

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 2, Number 300 (2015), 147 – 153

**INVESTIGATION OF INFLUENCE OF DISPERSIBILITY
OF PULVERIZED COAL INJECTION ON THERMAL
CHARACTERISTICS OF THE COMBUSTION IN THE COMBUSTION
CHAMBER OF THE BOILER BKZ-160 ALMATY TPP-3**

**A. S. Askarova, S. A. Bolegenova, S. A. Bolegenova,
Z. H. Gabitova, V. Yu. Maximov, A. B. Yergaliyeva**

Kazakh national university named after al-Farabi, Physico-Technical Department Almaty, Kazakhstan.

E-mail: Aliya.Askarova@kaznu.kz, Bolegenova.Symbat@kaznu.kz, ergalieva1990@mail.ru

Keywords: computer modeling, combustion chamber, pulverized coal, temperature field, chemical energy, turbulence, monodisperse torch, polydisperse torch.

Abstract. The subject matter of the proposed research was to study the turbulent heat and mass transfer processes in high-reacting flows and determination of thermal characteristics in a real three-dimensional physical-chemical system (combustion chamber). Numerical simulation was conducted with the help of computer software package FLOREAN, tested as a result of computational experiments on a number of TPP RK [1-3]. The main method of solving the equations of mathematical problem is the method of control volume. One of the important properties of the control volume method is that it incorporated the exact integral conservation of quantities such as mass, momentum and energy for any group of control volumes and, consequently, on the whole computational domain.

In this paper we presented the results of computer simulation of turbulent combustion of pulverized coal torch in the chamber of the boiler BKZ-160 Almaty TPP-3. A comparative analysis of the results of computational experiments monodisperse and polydisperse burning coal-fired torches, which are compared with experimental data obtained directly on the TPP. It is shown that the difference in the mean temperatures for the mono- and polydisperse flow pulverized particles are observed in the active combustion, while the exit of the combustion chamber temperature field is aligned and the differences in the values are reduced. Chemical energy reaches a maximum in the fuel mixture flow, that is, in the region of intense reactions between a fuel and an oxidant. It is in these areas, you can see the differences in the values of the chemical energy released by the combustion.

УДК 536.46.:532.517.4

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИСПЕРСНОСТИ
ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА НА ТЕПЛОВЫЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ
В ТОПОЧНОЙ КАМЕРЕ КОТЛА БКЗ-160 АЛМАТИНСКОЙ ТЭЦ-3**

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

КазНУ им. аль-Фараби, физико-технический факультет, Алматы, Казахстан

Ключевые слова: компьютерное моделирование, камера сгорания, пылеугольное топливо, температурное поле, химическая энергия, турбулентность, монодисперсный факел, полидисперсный факел.

Аннотация. Целью настоящей работы являлось исследование процессов турбулентного тепло-массо-переноса в высокотемпературных реагирующих потоках и определение тепловых характеристик в реальной трехмерной физико-химической системе (камера сгорания ТЭС). Численное моделирование проведено при

помощи компьютерного пакета программ FLOREAN, проверенного в результате вычислительных экспериментов на ряде ТЭЦ РК [1-3]. Основным методом решения уравнений математической задачи является метод контрольного объема. Одним из важных свойств метода контрольного объема является то, что в нем заложено точное интегральное сохранение таких величин, как масса, количество движения и энергия на любой группе контрольных объемов и, следовательно, на всей расчетной области.

В работе были представлены результаты компьютерного моделирования турбулентного горения пылеугольного факела в камере котла БКЗ-160 Алматинской ТЭЦ-3. Был проведен сравнительный анализ результатов вычислительных экспериментов горения монодисперсного и полидисперсного пылеугольных факелов, которые сравнены с экспериментальными данными, полученными непосредственно на ТЭС. Показано, что различия в средних температурах для моно- и полидисперсного потока пылеугольных частиц наблюдаются в области активного горения, в то время как к выходу из топочной камеры поле температуры выравнивается, а различия в значениях уменьшаются. Химическая энергия достигает максимальных значений в области подачи аэросмеси, то есть в области интенсивных реакций между топливом и окислителем. Именно в этих областях можно видеть различия в значениях химической энергии, выделяемой в результате горения.

