

Аскарова А.С.,
Болегенова С.А.,
Максимов В.Ю.,
Алдиярова А.Н.

**3D-моделирование процессов
образования вредных
компонентов при сжигании
пылеугольной пыли в объеме
топочной камеры котла БКЗ-75
Шахтинской ТЭЦ**

Исследование направлено на изучение образования вредных компонентов при сжигании пылеугольной пыли в объеме топочной камеры котла БКЗ-75 Шахтинской ТЭЦ. На основе численного решения системы уравнений конвективного теплопереноса, с учетом кинетики химических реакций, двухфазности течения, нелинейных эффектов конвективного и радиационного теплообмена и методов трехмерного моделирования, необходимо выявить формирования угарного газа СО по всему объему топочной камеры, в ее основных сечениях и на выходе из нее. Результаты исследований будут использованы для выработки рекомендаций по оптимизации существующих технологий сжигания низкосортного угольного топлива казахстанских месторождений, с целью повышения эффективности процессов при сжигании топлива в реальных энергетических установках с максимально эффективным получением энергии и минимальным вредным воздействием на окружающую среду.

Ключевые слова: 3D-моделирование, геометрическое моделирование, моделирование процессов, твердое топливо, теплообмен, топочные устройства, физическая модель, вредные пылегазовые компоненты.

Askarova A.S.,
Bolegenova S.A.,
Maximov V.V.,
Aitbaeva A.N.

**3D-modeling of the formation
of harmful components the
combustion of pulverized
coal dust in the volume of the
combustion chamber of the
boiler BKZ-75 Shakhtinskaya
CHP**

The study aims to examine the formation of harmful components during the combustion of pulverized coal dust in the volume of the combustion chamber of the boiler BKZ-75 Shakhtinskaya CHP. Based on the numerical solution of the system of equations of convective heat and mass transfer, taking into account the kinetics of chemical reactions, two-phase flow, nonlinear effects of convection and radiation heat transfer methods and three-dimensional modeling, it is necessary to identify the formation of carbon monoxide gas throughout the volume of the combustion chamber, in its main sections and at the exit. The research results will be used to generate recommendations for optimization of existing technologies for burning low-grade coal fuel to Kazakhstani fields, with the aim of improving process efficiency by burning fuel in real power plants with the most efficient energy and minimal harmful impact on the environment.

Key words: the 3D-modeling, geometrical modeling, modeling of processes, solid fuel, heat mass exchange, furnace devices, physical model, harmful dust and gas components.

Асқарова Ә.С.,
Бөлегенова С.Ә.,
Максимов В.Ю.,
Алдиярова Ә.Н.

**Шахтинск ЖЭО-ның БКЗ-75
қазандығындағы жану
камерасының көлемінде
шаңкөмірлі отынды жаққан
кезде зиянды компоненттердің
түзілу процесін 3D- модельдеу**

Зерттеу жұмысы Шахтинск ЖЭО-ның БКЗ-75 қазандығындағы жану камерасының көлемінде шаңкөмірлі отынды жаққан кезде зиянды компоненттердің түзілуін зерттеуге бағыталған. Химиялық реакциялар кинетикасын, ағыстың екіфазалығын, конвективті және радиациялық жылуалмасудың, үш өлшемді модельдеу әдістерінің бейсызықтық әсерлерін ескере отырып, конвективті жылуалмасуында теңдеулері жүйесін сандық есептеу негізінде жану камерасының толық көлемі бойынша, оның негізгі кескіндеріндегі және одан шығысындағы СО түншықтырғыш газының түзілуін анықтау қажет. Зерттеу нәтижелері қоршаған ортаға зиянды әсерін барынша төмендете отырып, энергияны алудың максимал тиімділігін, шынайы энергетикалық қондырғыларда отынды жағу кезіндегі процестер тиімділігін арттыру мақсатында қазақстандық кен орындарының төменгі сұрыпты көмір отындарын жағуда қолданылатын технологияларды оңтайландыру бойынша ұсыныстарды әзірлеуде қолданыс табады.

