

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

**3D- моделирование процессов
тепломассопереноса,
происходящих при сжигании
пылеугольного топлива
в камере сгорания ТЭЦ**

Askarova A.S., Bolegenova S.A.,
Maximov V.Ju., Aldiyarova A.N.

**3D-modeling of heat and mass
transfer processes occurring
during combustion of pulverized
fuel in the combustion chamber
TPP**

Аскарова Ә.С., Бөлегенова С.А.,
Максимов В.Ю., Алдиярова А.Н.

**ЖЭО жану камерасындағы
шаңкөмірлік отынның
жандыру кезіндегі
жылуассоауысымдылығын
3D- модельдеу**

В представленной статье исследованы тепловые процессы, обусловленные сжиганием пылеугольного топлива в камере сгорания промышленного котла действующей 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 получены распределения температуры в основных сечениях топочной камеры котла БКЗ-75 Шахтинской ТЭЦ и на выходе из нее.

Ключевые слова: трехмерное моделирование, теплоперенос, пылеугольное топливо, вычислительные эксперименты.

In the present paper investigated the thermal processes due to combustion of pulverized fuel in the combustion chamber of the boiler operating industrial TPP. Based on the numerical solution of equations of convective heat, taking into account the kinetics of chemical reactions, two-phase flow, nonlinear effects of convective and radiative heat transfer and methods of three-dimensional modeling of the temperature distribution obtained in the main section of the combustion chamber of the boiler BKZ-75 Shakhtinsk TPP and exit from it.

Key words: three-dimensional modeling, heat and mass transfer, pulverized coal, computational experiments.

Берілген мақалада қазіргі таңдағы ЖЭО-ғы өндірістік қазандықтың жану камерасындағы шаңкөмірлік отынның белгілі шарттарында жандыру кезіндегі жылулық процестер зерттелген. Химиялық реакциялардың кинетикасын есепке алғандағы конвективті жылуассоалмасудың теңдеу жүйесі, екіфазалық ағын, бейсызықтық конвективті және радиационды жылуалмасу және үшкеңістік модельдеу әдістері негізінде бүкіл камераның қимасында және шығу каналында қолданылады.

Түйін сөздер: үшкеңістік модельдеу, жылуассоауысымдылық, шаңкөмірлік отын, есептегіш эксперименттер.

**3D- МОДЕЛИРОВАНИЕ
ПРОЦЕССОВ ТЕПЛО-
МАССОПЕРЕНОСА,
ПРОИСХОДЯЩИХ
ПРИ СЖИГАНИИ
ПЫЛЕУГОЛЬНОГО
ТОПЛИВА В КАМЕРЕ
СГОРАНИЯ ТЭЦ**

Введение

В настоящее время в мире складывается новая структура экономических взаимоотношений, основанная на качестве формирования выгодных связей со странами – обладателями энергетических ресурсов. В этой связи страны, имеющие необходимые ресурсы и способные разрабатывать перспективные планы их использования, получают неоспоримые конкурентные преимущества. В свою очередь интеграция Казахстана в мировой экономике обуславливает устойчивые тенденции роста цен на энергетические и материальные ресурсы [1].

Поэтому для теплоэнергетики и других смежных с ней отраслей промышленности задача снижения затрат на получение требуемой продукции является первостепенной. В связи с этим, становится актуальным вопрос выбора, эксплуатации, а в первую очередь, создания новых, высокоэффективных энерго- и ресурсосберегающих технологий энергетических процессов. Для этого необходима реализация целого комплекса мероприятий, важнейшим из которых является применение наиболее точных методик расчета теплоэнергетических процессов.

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 [2-4].

В настоящий момент единственным средством в реализации комплексного исследования процессов сжигания пылеугольного топлива в топочных камерах котлов промышленных объектов (ТЭС, ТЭЦ, и др.) являются численные методы и вычислительный эксперимент с использованием методов трехмерного моделирования и привлечением современного компьютерного оборудования вычислительной техники и пакета программ. Преимущество 3D- моделирования в том, что учитывается наи-

большее количество явлений и факторов, влияющих на протекание реальных процессов [3].