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. Взаимодействие потока газа и химических процессов описывается сложной системой нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных. Незаменимым эффективным методом теоретического исследования таких течений является численное моделирование. Применение численного моделирования и проведение вычислительных экспериментов могут позволить оптимально решать многие научные и проектно-конструкторские задачи.

Вычислительный эксперимент в данной работе был проведен с помощью стартового пакета программ FLOREAN [4-6] на примере реальной энергетической установки камеры сгорания котла БКЗ-160 Алматинской ТЭЦ-3. 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 задачи исследования, адекватно отражающие этот процесс.

Алматинская ТЭЦ оснащена 6 котлами БКЗ-160, паропроизводительность каждого из которых 160 т/час, с установленной электрической мощностью – 173 МВт и тепловой – 335,26 Гкал/ч. 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.

В данной работе было проведено исследование горения пылеугольного факела с осредненным диаметром угольных частиц $d_p = 60$ мкм (монодисперсный факел) и с частицами различных фракций (полидисперсный факел). Полидисперсному факелу соответствует следующее процентное распределение угольных частиц по размерам: $d_p = 10$ мкм – 10 %; $d_p = 30$ мкм – 20 %; $d_p = 60$ мкм – 40 %; $d_p = 100$ мкм – 20 %; $d_p = 120$ мкм – 10 %. На рисунках 1-6 представлены тепловые характеристики процесса горения.

На рисунке 1 приведены кривые распределения средних значений температуры горения поли- и монодисперсного факелов по высоте топочного пространства.

Из рисунка 1 видно, что наибольшие изменения (максимумы и минимумы) распределения температуры приходятся на область расположения горелочных устройств. Это связано с тем, что в этой области происходит наиболее интенсивное смешение углерода топлива с кислородом воздуха, также интенсивно протекают химические реакции окисления. Максимумы объясняются тем, что при смешении топлива и окислителя происходит процесс воспламенения, химический процесс взаимодействия приводит к выделению большого количества тепла. Минимумы же температуры объясняются тем, что аэросмесь, подаваемая через горелки, холодная ($T_a = 250$ °С). Это характерно как для полидисперсного факела, так и для монодисперсного факела.

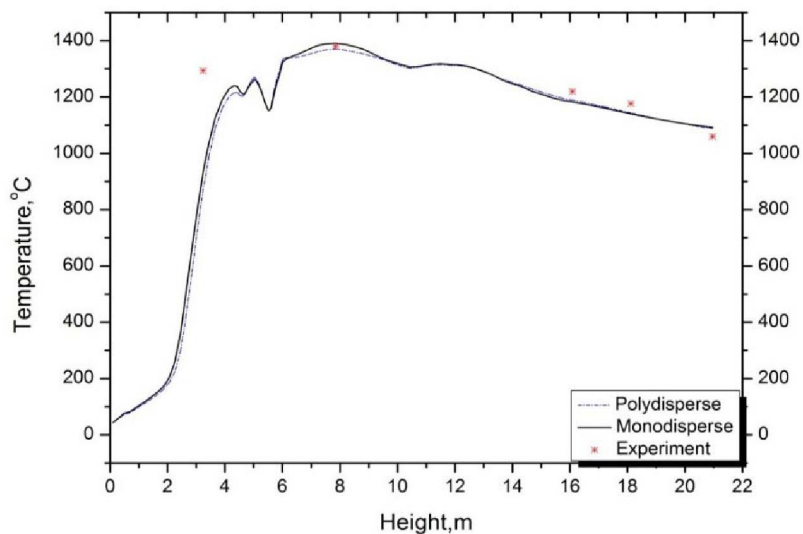


Рисунок 1 – Сравнение средних значений температуры для поли- и монодисперсного факелов по высоте топочной камеры и сравнение с экспериментом [7]

Учитывая, что в составе полидисперсного факела присутствуют крупные фракции с большей поверхностной площадью взаимодействия, и что химическое реагирование топлива и окислителя протекает за очень короткое время (1-2 с), поэтому наблюдается увеличение температуры на некоторое значение. В начале факела, когда происходит воспламенение угольных частиц, мы наблюдаем одинаковые значения температуры как у моно-, так и у полидисперсного факела.

