

ISSN 1991-346X

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА
СЕРИЯСЫ**



СЕРИЯ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ



**PHYSICO-MATHEMATICAL
SERIES**

2 (306)

НАУРЫЗ – СӘУІР 2016 ж.

МАРТ – АПРЕЛЬ 2016 г.

MARCH – APRIL 2016

1963 ЖЫЛДЫҢ ҚАҢТАР АЙЫНАН ШЫҒА БАСТАҒАН
ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1963 ГОДА
PUBLISHED SINCE JANUARY 1963

ЖЫЛЫНА 6 РЕТ ШЫҒАДЫ
ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД
PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

АЛМАТЫ, ҚР ҰҒА
АЛМАТЫ, НАН РК
ALMATY, NAS RK

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 2, Number 306 (2016), 21–29

UDC 536.46.:532.517.4

**STUDY OF COAL MOISTURE
ON THE COMBUSTION PROCESS BY 3D MODELING****A. Askarova, S. Bolegenova, S. Bolegenova, V. Maximov,
A. Yergaliyeva, Z. Gabitova, A. Boranbaeva**Al-Farabi Kazakh national university, Almaty, Kazakhstan
bolegenova.symbat@kaznu.kz**Keywords:** moisture of coal, coal-dust flame, burning, thermal power, heat and mass transfer.

Abstract. Studies 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. This article presents the results of numerical simulations to study the effect of humidity Ekibastuz coal burned in the combustion chamber of Kazakhstan Aksu TPP processes of heat and mass transfer. This paper presents graphs of the distribution of characteristics such as temperature, concentration of carbon monoxide and nitric oxide in height of the combustion chamber. The methodology of work is - the method of mathematical modeling, which was conducted with the help of the application package FLOREAN. This software package was used for the base of numerical studies and was complemented by our new computer program GEOM. It is shown that an increase in humidity leads to a decrease in fuel temperature and average concentration of carbon dioxide in the combustion chamber, as well as to reduce the concentration of carbon monoxide CO and nitrogen oxide NO in active combustion. The results obtained in this study allow to make recommendations for optimizing the combustion process of high-pulverized coal to reduce emissions and the establishment of power plants to "clean" and effective use of coal.

УДК 536.46.:532.517.4

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЛАЖНОСТИ УГЛЯ
НА ПРОЦЕСС ГОРЕНИЯ МЕТОДАМИ 3-D МОДЕЛИРОВАНИЯ****А.С. Аскарова, С.А. Болегенова, С.А. Болегенова,
В.Ю. Максимов, А.Б. Ергалиева, З.Х. Габитова, А.Е. Боранбаева**

Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, г.Алматы, Казахстан

Ключевые слова: влажность угля, пылеугольный факел, горение, тепловая электростанция, тепломассоперенос.

Аннотация. 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. В данной статье представлены результаты численного моделирования по исследованию влияния влажности сжигаемого Экибастузского угля в топочной камере Аксуской ГРЭС Казахстана на процессы тепломассопереноса. Представлены графики распределения таких характеристик, как температура, концентрации оксидов углерода и оксида азота по высоте топочной камеры. Методологию работы составил – метод математического моделирования, который проводился с помощью пакета прикладных программ FLOREAN. Этот пакет программ был использован для основы численных исследований и был дополнен нами новой компьютерной программой GEOM. Показано, что увеличение влажности топлива ведет к уменьшению средних значений температуры и концентрации двуоксида углерода в топочной камере, а также к уменьшению концентрации окиси углерода CO и оксидов

азота NO в области активного горения. Результаты, полученные в данной работе, позволят дать рекомендации по оптимизации процесса горения высокосольного пылеугольного топлива с целью уменьшения выбросов вредных веществ и создания электростанций на "чистом" и эффективном использовании угля.

Как известно, влажность топлива является балластом, который существенно снижает эффективность его сжигания. Однако проведенные группами ученых исследования [1-3] по сжиганию углей различной влажности показали необходимость более полного исследования.