При проведении вычислительного эксперимента для построения физико-технических моделей используются модельные представления о механизме реально протекающих процессов в топочных камерах энергетических объектов. Методологические принципы для создания таких моделей основаны на понимании протекания технологических процессов (стадии горения пылеугольного топлива, образование вредных пылегазовых выбросов, золы и т.д.). Такие процессы основаны на знании закономерностей, так называемых «элементарных процессов: аэродинамики, массо – и теплопереноса, химической кинетики, процессов фазовых переходов, нелинейных эффектов конвективного и радиационного теплообмена, диффузионных процессов и т.д.

Для математического описания двухфазного течения монодисперсного потока авторы используют Эйлеров двухскоростной и двухтемпературный подход. В представленной работе, авторами были использованы уравнения движения (Навье-Стокса), энергии и переноса концентраций компонентов для обеих фаз, которые замыкаются $k-\epsilon$ моделью турбулентности, модифицированной для учета влияния дисперсной фазы. Уравнения математической модели авторы решают по конечно-разностному алгоритму SIMPLE с постоянным шагом по времени, модифицированным для учета переменной плотности и источникового члена межфазного массообмена в уравнении неразрывности [5-7].

При сгорании твердого топлива в пылевидном состоянии в топочной камере происходят турбулентные процессы переноса тепла, массы реагирующих компонентов и продуктов их взаимодействия. Такие процессы описываются уравнениями, основанными на законах сохранения массы и импульса. Для реагирующих потоков, в которых происходят процессы теплопередачи и химические реакции необходимо дополнительно решать уравнение сохранения энергии и добавлять уравнение сохранения компонентов смеси или уравнения сохранения для фракций смеси и их изменений. Турбулентность описывается транспортными уравнениями для турбулентных характеристик [6].

Моделирование сжигания пылеугольного топлива в топочных камерах

Для создания трехмерного моделирования сжигания пылеугольного топлива в топочных камерах паровых котлов энергетических установок был использован стартовый компьютерный пакет программ FLOREAN. Этот стартовый пакет программ был адаптирован к поставленной задаче о сжигании высокозольного казахстанского угля в топочной камере котла БКЗ-75 Шахтинской ТЭЦ [7].

Это позволило рассчитать процессы теплообмена и получению температурных полей при сжигании карагандинского угля марки КР-200 по всему топочному пространству.

При проведении вычислительных экспериментов, на начальном этапе необходимо построить геометрию исследуемого объекта, а также получить его конечно-разностную сетку (рисунок 1). Кроме того, в используемом программном комплексе нужно создать исходные файлы, в которых содержатся физические и геометрические данные исследуемого процесса, а также начальные и граничные условия для моделирования процесса тепломассопереноса в турбулентных высокотемпературных потоках.

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.

На рисунках 2–5 приведены профили температуры, характеризующие тепловое поведение пылеугольного потока в топочной камере. Видно, что значения температуры достигают своих максимальных значений в области, близкой к месту расположения горелочных устройств, поскольку здесь, посредством вихревого характера течения, 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.

Анализ рисунка 2 показывает, что четыре факела, исходящие из горелок, образуют в цент-

ре топочной камеры высокотемпературное ядро с температурой горения $\sim 1200^{\circ}\text{C}$. В первую очередь, это объясняется максимальным уровнем

турбулентных пульсаций в данной области, что, как было описано выше, приводит к интенсификации процесса горения угольных частиц.