Түйін сөздер: 3D – модельдеу, геометриялық модельдеу, процестерді модельдеу, қатты отын, жылу масса алмасу, жану қондырғылары, физикалық модель.

**3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ
ПРОЦЕССОВ
ОБРАЗОВАНИЯ
ВРЕДНЫХ
КОМПОНЕНТОВ
ПРИ СЖИГАНИИ
ПЫЛЕУГОЛЬНОЙ
ПЫЛИ В ОБЪЕМЕ
ТОПОЧНОЙ
КАМЕРЫ КОТЛА БКЗ-75
ШАХТИНСКОЙ ТЭЦ**

Введение

Многие теории и модели горения базируются на упрощенном химическом механизме, сводящем все химические процессы в пламени к одной реакции с эффективными кинетическими параметрами. Горение представляет собой процесс быстрого и полного окисления горючего вещества (уголь) кислородом, происходящий при высокой температуре и сопровождающийся выделением тепла. В топках котельных установок используются самый распространенный в природе окислитель – атмосферный воздух, 21% по объему или 23,2% по массе которого составляет кислород.

Основной является стадия горения коксового остатка, интенсивность которой определяет интенсивность сжигания топлива. Теплота сгорания коксового остатка составляет основную часть теплоты сгорания горючей массы, а стадия его сгорания является наиболее длительной из всех стадий и может занимать до 90% всего времени, необходимого для горения угля. На особенности процесса горения влияет ряд факторов: конструкция топки, концентрация кислорода воздуха, подаваемого для горения, давление, при котором происходит горение.

Детальное моделирование всех протекающих реакций (включая все промежуточные реакции) из-за больших вычислительных затрат или отсутствия информации обо всех промежуточных реакциях возможно только в простых случаях, как, например, при сгорании окиси углерода. Для процессов, моделируемых в данной работе, используется упрощенная модель, которая учитывает только реакции ключевых компонент. Использование в проекте модели интегральной реакции основано на том, что большинство химических реакций протекает в несколько этапов (ступеней), причем самый медленный этап реакции определяет скорость всей реакции [1-3].

Множество многоступенчатых реакций можно моделировать с помощью закономерностей одноступенчатых реакций, а кинетические данные при этом определяются самым медленным этапом реакции. Модель сжигания угольной пыли, используемая исполнителями, учитывает интегральные реакции окисления компонент топлива до стабильных конечных продуктов

реакции. При этом промежуточные реакции, образование и изменение неустойчивых промежуточных продуктов не учитываются [2].

Образование вредных веществ и уменьшение их выброса можно моделировать лишь с помощью реакционно-кинетических моделей, справедливых для широкого интервала температур и концентраций. Основой реакционно-кинетической модели является соответствующий механизм реакции, включающий в себя описание молекулярного протекания реакции между компонентами с учетом неустойчивых промежуточных продуктов [4-8].

Моделирование формирования угарного газа CO

Угарный газ CO формируется в результате неполного сгорания углеродсодержащих топлив. Ок-

сид углерода представляет собой продукт реакции горения летучих и выгорания коксового остатка, образование которого зависит от температуры и размера частиц. Оксид углерода из обоих источников сгорает совместно в виде гомогенной газофазной реакции. В общем случае CO может достаточно легко преобразоваться в CO₂. Однако, CO будет формироваться в больших количествах если существует недостаток кислорода, необходимого для полного сгорания, если температурный диапазон недостаточен для полного реагирования CO до CO₂, и если время нахождения в зоне горения с соответствующей температурой и достаточными содержанием кислородом для полного сгорания недостаточно [8-11].

В результате вычислительных экспериментов получены поля концентрации CO, образующегося при сжигании низкосортного энергетического топлива (рисунок 1-3).

