

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

**3D-моделирование процессов
горения полидисперсного
пылеугольного факела
в топочных камерах ТЭС
Казахстана**

Askarova A.S., Gorokhovskiy M.A.,
Bolegenova S.A., Maksimov V.Yu.,
Gabitova Z.Kh., Yergaliyeva A.B.

**3D-simulation of the combustion
processes of polydisperse
pulverized coal in Kazakhstan
TPP furnace chambers**

Асқарова Ә.С., Гороховски М.А.,
Бөлегенова С.А., Максимов В.Ю.,
Ғабитова З.Х., Ергалиева А.Б.

**Қазақстанның ЖЭС-нің жану
камераларында полидисперсті
шаң-көмірлі бөлшектер
ағынының жануы процестерін
үшөлшемді модельдеу**

В статье на основе решения трехмерных уравнений тепломассопереноса в реагирующих течениях представлены результаты вычислительных экспериментов по сжиганию низкосортного казахстанского угля. В качестве объекта исследований был выбрана топочная камера реального котла, расположенного на Аксуйской ТЭС, Казахстан. Были исследованы тепловые и концентрационные характеристики процесса горения полидисперсного пылеугольного факела. Показано, что наибольшее выделение тепла и вредных продуктов горения приходится на область расположения горелочных устройств, где химические реакции наиболее интенсивны. Представленные в работе графики выражают как качественные, так и количественные данные исследуемых характеристик.

Ключевые слова: тепломассоперенос, камера сгорания, котел ПК-39, полидисперсный факел, оксиды углерода, оксиды азота, тепловые характеристики.

The present paper presents the results of computational experiments for burning low-grade Kazakhstan coal on the basis of three-dimensional equations of convective heat and mass transfer in reacting flows. An object of research is combustion chamber of the real boiler, which is located on the Aksu TPP, Kazakhstan. We investigated the thermal and concentration characteristics of the combustion process of polydisperse pulverized coal. Maximum values of chemical energy and harmful combustion products are in the region of burners' location, where chemical reactions are most intense. Presented in this paper graphs express both qualitative and quantitative data of investigated characteristics.

Key words: heat and mass transfer, combustion chamber, steam boiler PK39, polydisperse torch, carbon oxides, nitrogen oxides, thermal characteristics.

Мақалада үшөлшемді әсерлесетін ағыстардағы жылу- және масса алмасу теңдеулерінің шешімі негізінде қазақстандық төменгі сұрыпты көмірді жағудың есептеуіш экспериментінің нәтижелері ұсынылған. Зерттеу нысаны ретінде Аксу жылу электр станциясында орналасқан нақты қазанның оттық камерасы таңдалған. Полидисперсті шаң-көмірлі бөлшектер ағынының жануы кезінде болатын жылу және концентрациялық сипаттамалары зерттелінді. Жану барысында жылудың және зиянды өнімдердің ең үлкен мәні жанарғы құрылғысы орналасқан аймаққа сәкес келетіндігі көрсетілді. Бұл жұмыста ұсынылған графикалық бейнелер зерттелген мәселенің сапалық және сандық мәліметтерін алуға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: жылу және масса алмасу, жану камерасы, ПК-39 қазаны, полидисперстік шаң-көмір бөлшектері, азот және көміртегі тотықтары, жылу сипаттамалары

3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ ПОЛИДИСПЕРСНОГО ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ФАКЕЛА В ТОПОЧНЫХ КАМЕРАХ ТЭС КАЗАХСТАНА

Введение

Существенный интерес в области теплоэнергетики по снижению вредного антропогенного воздействия на окружающую среду представляют фундаментальные исследования в области горения, разработка и совершенствование существующих технологических процессов по улучшению процессов сжигания низкосортных твердых топлив и применению альтернативных видов топлив. Это позволит обеспечить снижение выбросов в атмосферу загрязняющих веществ и одновременно улучшить основные показатели ТЭЦ.

На сегодняшний день в Казахстане около 85% электроэнергии вырабатывается на тепловых электростанциях, основным топливом которых является уголь. Более 80% угля, сжигаемого на этих ТЭС, является низкосортным высокозольным углем. На многих ТЭЦ Казахстана используется экибастузский уголь, зольность которого составляет более 40%. Сжигание такого угля приводит к возникновению проблем шлакования, неустойчивого горения и необходимости снижения образующихся в результате вредных пылегазовых продуктов горения [1].