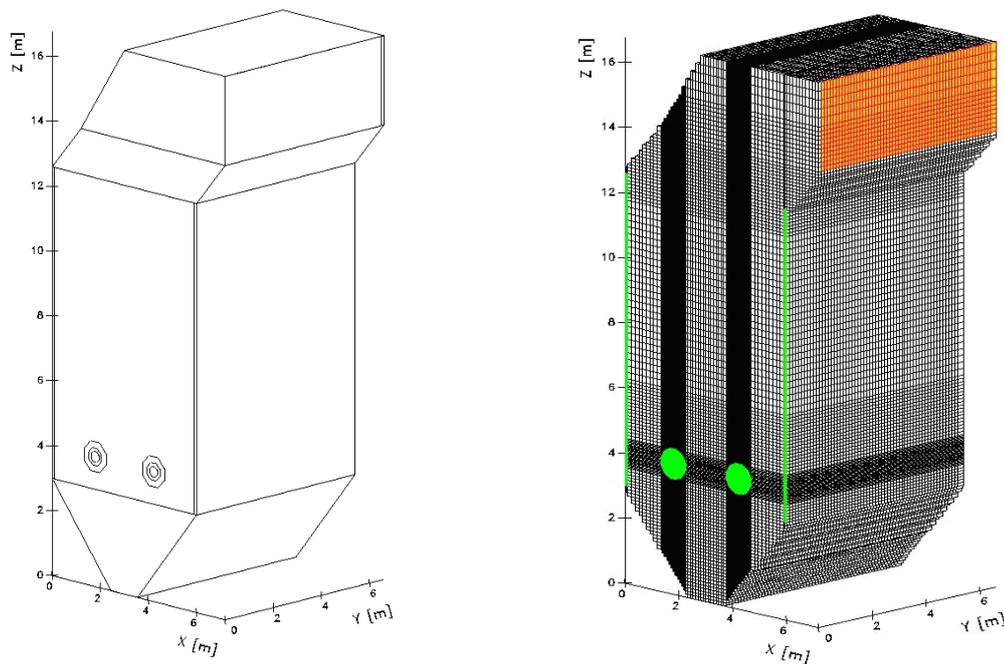


Рисунок 1 – Геометрия и конечно-разностная сетка исследуемой топочной камеры

Из рисунка 3 видно, что температурное поле имеет относительную симметрию, относительно оси топочной камеры. Характер распределения температуры в данных сечениях одинаков для каждой пары горелочных устройств как качественно (рисунок 3 а, б), так и количественно. Разница в минимальных, средних и максимальных значениях температуры составляет всего несколько градусов.

На рисунках 3-4 показано, что турбулентный перенос вещества (аэросмеси) обуславливает

распространение пылеугольного факела по всему объему топочной камеры – от холодной воронки до поворотной камеры котла, о чем свидетельствуют средние значения температуры в указанных сечениях, где она варьируется в пределах 1000°C . Такое поведение способствует равномерному обогреву стенок топочной камеры.

По мере продвижения к выходу из топочной камеры химические процессы ослабевают (рисунок 4), температура падает и на выходе ее значение составляет $\sim 925^{\circ}\text{C}$ (рисунок 5 б).