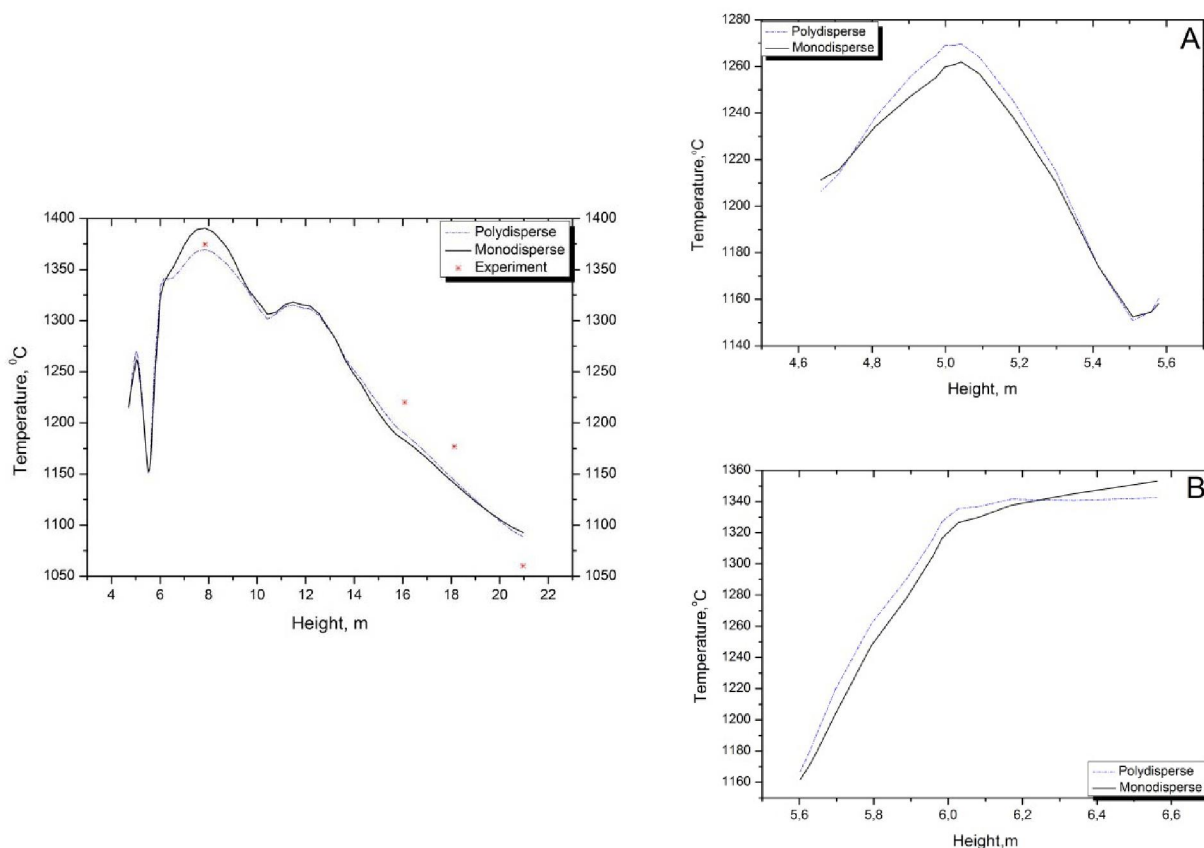


Рисунок 2 – Сравнение средних значений температуры для поли- и монодисперсного факелов по высоте топочной камеры и сравнение с экспериментом [7] (масштаб увеличенный)

Однако затем можно заметить значительные различия. Температура полидисперсного факела в области выше ярусов горелок имеет меньшие значения. Это можно объяснить наличием крупных фракций угольных частиц, которые воспламеняются и сгорают медленнее. Это приводит к тому, что максимум температуры для полидисперсного факела ниже, чем максимальная температура монодисперсного факела. На выходе температуры обоих факелов практически выравниваются (рисунок 2).

На рисунке 2 приведено изменение температуры по высоте топочной камеры в увеличенном масштабе. Здесь возможно более детально рассмотреть различия в распределении температуры. Мы видим, что экспериментальные точки, полученные в результате измерений непосредственно на ТЭС [7], расположены ближе к кривой полидисперсного факела, поскольку такой факел отвечает реальным условиям технологического процесса. Относительная погрешность численного эксперимента в сравнении с натурными измерениями на высоте 7,85 м составляет 0,71% для полидисперсного факела и 0,8% для монодисперсного факела, а на выходе из топочной камеры – 2,67 и 3,08% соответственно.