Численное моделирование на сегодняшний день является достаточно эффективным методом прогнозирования поведения сложных для аналитического исследования систем, одной из которых является сжигание низкосортных углей в камерах сгорания котлов ТЭС. Компьютерное моделирование позволяет получать исследуемые качественные и количественные характеристики процесса, а также отклик системы на изменения ее параметров и начальных условий [4-7]. Основными этапами процесса моделирования являются: 1) этап предметного моделирования, состоящий из формулировки основных законов, правил и приближений; 2) этап математического моделирования – описание основных уравнений; 3) этап компьютерного моделирования, включающий в себя математические вычисления и графическую интерпретацию полученных данных.

Численное моделирование проводилось с помощью пакета прикладных программ FLOREAN [8-9] на основе трехмерных уравнений конвективного тепло- и массопереноса для предсказания влияния влажности угля на общую работу топочной камеры и формирование продуктов сгорания. 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 [10-15]. 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 [16-17].

Математическая модель, описывающая процессы турбулентного теплопереноса, выглядит следующим образом [8-11]:

а) Уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = - \frac{\partial(\rho u_j)}{\partial x_j}, \quad (1)$$

б) Уравнение движения:

с)

$$\frac{\partial(\rho u_j)}{\partial t} = - \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} + \frac{\partial \tau_{i,j}}{\partial x_j} - \frac{\partial p}{\partial x_j} + \rho f_i, \quad (2)$$

здесь: f_i – объемные силы; $\tau_{i,j}$ – тензор вязких напряжений.

д) Уравнение энергии:

е)

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho h) = & - \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i h) - \frac{\partial q_i^{res}}{\partial x_j} + \\ & + \frac{\partial p}{\partial t} + u_i \frac{\partial p}{\partial x_i} + \tau_{i,j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} + S_q, \end{aligned} \quad (3)$$

здесь: h – энтальпия; q_i^{res} – плотность потока энергии за счет молекулярного переноса тепла, S_q – источник энергии.

ф) Закон сохранения для компоненты вещества:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho c_n) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i c_n) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\frac{\mu_{eff}}{\sigma_{c_n,eff}} \frac{\partial c_n}{\partial x_i} \right] + S_{c_n}, \quad (4)$$

где S_{c_n} - источниковый член, учитывающий вклад химических реакций в изменение концентрации компонентов.

g) Стандартная k-ε модель турбулентности:

h)

$$\frac{\partial(\overline{\rho k})}{\partial t} = - \frac{\partial(\overline{\rho u_j k})}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{\mu_{eff}}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P - \rho \varepsilon, \quad (5)$$

где P – производство кинетической энергии турбулентности, которое определяется следующим соотношением:

$$P = \left[\mu_{turb} \left(\frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u_j}}{\partial x_i} \right) \right] \frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} - \left[\frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \right] \frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} \quad (6)$$

и уравнение для диссипации турбулентной кинетической энергии ε :

$$\frac{\partial(\overline{\rho \varepsilon})}{\partial t} = - \frac{\partial(\overline{\rho u_j \varepsilon})}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{\mu_{eff}}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{\varepsilon,1} \frac{\varepsilon}{k} P - C_{\varepsilon,2} \frac{\varepsilon^2}{k} \overline{\rho}, \quad (7)$$

здесь, $\overline{\rho \varepsilon}$ – преобразование кинетической энергии пульсационного движения во внутреннюю энергию (диссипация):

$$\overline{\rho \varepsilon} = \mu_{turb} \cdot \frac{\partial u'_i}{\partial x_j} \cdot \left(\frac{\partial u'_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u'_j}{\partial x_i} \right). \quad (8)$$

В этих уравнениях используются соответствующие турбулентные числа Прандтля σ_k , σ_ε , которые являются эмпирическими константами для моделирования турбулентных процессов обмена энергии.