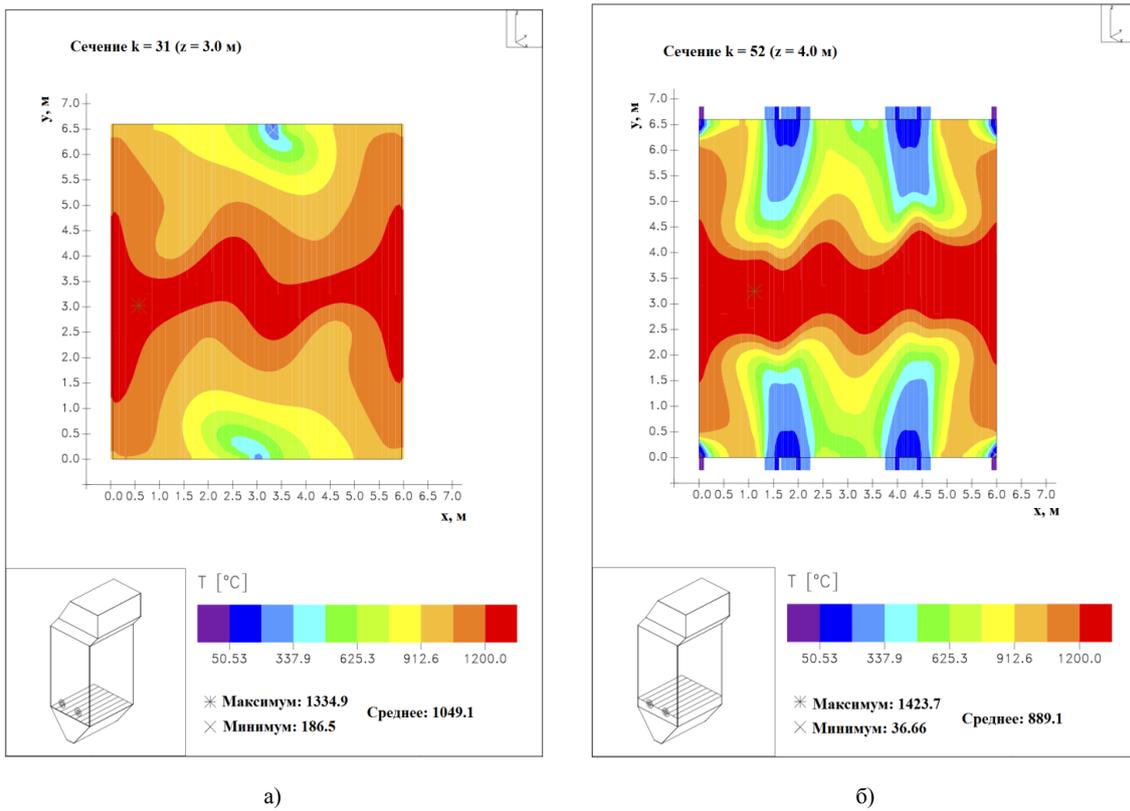


Рисунок 2 – Распределение температуры в сечениях:
а) холодной воронки (z = 3.09 м); б) установки горелочных устройств (z = 4.0 м)

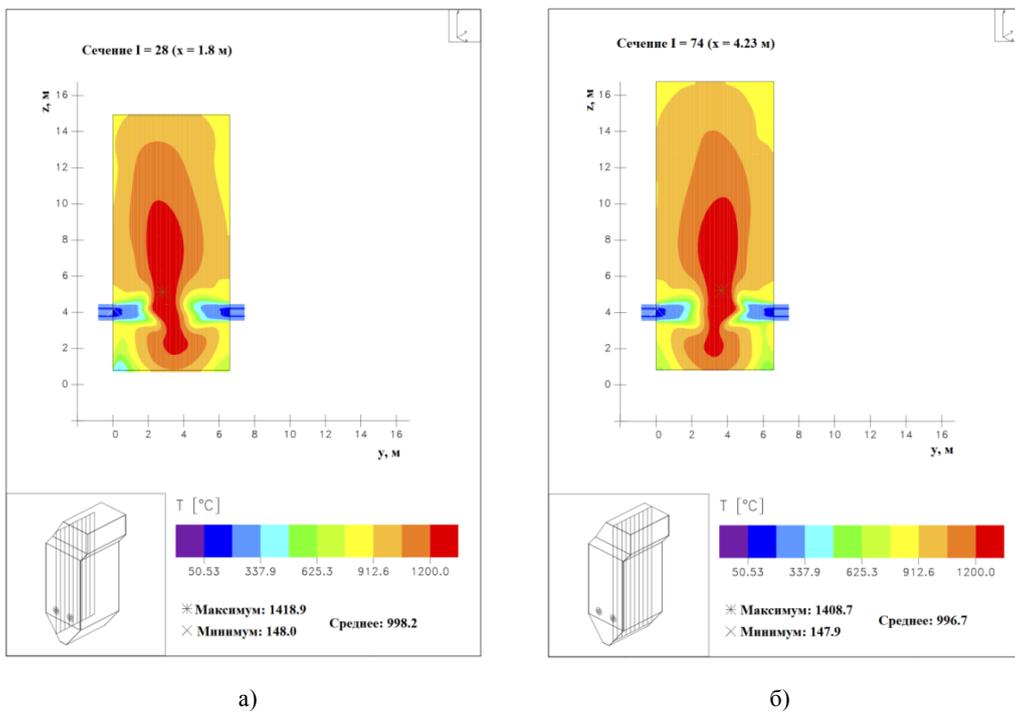


Рисунок 3 – Температурные поля в продольных сечениях горелок:
а) первой пары; б) второй пары