На рисунках 3, 4 представлены 3D графики распределения температуры по высоте камеры сгорания. Эти рисунки являются дополнительным подтверждением сказанного выше относительно поля температуры.

Трехмерные графики, полученные методом 3-D моделирования, дают возможность полностью охарактеризовать поле температуры в любой точке топочной камеры с очень высокой точностью. Картина распределения температуры в поперечном сечении камеры сгорания ($z=7,85$ м, $K=64$) представлена на рисунке 3. При горении полидисперсной угольной пыли в сечении: $z=7,85$ м, $K=64$ средняя температура составляет 1370 °С, а при горении монодисперсной пыли – 1390 °С. Максимальная температура полидисперсного факела ниже на 33 °С. Это объясняется тем, что в состав полидисперсного факела входят частицы угольной пыли разных размеров, в том числе и достаточно крупные ($d=100, 120$ мкм), для которых процесс воспламенения и горения затруднен по сравнению с более мелкими частицами монодисперсного факела ($d=60$ мкм) и занимают больше времени.

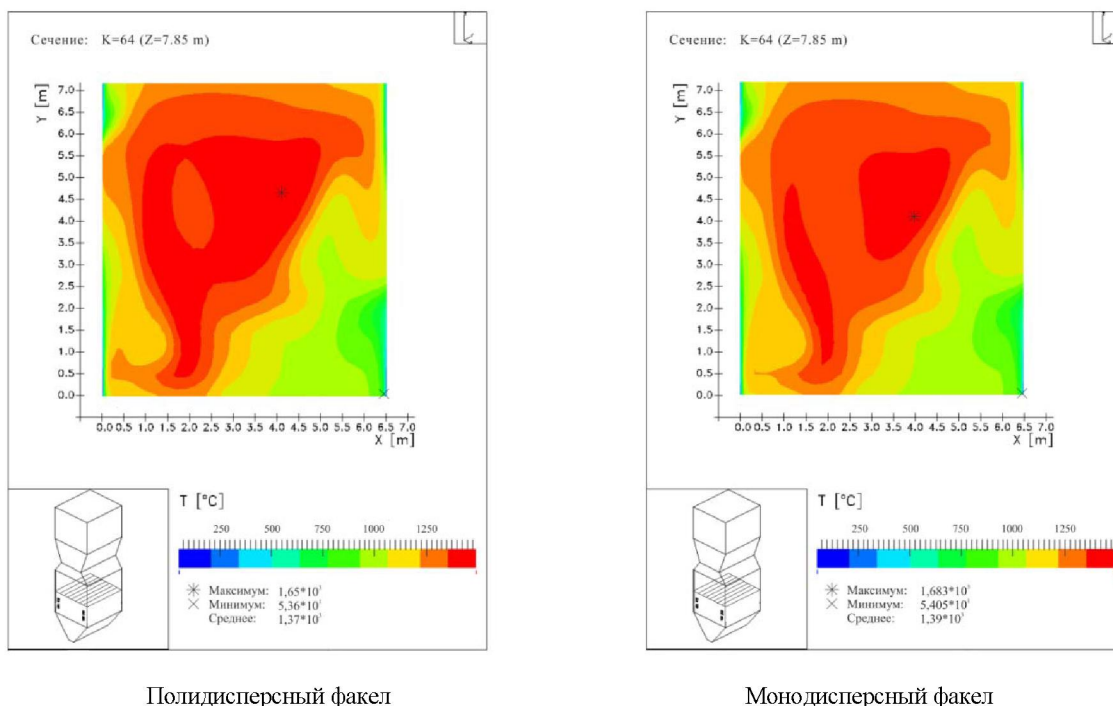


Рисунок 3 – Распределение температуры в поперечном сечении топочной камеры ($z=7,85$ м, $k=64$) котла БКЗ-160 Алматинской ТЭЦ-3