В качестве объекта исследований был выбран реальный промышленный паровой котел ПК-39, установленный на Аксуской ГРЭС (Казахстан) с размерами 7,762м*10,76м*29,985м. Камера сгорания котла оснащена 12 вихревыми пылеугольными горелками, расположенными на 2 ярусах. Схема камеры сгорания котла и разбивка ее на контрольные объемы представлена на рисунке 1.

На рисунках 2-5 представлены результаты вычислительных экспериментов по исследованию тепломассопереноса с учетом различного значения содержания влаги в топливе. Как можно заметить, качественно приведенные характеристики не меняются в зависимости от влажности, однако, можно заметить, что кривые на этих рисунках отличаются в количественном отношении.

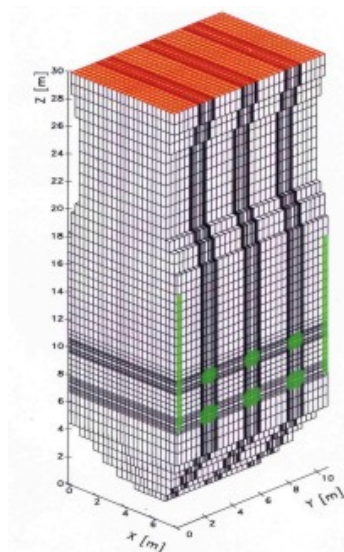


Рисунок 1 – Камера сгорания котла ПК-39

Наряду с результатами вычислительного эксперимента, на рисунке 2 представлены результаты натурного эксперимента на ТЭС [18] для угля с влажностью, равной 7%. Мы видим, что характер изменения экспериментальной и расчетных (вычислительный эксперимент) кривых совпадает. Можно видеть наличие минимумов кривых в областях расположения пояса горелок, что связано с низкой температурой аэросмеси (150°C), подаваемой через эти горелки. Максимальных значений температура достигает в центральной части топочной камеры, там, где находится ядро факела. По мере продвижения к выходу из топочной камеры, поле температуры выравнивается, а значения уменьшаются.

Наибольшие различия между расчетными и экспериментальными данными (рисунок 2) наблюдаются при воспламенении угольного факела. Это можно объяснить неустойчивым характером процесса горения в этой области и соответственно различием между реальными физическими условиями воспламенения пылеугольной смеси и математической моделью, описывающей процесс горения твердого топлива в этой области.

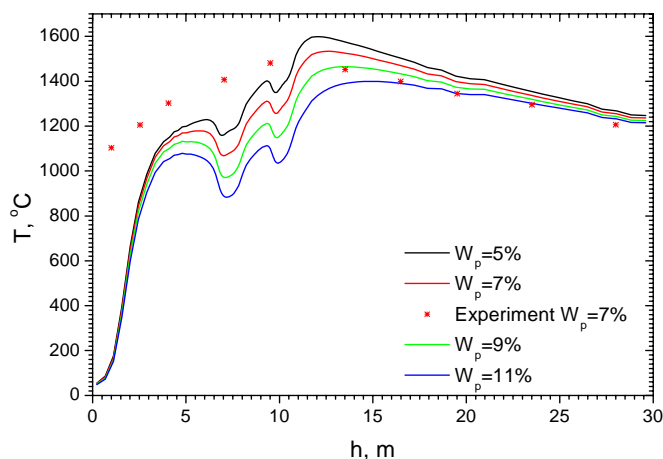


Рисунок 2 – Распределение температуры по высоте топочной камеры при сжигании угля различной влажности в топочной камере котла ПК-39 Аксуйской ГРЭС

Анализируя кривые рисунка 2, следует отметить, что увеличение влажности топлива ведет к уменьшению средней температуры в топочной камере. Это можно объяснить тем, влажность топлива уменьшает его тепловую ценность, так как для превращения 1 кг воды в пар необходимо затратить 2,5 МДж теплоты.