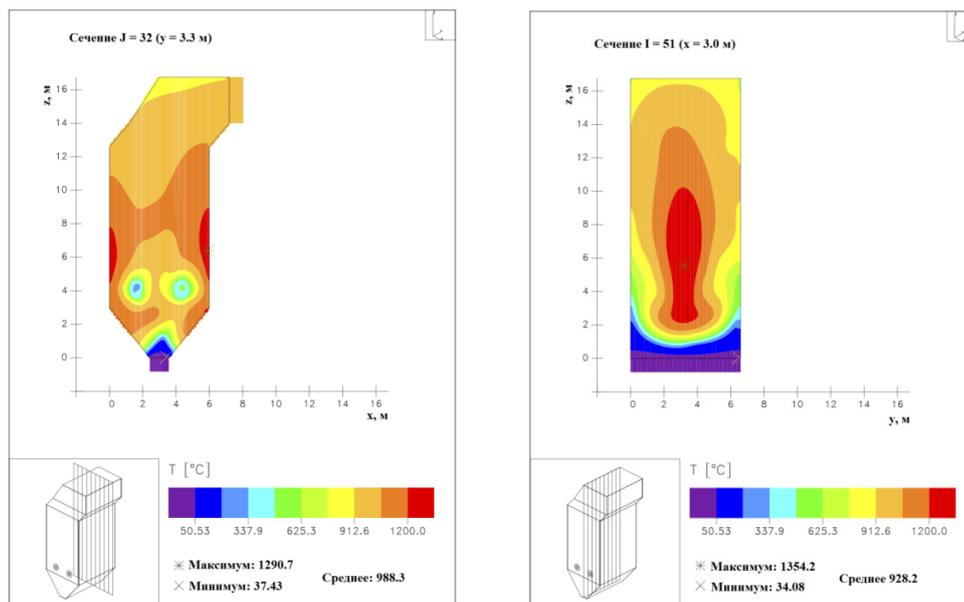
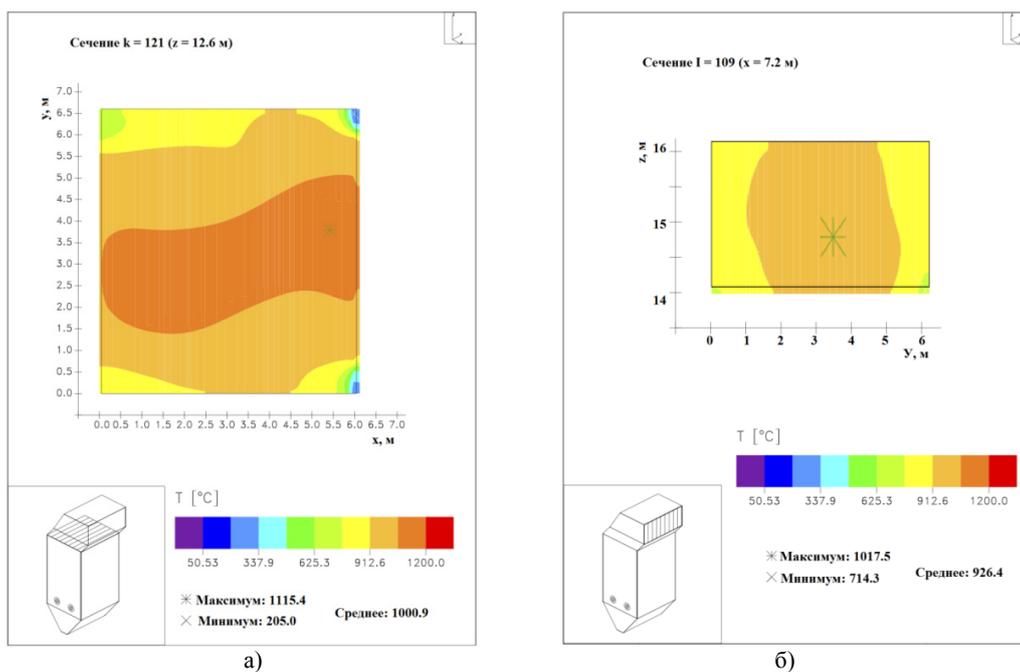


Рисунок 4 – Распределение температуры в центральных сечениях топочной камеры



а)

б)

Рисунок 5 – Распределение температуры в поперечных сечениях:
а) поворотной камеры котла; б) на выходе топочной камеры

Заключение

Сопоставляя эти значения, можно заключить: проведенный вычислительный эксперимент по определению температурного профиля в объеме топочной камеры, с достаточной точностью согласуется с полученной теоретическим мето-

дом температурой на выходе из топочной камеры (рисунок 6). Наблюдается и количественное совпадение с экспериментальными данными, полученными для похожего котла ТЭЦ [11]. Это позволяет судить о достоверности полученных результатов и применимости используемой физической, математической и численной модели.