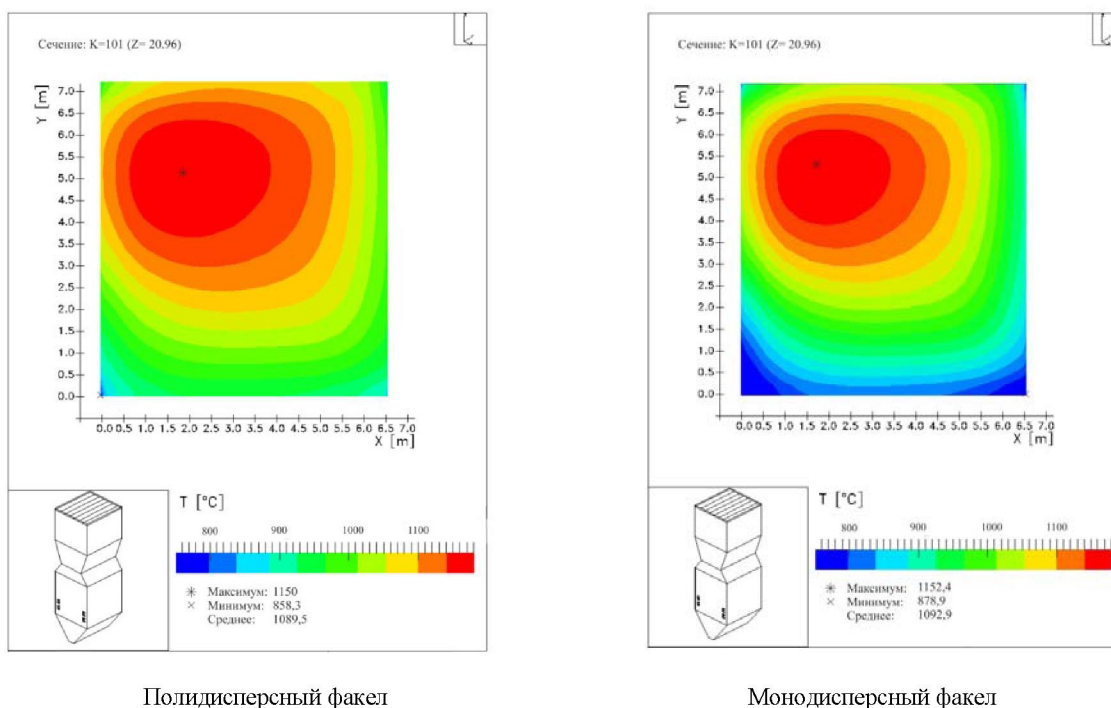


Рисунок 4 – Распределение температуры в поперечном сечении топочной камеры ($z=20,96$ м, $k=101$) котла БКЗ-160 Алматинской ТЭЦ-3

Из анализа рисунка 4 следует, что картины распределения температуры на выходе из топочной камеры схожи, как и следовало ожидать. Однако средняя температура полидисперсного факела ниже и равна $1089,5$ °С, а для монодисперсного она составляет $1092,9$ °С. Значение температуры на выходе, измеренной непосредственно на ТЭЦ [7] ближе к значению температуры для полидисперсного факела (рисунок 1) и составляет $T = 1060$ °С.

В связи с большой скоростью подачи топлива и окислителя в области горелок наблюдается высокий уровень турбулентности, который обеспечивает тщательное перемешивание топлива и окислителя, и соответственно здесь и происходит интенсивное протекание химических реакций горения (рисунок 5).

Область расположения горелок с наибольшей концентрацией углерода и кислорода является областью высвобождения тепловой энергии. Поэтому в этой области наблюдается четко выраженные максимумы и минимумы химической энергии Q_{chem} , которые наблюдаются около верхнего и нижнего яруса горелок (2 максимума на кривой распределения Q_{chem} при $z = 4,998$ м и $z = 5,938$ м). Здесь же приведены кривые распределения химической энергии в областях этих двух максимумов в увеличенном виде (рисунок 5А, 5В).

Мы видим, что ход кривой в области первого максимума химической энергии Q_{chem} (рисунок 5 А) и второго максимума распределения химической энергии Q_{chem} (рисунок 5 В) совпадает с кривой распределения температуры T (рисунок 2А, 2В).

Отчетливо видно, что минимальные значения энергии, выделяемой за счет химических реакций, для обоих случаев наблюдается на выходе из топочной камеры, где все процессы горения с выделением тепла почти завершены.

Сказанное выше подтверждается 3-х мерным распределением химической энергии Q_{chem} (рисунок 6), соответствующее сечению $z = 5,02$ м. Здесь наблюдается наибольшее отличие в распределении химической энергии для моно- и полидисперсного пылеугольных факелов.