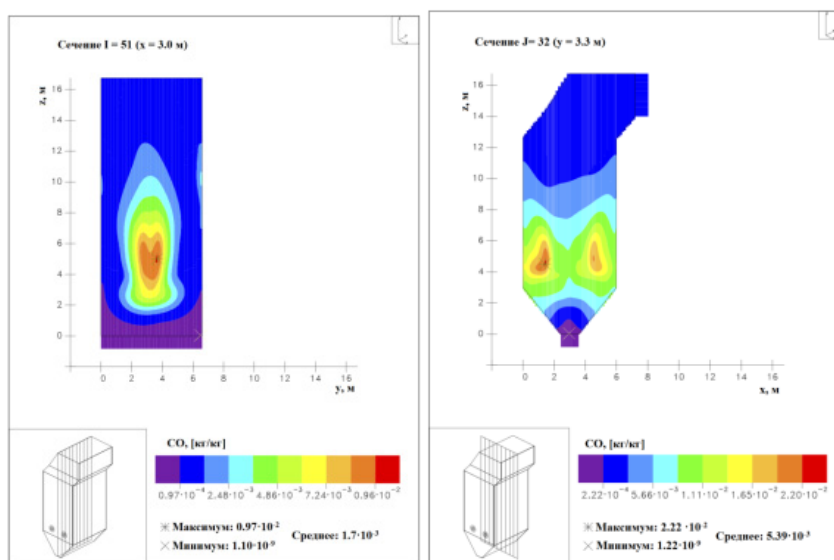


Рисунок 1 – Распределение концентрации окиси углерода CO в центральных продольных сечениях топочной камеры котла БКЗ-75 Шахтинской ТЭЦ

Анализ рисунков 1-3 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 ре-

зультате, 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 химическим реакциям CO, вступая в реакцию с кислородом окисляется и образует CO₂.

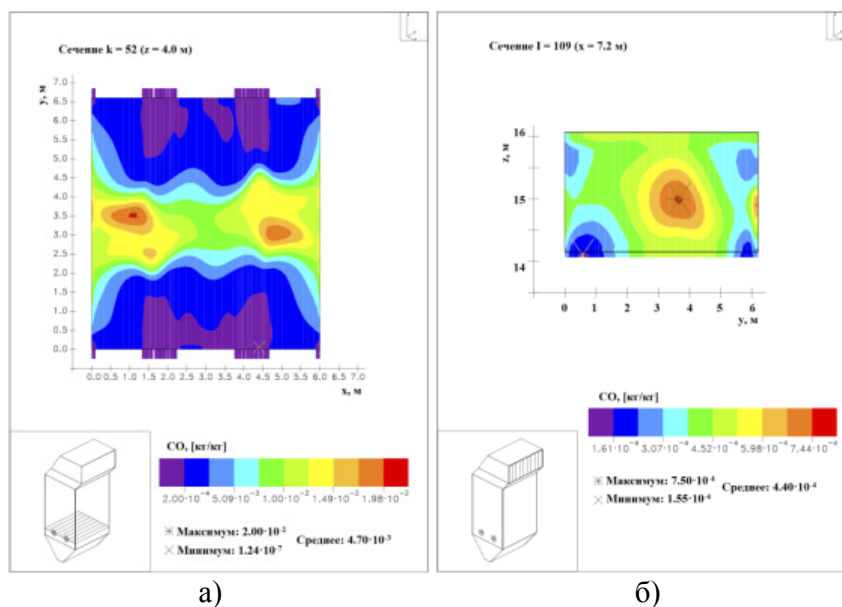


Рисунок 2 – Распределение концентрации окиси углерода CO в сечениях: а) установки горелочных устройств; б) на выходе из топочной камеры