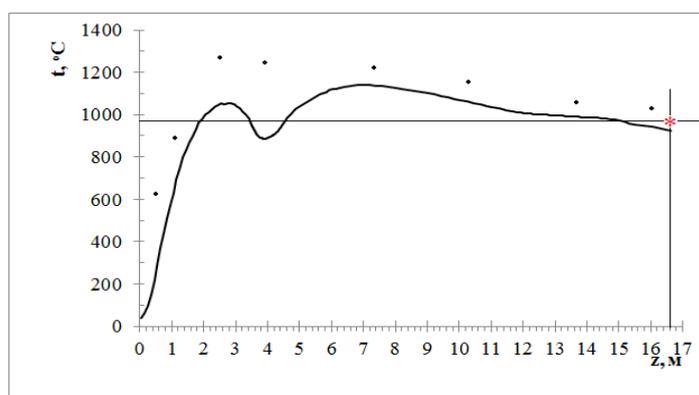


Рисунок 6 – Распределение температуры по высоте топочной камеры котла БКЗ-75 Шахтинской ТЭЦ

Линия – вычислительный эксперимент; * – теоретическое значение, полученное по методу ЦКТИ, [8-10]; • – эксперимент на ТЭЦ [11,12]

References

- 1 Patankar S. Numerical heat transfer and fluid flow. Hemisphere Publishing Corporation, New York.- 1980.- 152 p.
- 2 Müller H. Numerische Simulation von Feuerungen. CFD-Vorlesung, TU. – Braunschweig: IWBT, 1997. – 8–12 s.
- 3 Leithner, R. Der Zero Emission Coal Alliance -ZECA-Prozess und ähnliche Kreisläufe // DECHEMA/GVC-Jahrestagung. – Karlsruhe, 2004.
- 4 Leithner, R. Combined cycles for CO₂-capture with high efficiency // International Journal of Energy Technology and Policy. – 2007. – Vol.5, N3. – P.1472.
- 5 Leithner, R. Energy Conversion Processes with Intrinsic CO₂ Separation // Transactions of the Society for Mining, Metallurgy and Exploration. – 2005. – Vol.18.
- 6 Müller H. Numerische Berechnung dreidimensionaler turbulenter Strömungen in Dampferzeugern mit Wärmeübergang und chemischen Reaktionen am Beispiel des SNCR-Verfahrens und der Kohleverbrennung: Fortschritt-Berichte VDI-Verlag. –1992. – Reihe 6, №268. – 158 s.
- 7 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.
- 8 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.
- 9 Askarova A.S., Bolegenova S.A., Bolegenova S., Bekmukhamet A., Maximov V.Yu., Beketayeva M.T. Numerical experimenting of combustion in thereal boiler of CHP // International Journal of Mechanics. -ISSN: 1998-4448. -Issue 3. – Volume 7, 2013. – P. 343-352.
- 10 Askarova A., Bolegenova S., Bekmukhamet A., Maximov Yu.V., Beketayeva M., Ospanova Sh. Gabitova Z.K. Investigation of turbulence characteristics of burning process of the solid fuel in BKZ 420 combustion chamber // WSEAS Transactions on Heat and Mass Transfer. – Volume 9, 2014. – P. 39-50.
- 11 Aliyarov B.K. Osvoeniye szhiganiya ekibastuzskogo uglya na teplovykh elektrostantsiyakh. – Almaty: Gylym, 1996. – 272 s.
- 12 Ustimenko B.P., Aliyarov B.K., Abubakirov Ye.K. Ognevoye modelirovaniye pyleugol'nykh topok. – Alma-Ata: Nauka, 1982. – 212 s.