Наибольшие различия между температурными кривыми для угля разной влажности можно заметить внутри топочной камеры в области пояса горелок. На выходе из топочной камеры различия в значениях температуры для углей, влажность которых меняется от 5% до 11%, уменьшаются и составляют не более 35°C.

В результате проведения вычислительных экспериментов по сжиганию Экибастузского угля были рассчитаны концентрационные поля вредных пылегазовых продуктов сгорания. На рисунках 3-5 представлены графики распределения концентраций оксидов углерода CO и CO₂ и оксида азота NO.

Анализ рисунка 3 показывает, что формирование окиси углерода происходит главным образом в основной части факела, там, где средняя его температура достигает своих максимальных значений. Причем с уменьшением содержания влаги в угле максимум концентрации CO возрастает и смещается к области расположения горелок. По мере продвижения к выходу из топки, концентрация окиси углерода уменьшается.

Таким образом, увеличение влажности топлива приводит к уменьшению концентрации окиси углерода CO в области активного горения, что совпадает с экспериментальными данными, приведенными в работах [1,18]. Это можно объяснить тем, что при невысоких температурах преобладает реакция реагирования углерода топлива с кислородом воздуха с образованием диоксида углерода, однако при повышении температуры начинает протекать реакция между углем и образовавшимся диоксидом углерода.

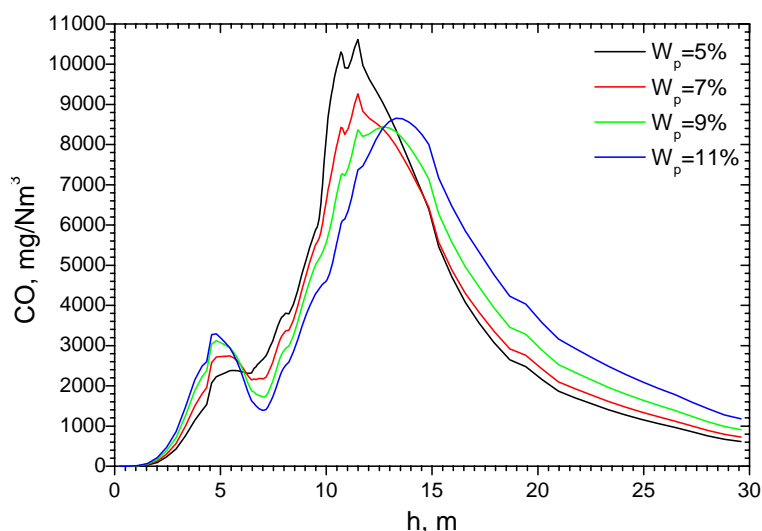


Рисунок 3 – Распределение концентрации CO по высоте топочной камеры котла ПК-39 Аксуйской ГРЭС при сжигании угля различной влажности

На рисунке 4 представлено распределение средних значений концентрации CO₂ в каждом сечении по высоте топочного пространства. Можно видеть, что увеличение влажности приводит к уменьшению концентрации двуокиси углерода, что связано с температурными условиями процесса. А это в свою очередь создает худшие условия для реакции, связанной с догоранием CO до CO₂. Вследствие этого значение концентрации диоксида углерода CO₂ на выходе из топки с увеличением влажности топлива уменьшается.

Здесь же, на рисунке 4, нанесены результаты эксперимента, проведенного непосредственно на ТЭС [18]. Мы видим, что наибольшие различия в результатах вычислительного и натурального экспериментов наблюдаются в области воспламенения горючей смеси, что связано с неустойчивостью горения и различием между моделируемыми и экспериментальными условиями для воспламенения аэросмеси.