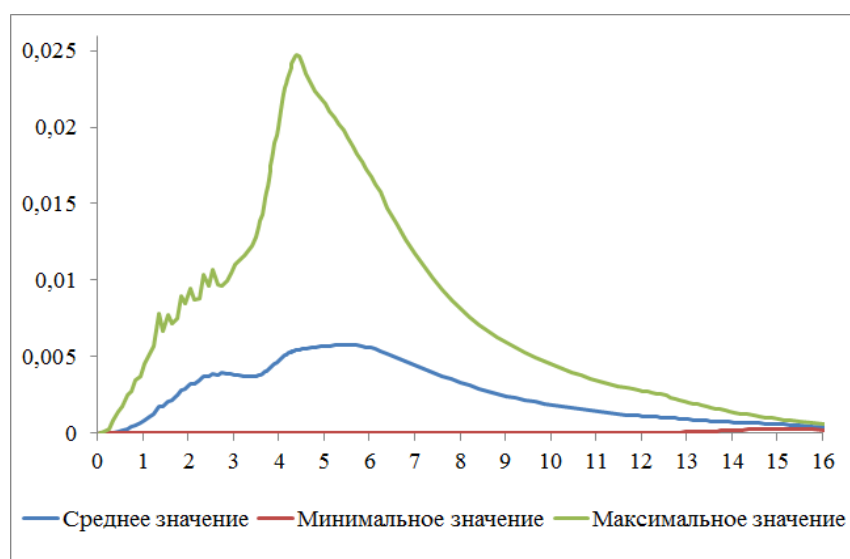


Рисунок 3 – Распределение концентрации окиси углерода CO по высоте камеры сгорания

Заключение

Создана база данных для моделирования, в которой содержатся геометрические данные исследуемого объекта, начальные и граничные условия для моделирования процесса горения, свойства и характеристики топлива и окислителя.

Разработан пакет компьютерных программ для 3D компьютерного моделирования процес-

сов теплопереноса в высокотемпературных средах и предложена новая методика вычислительных экспериментов. Проведены вычислительные эксперименты по моделированию процессов сжигания пылеугольного топлива в топочных камерах котла.

По итогам вычислительных экспериментов для котла БКЗ-75 Шахтинской ТЭЦ можно заключить:

Максимальные значения концентрации окиси углерода СО 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 СО принимает значение равное $4.7 \cdot 10^{-3}$ кг/кг.

Литература

- 1 Askarova A.S., Bolegenova S.A., Lavrisheva E.I., Loktionova I.V. Numerical Modelling of Furnace Processes At The Combustion of High- Ash Ekibastuz Coal // Thermophysics and aeromechanics. – Vol. 9, №4, 2002. – P. 559-569.
- 2 Askarova A.S., Messerle V.E., Loktionova I.V., Ustimenko A.B. 3D Modeling of the Two-Stage Combustion of Ekibastuz Coal in the Furnace Chamber of a PK-39 Boiler at the Ermakovo District Power Station // Thermal Engineering.– Vol. 50, №8, 2003. – P. 633-638.
- 3 Аскарова А.С. Тепломассоперенос при сжигании твердого топлива в промышленных котлах на примере Павлодарской ТЭЦ // Теплофизика и аэромеханика, Новосибирск, СО РАН. – 2000. – Т. 7, №2. – С. 293-300.
- 4 Askarova A.S., Lavrishcheva E., Loktionova I.V. The modeling of physical-chemical technological process in the fire chambers equipped by swirl burners // Materials of the 16th Int. Congress of Chemical and Process Engineering CHISA 2004. – Prague, 2004. – P.978-979.
- 5 Askarova A.S., Bolegenova S.A., Bekmuhamet A., Maximov V.Yu. Mathematical simulation of pulverized coal in combustion chamber // Procedia Engineering. – ISSN 1877-7058. – Vol. 42, 2012. – P. 1259-1265.
- 6 Askarova A.S., Bolegenova S.A., Bekmuhamet A., Maximov V.Yu., Ospanova Sh.S. Numerical research of aerodynamic characteristics of combustion chamber BKZ-75 mining thermal power station // Procedia Engineering. – ISSN 1877-7058. – Vol. 42, 2012. – P. 1250-12-59.
- 7 Askarova, A., Karpenko, E., Lavrishcheva, Ye., Messerle, V., Ustimenko, A. Plasma-supported coal combustion in boiler furnace // IEEE Transactions on Plasma Science. – Vol. 35, Issue 6, 2007. – P. 1607-1616.
- 8 Smoot L.D. Pulverized Coal Diffusion Flames: A perspective through the modeling // Works of 18th Symposium on Combustion. – Oxford, 1981. – P. 1185-1202.
- 9 Бухман С.В., Вулис Л.А. О температуре, скорости и времени сгорания угольных пылинок // Труды Института энергетики АН Каз. ССР. – Алма-Ата: Изд. АН КазССР, 1958.– С. 61-76.
- 10 Askarova A.S., Bolegenova S.A., Bolegenova S., Bekmukhamet A., Maximov V.Yu., Beketayeva M.T. Numerical experimenting of combustion in the real boiler of CHP // International Journal of Mechanics. – ISSN: 1998-4448. – Vol. 7, Issue 3, 2013. – P. 343-352.
- 11 Askarova A.S., Bekmukhamet A., Bolegenova S.A., Beketayeva M.T., Maximov Yu.V., Ospanova Sh.S., Gabitova Z.K. Numerical modeling of turbulence characteristics of burning process of the solid fuel in BKZ-420-140-7c combustion chamber // International Journal of Mechanics. – ISSN: 1998-4448. – Vol. 8, 2014. – P. 112-122.