В связи с вышеперечисленным, для исследований течений химически реагирующих сред используются методы численного моделирования. Этот подход в настоящее время интенсивно развивается во многих странах: строятся усовершенствованные модели, конструируются новые численные алгоритмы, проводятся разнообразные вычислительные эксперименты [2-3]. Численное моделирование позволяет с достаточной точностью вычислять качественные и количественные данные сложных химически реагирующих сред, а также прогнозировать поведение системы при изменении конструктивных и технологических характеристик при сжигании топлив.

На основе решения трехмерных уравнений тепломассопереноса в реагирующих течениях были получены поля тепловых (T , Q_{chem}) и концентрационных (CO , CO_2 , NO) характеристик процесса горения при сжигании полидисперсного пылеугольного факела в топочной камере реального энергетического котла Казахстана.

Физическая постановка задачи о горении полидисперсного пылеугольного топлива

В качестве объекта исследований был выбран реальный промышленный паровой котел ПК-39, установленный на Аксуйской ТЭС с размерами 7,762 м * 10,76 м * 29,985 м. Камера сгорания котла оснащена 12 вихревыми пылеугольными горелками, расположенными на 2 ярусах. Основной вид камеры и разбивка его на контрольные объемы представлен на рисунке 1.

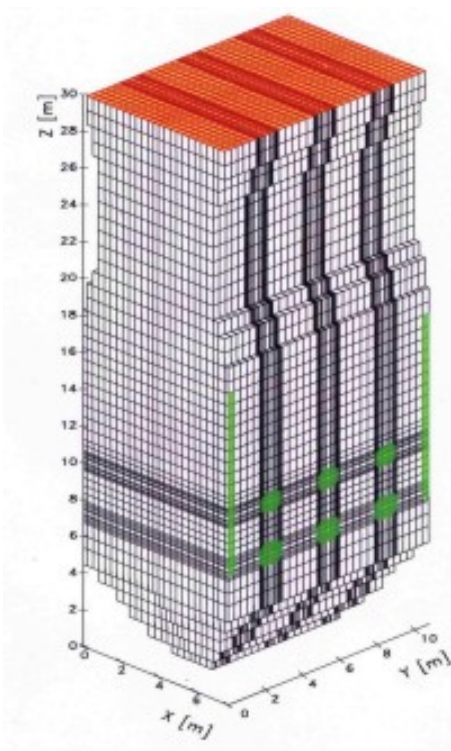


Рисунок 1 – Общий вид камеры сгорания котла ПК-39 и разбивка его на контрольные объемы

Одним из способов учета полидисперсности сжигаемой пыли в вычислительных экспериментах является разделение на несколько фракций с соответствующими диаметрами угольных частиц [4]. В данной работе был выбрано следующее распределение частиц: $d_p=10$ мкм – 10%; $d_p=30$ мкм – 20%; $d_p=60$ мкм – 40%; $d_p=100$ мкм – 20%; $d_p=120$ мкм – 10%, что соответствует реальному процессу горения угля на ТЭС.

Результаты вычислительных экспериментов

На рисунках 2-6 представлены результаты вычислительных экспериментов. На рисунке 2 изображено распределение температуры

по высоте топочной камеры. Как можно заметить минимумы температур приходится на область расположения горелок. Это связано с относительно низкой температурой подачи пылеугольного топлива (150 °С). Далее наблюдается рост температуры за счет интенсивного прохождения химических реакций горения. По мере продвижения к выходу температурное поле выравнивается и на выходе из топочной камеры имеем среднее значение температуры, равное 1202 °С. Здесь же нанесены результаты натурального эксперимента [5-6].

На рисунке 3 представлено распределение химической энергии Q_{chem} , выделяемой в процессе горения пылеугольного топлива по высоте камеры сгорания. Максимальное количество тепла выделяется в области расположения горелок, непосредственно там, где происходит смешение топлива и окислителя, и химические реакции наиболее интенсивны. Причем, в области расположения верхнего яруса горелок значения химической энергии значительно выше, чем значения нижнего яруса, что соответствует повышению температуры верхнего яруса горелок.