В работе было проведено исследование процессов турбулентного тепломассопереноса в высокотемпературных реагирующих потоках и определены его тепловые характеристики. В результате проведенных вычислительных экспериментов получены основные закономерности распределения температурного поля в объеме топочной камеры. В центральной области камеры

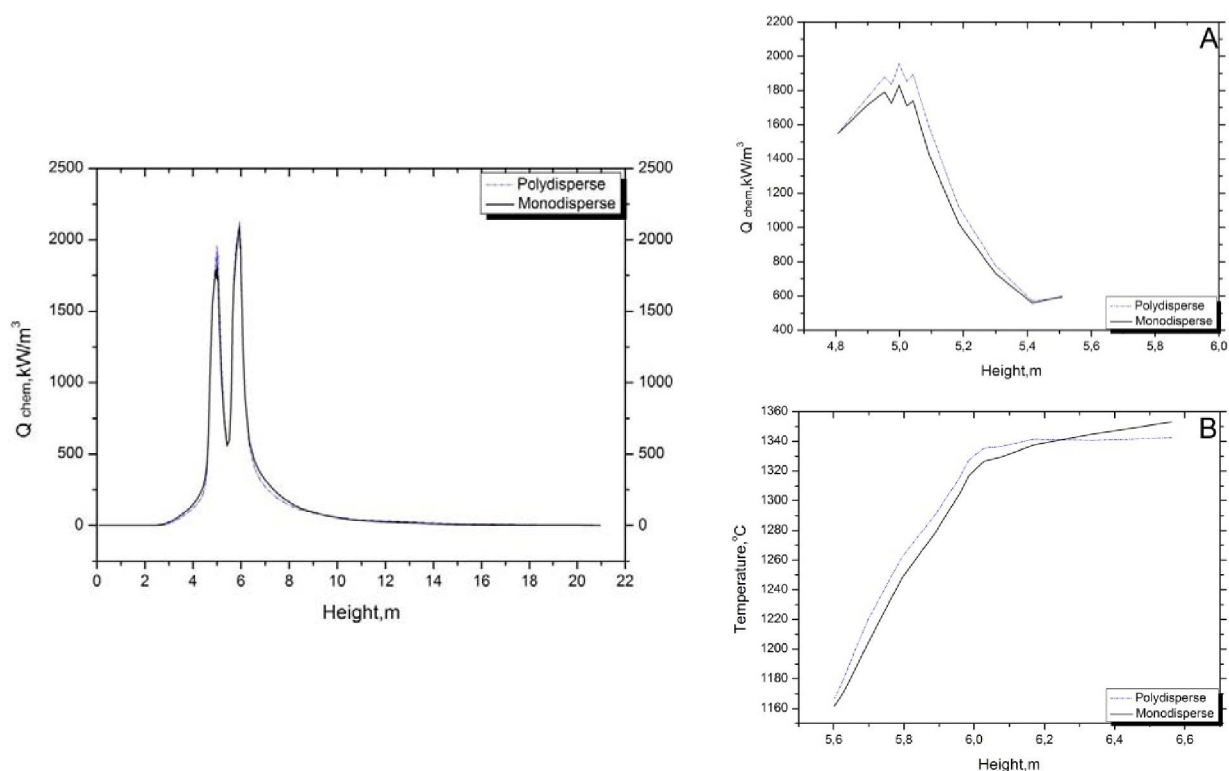
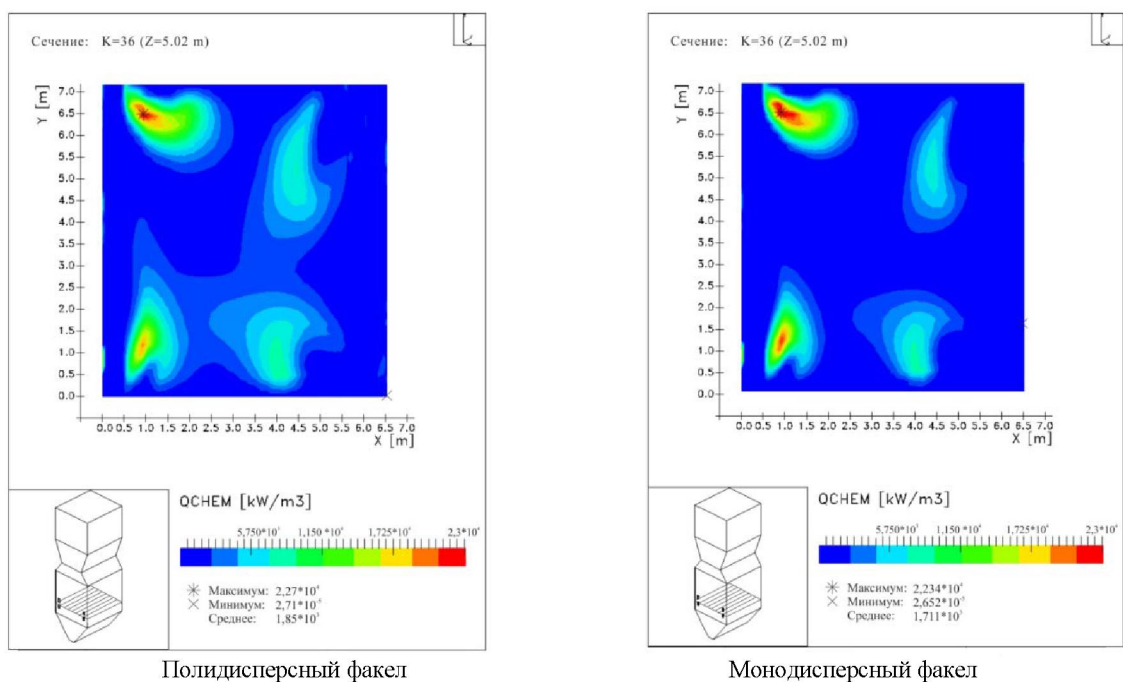


