feuerungen. CFD–Vorlesung, TU.Braunschweig: IWBT,(1997), 8–12.
- 7 Askarova, A. S., Bolegenova, S. A., Maximov, V. Yu. et al. Computational method for investigation of solid fuel combustion in combustion chambers of a heat power plant. High Temperature,5, (2015),751-757.