На выходе топочной камеры тепло практически не выделяется, так как по мере приближения к выходу химические реакции топлива и окислителя идут с минимальной интенсивностью.

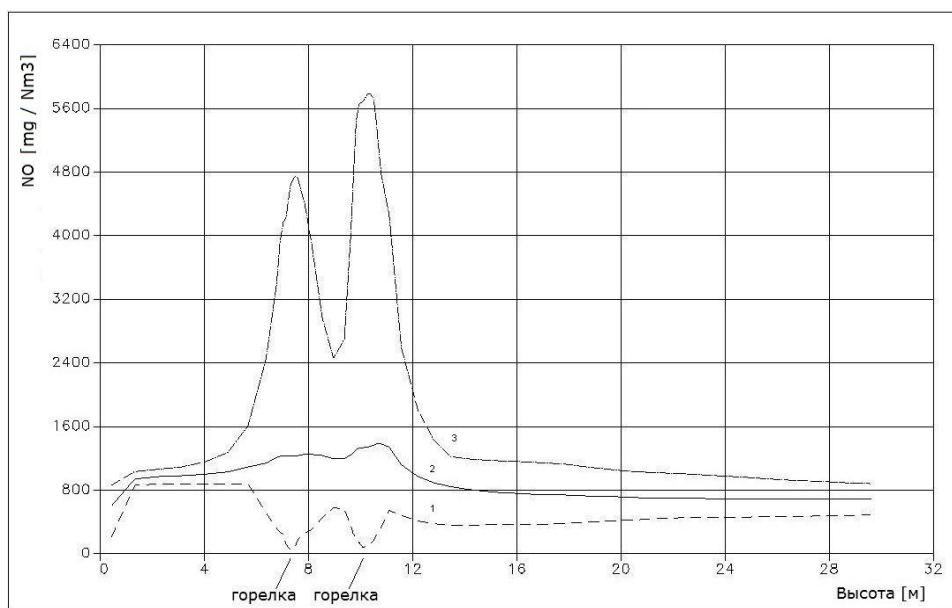
Оптимальный вариант сжигания топлива в камере сгорания обеспечивает полное выделение теплоты сгорания и уменьшает потери, вызванные неполным сгоранием топлива и избыточными объемами воздуха.

Концентрационные поля вредных пылегазовых продуктов сгорания показаны на рисунках 4-6. Одними из наиболее вредных веществ, загрязняющих атмосферу являются оксиды азота – NO, NO₂, N₂O₃, N₂O₄, N₂O₅. Окислы азота попадают в атмосферу, как естественным образом, так и в результате деятельности человека. Основными источниками загрязнений атмосферы оксидами азота (около 40 %) являются тепловые электростанции.

В настоящее время различают 3 типа оксидов азота: из азота воздуха образуются термические (механизм Зельдовича) и быстрые NO_x (механизм Фенимора); из связанного с органической массой азота топлива (угля, мазута) образуются топливные NO_x [7]. Картина распределения максимальных, минимальных и средних значений NO_x по всему топочному пространству представлена на рисунке 4. Как

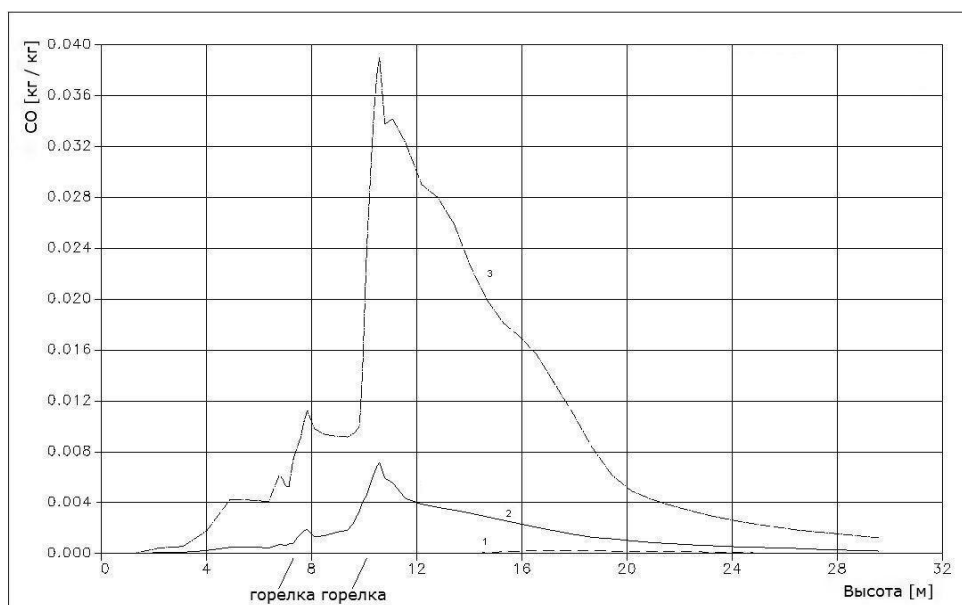
видно из представленного графика наиболее интенсивное газообразование основных азотосодержащих компонентов происходит в области распространения потоков из горелок, т.е. там, где в максимальном объеме присутствуют топливо и окислитель, что соответствует реальной картине процесса в камере сгорания.