Рисунок 5 – Сравнение средних значений химической энергии Q_{chem} для поли- и монодисперсного факелов по высоте топочной камеры



Полидисперсный факел

Монодисперсный факел

Рисунок 6 – Распределение химической энергии в поперечном сечении топочной камеры ($z = 5,02$ м, $k = 36$) котла БКЗ-160 Алматинской ТЭЦ-3

сгорания в области расположения горелочных устройств наблюдаются максимумы и минимумы значений температуры, которые непосредственно связаны с воспламенением пылегазового факела и холодной температурой аэросмеси. Результаты, полученные в данной работе, могут быть использованы, как рекомендации по оптимизации процесса горения с целью повышения его эффективности

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Аскарова А.С., Болегенова С.А., Бекмухамет А., Оспанова Ш.С., Бекетаева М.Т., Габитова З.Х., Ергалиева А.Б. Тепловые характеристики прискоривания твердого пылеугольного топлива в топочных камерах ТЭС // Materials of IV "Science, Technology and Higher Education" Conference, January 2014, Westwood, Canada 2014, 323-330 pp.
- [2] Аскарова А.С., Болегенова С.А., Березовская И.Э., Бекетаева М.Т., Ергалиева А.Б. Численное моделирование пылеугольного топлива в камере сгорания котла БКЗ-160 в целях уменьшения выбросов вредных веществ // Материалы 18-ой Всероссийской научной конференции молодых ученых (ВНКСФ-18), г. Красноярск, Россия, 2012 г., с. 698-699.
- [3] Аскарова А.С., Болегенова С.А., Максимов В.Ю., Ергалиева А.Б. Влияние силы тяжести на аэродинамические характеристики процесса горения пылеугольного топлива в камере сгорания // Межотраслевой институт "Наука и образование", Екатеринбург. - №7, 2014. - С. 8-12.
- [4] Müller H. Numerische Berechnung dreidimensionaler turbulenter Strömungen in Dampferzeugern mit Wärmetübergang und chemischen Reactionen am Beispiel des SNCR-Verfahrens und der Kohleverbrennung: Fortschritt-Berichte VDI-Verlag. – 1992. – Reiche 6, №268. – 158 s
- [5] Leithner, R. Numerical Simulation. Computational Fluid Dynamics CFD: Course of Lecture. – Braunschweig, 2006. – 52 p.
- [6] Askarova, A.S., Lavrichsheva, Ye., Leithner, R., Müller, H., Magda, A. Combustion of low-rank coals in furnaces of Kazakhstan Coal-firing Power Plants // VDI Berichte. – 2007. – №1088. – P.497-502.
- [7] Алияров Б.К., Алиярова М.Б. Сжигание казахстанских углей на ТЭС и крупных котельных. – Алматы, 2011. – 306 с.