References

- 1 Askarova A.S., Bolegenova S.A., Lavrisheva E.I., Loktionova I.V. Numerical Modelling of Furnace Processes At The Combustion of High- Ash Ekibastuz Coal // Thermophysics and aeromechanics. – Vol. 9, №4, 2002. – P. 559-569.
- 2 Askarova A.S., Messerle V.E., Loktionova I.V., Ustimenko A.B. 3D Modeling of the Two-Stage Combustion of Ekibastuz Coal in the Furnace Chamber of a RK-39 Boiler at the Ermakovo District Power Station // Thermal Engineering.– Vol. 50, №8, 2003. – P. 633-638.
- 3 Askarova A.S. Teplomassoperenos pri szhiganii tverdogo topliva v promyshlennykh kotlah na primere Pavlodarskoj TJeC // Teplofizika i aeromehanika, Novosibirsk, SO RAN. – 2000. – Т. 7, №2. – С. 293-300.
- 4 Askarova A.S., Lavrishcheva E., Loktionova I.V. The modeling of physical-chemical technological process in the fire chambers equipped by swirl burners // Materials of the 16th Int. Congress of Chemical and Process Engineering CHISA 2004. – Prague, 2004. – R.978-979.
- 5 Askarova A.S., Bolegenova S.A., Bekmuhamet A., Maximov V.Yu. Mathematical simulation of pulverized coal in combustion chamber // Procedia Engineering. – ISSN 1877-7058. – Vol. 42, 2012. – P. 1259-1265.
- 6 Askarova A.S., Bolegenova S.A., Bekmuhamet A., Maximov V.Yu., Ospanova Sh.S. Numerical research of aerodynamic characteristics of combustion chamber BKZ-75 mining thermal power station // Procedia Engineering. – ISSN 1877-7058. – Vol. 42, 2012. – P. 1250-12-59.

7 Askarova, A., Karpenko, E., Lavrishcheva, Ye., Messerle, V., Ustimenko, A. Plasma-supported coal combustion in boiler furnace // IEEE Transactions on Plasma Science. – Vol. 35, Issue 6, 2007. – P. 1607-1616.

8 Smoot L.D. Pulverized Coal Diffusion Flames: A perspective through the modeling // Works of 18th Symposium on Combustion. – Oxford, 1981. – R. 1185-1202.

9 Buhman S.V., Vulis J.I.A. O temperature, skorosti i vremeni sgoranija ugol'nyh pylinok // Trudy Instituta jenergetiki AN Kaz. SSR. – Alma-Ata: Izd. AN KazSSR, 1958. – S. 61-76.

10 Askarova A.S., Bolegenova S.A., Bolegenova S., Bekmukhamet A., Maximov V.Yu., Beketayeva M.T. Numerical experimenting of combustion in the real boiler of CHP // International Journal of Mechanics. – ISSN: 1998-4448. – Vol. 7, Issue 3, 2013. – R. 343-352.

11 Askarova A.S., Bekmukhamet A., Bolegenova S.A., Beketayeva M.T., Maximov Yu.V., Ospanova Sh.S., Gabitova Z.K. Numerical modeling of turbulence characteristics of burning process of the solid fuel in BKZ-420-140-7c combustion chamber // International Journal of Mechanics. – ISSN: 1998-4448. – Vol. 8, 2014. – P. 112-122.