При этом характер распределения концентраций в этих плоскостях неоднозначен, что говорит о сложном, нелинейном характере процесса образования указанных веществ в этой области. Среднее значение концентрации монооксида азота на выходе из топочного пространства составляет $686,5 \text{ мг/Нм}^3$.



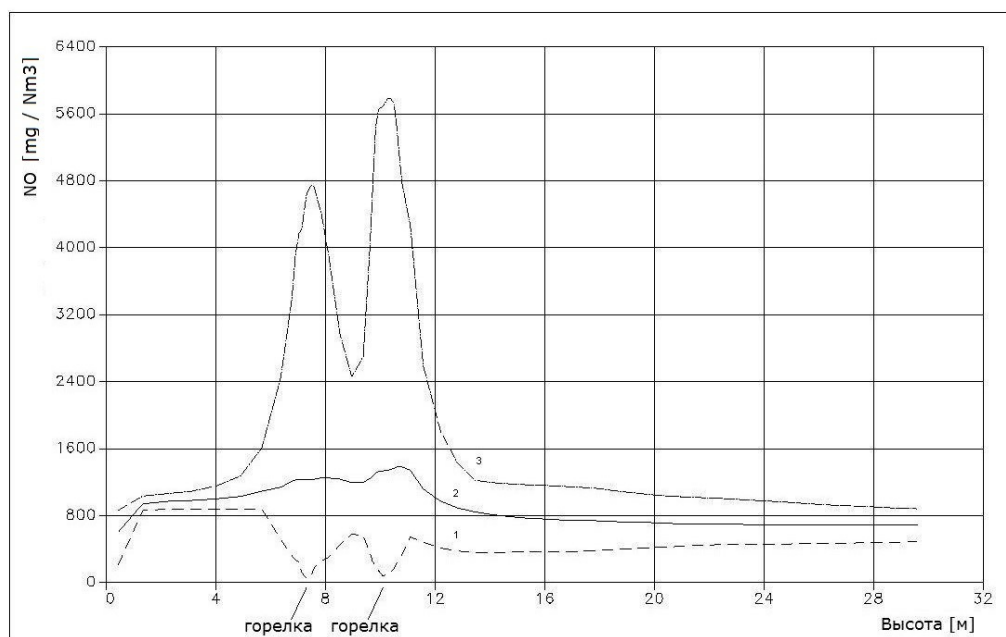
1 – минимальные; 2 – средние; 3 – максимальные значения ♦ – эксперимент

Рисунок 2 – Распределение температуры по высоте топочной камеры для полидисперсного факела



1 – средние; 2 – максимальные значения

Рисунок 3 – Распределение химической энергии по высоте камеры сгорания для полидисперсного факела



1 – минимальные; 2 – средние; 3 – максимальные значения

Рисунок 4 – Распределение концентрации NO по высоте в камере сгорания

На рисунке 5 представлено распределение минимальных, средних и максимальных в поперечном сечении концентраций CO по высоте камеры сгорания. В области расположения горелок происходит подача пылеугольной пыли с определенной концентрацией углерода, и воздуха, содержащего определенное значение окиси углерода. В этой области происходят основные реакции реагирования углерода с образованием окиси углерода, о чем свидетельствуют максимумы на кривых распределения CO.