REFERENCES

- [1] Askarova A.S., Bolegenova S.A., Bekmuhamet A., Ospanova Sh.S., Beketaeva M.T., Gabitova Z.H., Ergalieva A.B. *Materials of IV "Science, Technology and Higher Education" Conference, 2014*, 323-330 (in Russ.)
- [2] Askarova A.S., Bolegenova S.A., Berezovskaja I.E., Beketaeva M.T., Ergalieva A.B. *Materialy 18-oy Vserossiyskoj nauchnoj konferencii molodykh uchennyh (VNKSF-18), 2012*, 698-699 (in Russ.)
- [3] Askarova A.S., Bolegenova S.A., Maksimov V.Ju., Ergalieva A.B. *Mezhotraslevojinstitut "Nauka i obrazovanie", 2014*, №7, 8-12 (in Russ.)
- [4] Müller H. *Fortschritt-Berichte VDI, 1992*, Reiche 6, №268, 158 (in Germ.)
- [5] Leithner, R. Numerical Simulation. Computational Fluid Dynamics CFD: Course of Lecture, **2006**, 52 (in Eng.)
- [6] Askarova, A.S., Lavrichsheva, Ye., Leithner, R., Müller, H., Magda, A. *Berichte VDI, 2007*, №1088, 497-502 (in Eng.)
- [7] Alijarov B.K., Alijarova M.B. *Szhiganie kazahstanskikh uglej na TJeS i krupnykh kotel'nyh, 2011*, 306 (in Russ.)

АЛМАТЫ ЖЭО-3 БКЗ-160 ҚАЗАНДЫҒЫНЫҢ ЖАНУ КАМЕРАСЫНДАҒЫ ЖАНУ ПРОЦЕСІНІҢ ЖЫЛУЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫНА ШАҢКӨМІРЛІ ОТЫННЫҢ ДИСПЕРСТІЛІГІНІҢ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

Ә. С. Асқарова, С. А. Болегенова, С. А. Болегенова, З. Х. Ғабитова, В. Ю. Максимов, А. Б. Ергалиева

Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, физика-техникалық факультеті, Алматы, Қазақстан

Тірек сөздер: компьютерлік модельдеу, жану камерасы, шаңкөмірлі отын, температура өрісі, химиялық энергия, турбуленттілік, монодисперсті алау, полидисперсті алау.

Аннотация. Аталған жұмыстың мақсаты – жоғары температуралы әсерлесетін ағынлардағы турбулентті жылу масса тасымалы процестерін зерттеу және нақты физика-химиялық үшөлшемді жүйедегі жылулық сипаттамаларды анықтау (ЖЭС жану камерасы). Сандық модельдеу FLOREAN бағдарлама пакеті көмегімен жүзеге асырылды, аталған бағдарлама ҚР бірқатар ЖЭО жүргізілген есептеу тәжірибелерінде сынақтан өткен [1-3]. Математикалық есеп теңдеулерін шешудің негізгі әдісі – бақыланған көлем әдісі болды. Бақыланған көлем әдісінің маңызды қасиеттерінің бірі – мұнда бақылаушы көлемдердің кез келген тобында масса, қозғалыс мөлшері мен энергия сияқты шамалардың интегралдық сақталуы алдын ала беріледі, сәйкесінше, барша есептеу аймағында да олардың мәндері сақталады.

Жұмыста Алматы ЖЭО-3 БКЗ-160 қазандығының жану камерасындағы шаңкөмірлі алаудың турбулентті жануын компьютерлік модельдеу нәтижелері келтірілген. Монодисперсті және полидисперсті шаңкөмірлі алаулардың жануына есептеуі тәжірибелері жүргізіліп, салыстырмалы талдау жасалынды. Соңғысы ЖЭС-да алынған тәжірибелік мәліметтермен салыстырылды. Моно және полидисперсті ағын бөлшектерінің орташа температуралары белсенді жану аймағында байқалады, ал жану камерасының шығысында температура өрісі біркелкі мәнге жетеді, ал температураның айырмашылығы кемиді. Химиялық энергия аэроқоспаны беру облысында, яғни отын мен тотықтырғыш арасындағы қарқынды реакция аумағында максимум мәніне жетеді. Осы аймақтарда жану нәтижесінде бөлінетін химиялық энергияның айырмашылықтарын байқауға болады.

Поступила 24.02.2015 г.