На рисунке 6 представлено распределение концентрации CO₂ по высоте камеры сгорания с нанесенными результатами натурного эксперимента [5-6]. Анализ рисунков 5 и 6 показывает, что картина распределения окиси углерода CO не соответствует полю CO₂, что говорит об отличиях в процессе образования CO₂ и CO. Мы видим, что основное образование диоксида углерода CO₂ происходит по мере удаления от центра топki, т.е. области столкновения струй топлива и окислителя из противогорелок. На этом основании можно сделать вывод о том что, процесс образования оксидов углерода зависит не только от явлений переноса, но и от кинетики процесса.

Вывод о том, что углерод может реагировать с кислородом разными способами, чрезвычайно важен при проектировании топочных камер. Все

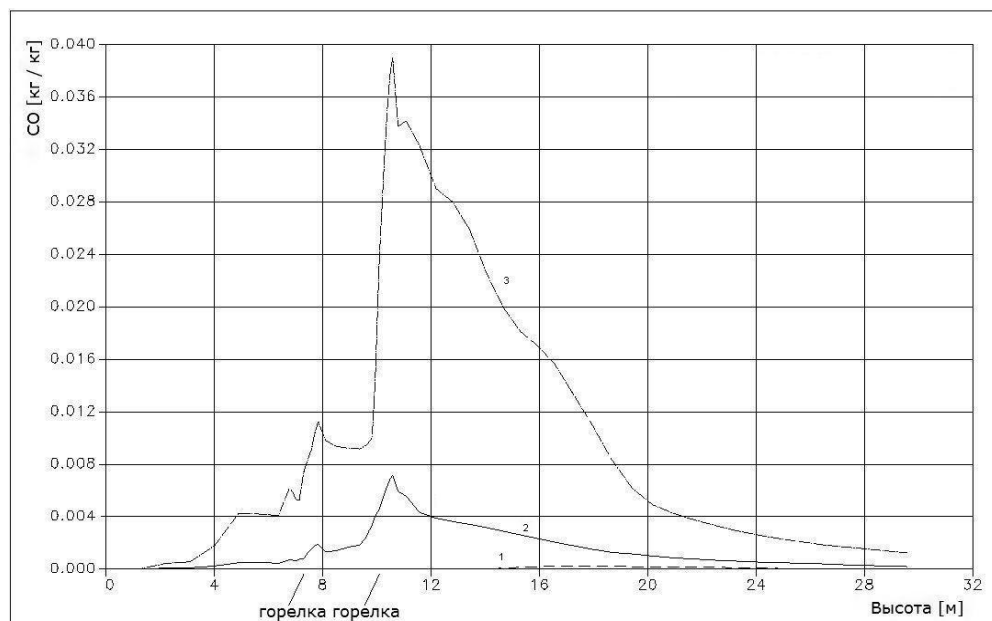
технологии, применяемые на ТЭЦ при сжигания угля должны обеспечивать полное смешивание топлива с кислородом до полного сгорания с образованием CO₂, а не CO. Иначе тепловыделение резко снизится, поскольку при образовании CO выделяется лишь 28% той энергии, которая выделяется при образовании CO₂.

На выходе из топочного пространства среднее значение концентрации угарного газа в безразмерном виде составляет $1,97 \cdot 10^{-4}$ кг/кг, а концентрация углекислого газа – 0,197 кг/кг.

Заключение

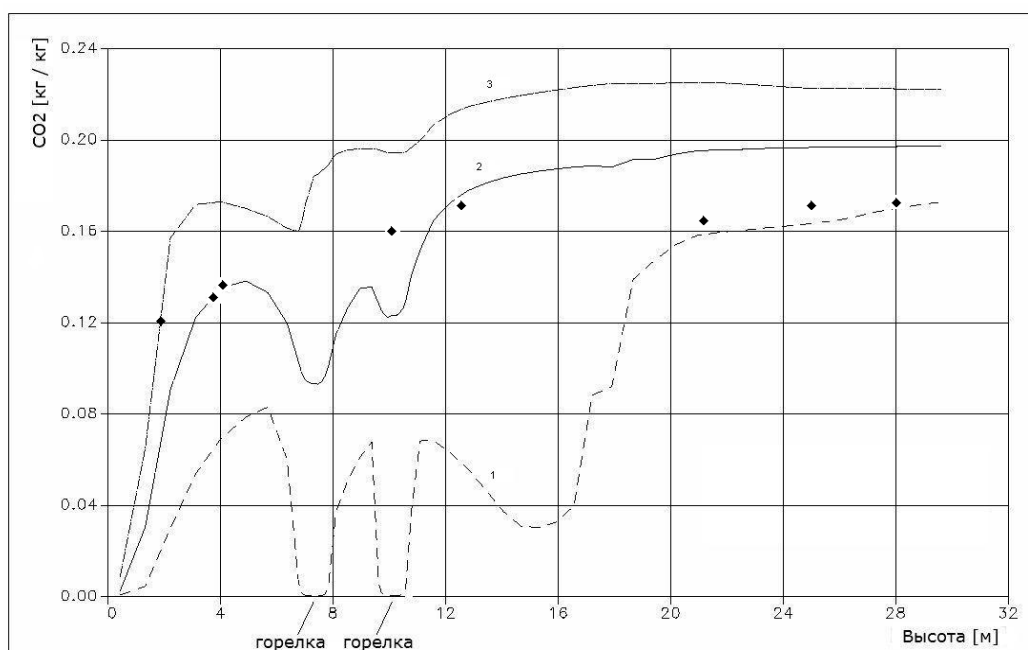
Были проведены вычислительные эксперименты по моделированию процессов тепломассопереноса при горении пылеугольного топлива в топочной камере котла ПК-39 Аксуйской ТЭС. В работе представлены тепловые и концентрационные характеристики процесса горения полидисперсного пылеугольного факела.

Анализ полученных данных показал, что на выходе из топочной камеры среднее значение температуры составляет 1202 °С. Максимальное количество тепла выделяется в области расположения горелок, непосредственно там, где происходит смешение топлива и окислителя. Именно в этих областях наблюдаются максимальные значения таких продуктов реакции, как CO и NO.



1 – минимальные; 2 – средние; 3 – максимальные значения

Рисунок 5 – Распределение концентрации CO по высоте в камере сгорания



1 – минимальные; 2 – средние; 3 – максимальные значения ♦ – эксперимент

Рисунок 6 – Распределение концентрации CO₂ по высоте топочной камеры

Также были посчитаны концентрации пылегазовых продуктов горения. Основное образование диоксида углерода CO₂ происходит по мере удаления от центра топки, что связано с догоранием CO. На выходе из топочного пространства среднее значение concentra-

ции угарного газа в безразмерном виде составляет $1,97 \cdot 10^{-4}$ кг/кг, а концентрация углекислого газа – 0,197 кг/кг. Среднее значение концентрации монооксида азота на выходе из топочного пространства составляет 686,5 мг/Нм³.

References

1. Askarova A.S., Bolegenova S.A., Maksimov V.Yu., Bekmukhamet A., Ospanova Sh.S. Issledovaniye obrazovaniya vrednykh veshchestv v kamere sgoraniya BKZ-75 Shakhtinskoy TETS // VIII Vserossiyskaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiyem «Goreniye tverdogo topliva». – Novosibirsk, 2012. – S. 9.1-9.4.
2. 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. – Reihe 6, №268. – 158 s.
3. Leithner R. Wärme-und Stoffbertrager Vorlesungsmanusskript. Institut fur Wärme-und Brennstofftechnik: TU Braunschweig. – 1989. – 156 p.
4. Khzmalyan D.M., Kagan Ya.A. Teoriya goreniya i topochnyye ustroystva. Pod red. D.M. KHzmalyana. Ucheb.posobiye dlya studentov vyssh. ucheb. Zavedeniy. – M.: Energiya, 1976. – 488 s.
5. Aliyarov B.K. Osvoyeniye szhiganiya ekibastuzskogo uglya na teplovykh elektrostantsiyakh. – Almaty: Fylym, 1996. – 272 s.
6. Aliyarov B.K., Aliyarova M.B., Szhiganiye kazakhstanskikh ugley na TES i na krupnykh kotl'nykh., Almyty-2012. -130 s.
7. Serbin S.I., Mostipanenکو A.B. Issledovaniye mekhanizmov obrazovaniya oksidov azota v kamere sgoraniya gazoturbinnoy ustanovki tipa «Vodoley» // Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya. – 2006. – № 7 (33). – S. 93-97.