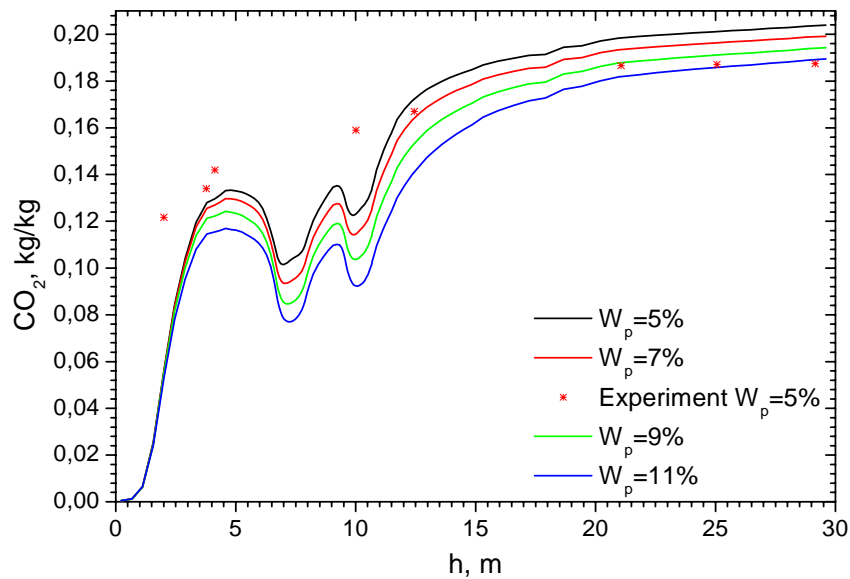


Рисунок 4 – Распределение концентрации CO₂ по высоте топочной камеры котла ПК-39 Аксуйской ГРЭС при сжигании угля различной влажности

На рисунке 5 показано поле концентрации оксида азота NO по высоте топочной камеры котла ПК-39 Аксуйской ГРЭС для различного значения содержания влаги в топливе. Из рисунка можно видеть, что наибольшие различия в средних концентрациях приходятся на центральную часть топки, где расположены горелочные устройства. Формирование оксида азота осуществляется в результате окисления азота, содержащегося в топливе, а также азота атмосферного воздуха. Здесь увеличение влажности угля приводит к уменьшению концентрации NO, что подтверждается исследованиями, описанными в работах [1,3,18]. Однако можно заметить, что к выходу из топки поля концентрации окиси азота выравниваются и различия в концентрациях согласно таблице 1 составляют порядка 3-18 мг/Нм³.

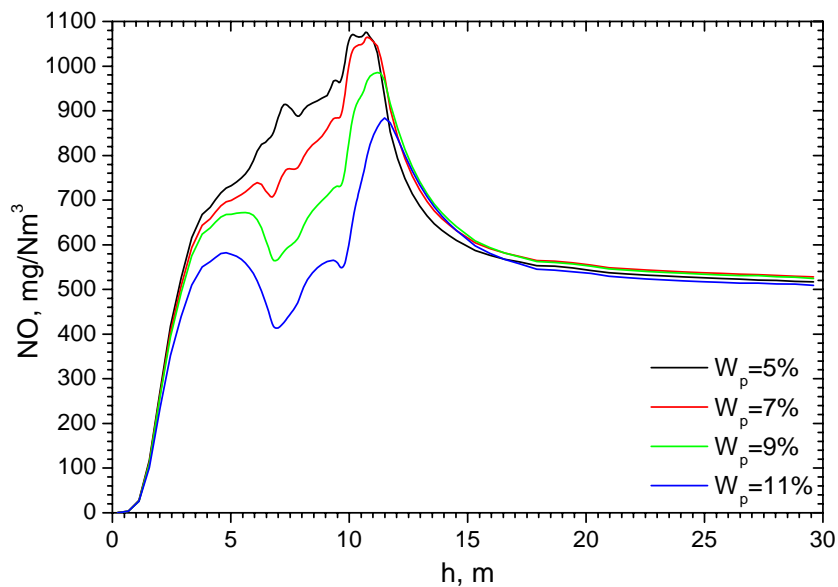


Рисунок 5 – Распределение концентрации NO по высоте топочной камеры котла ПК-39 Аксуйской ГРЭС при сжигании угля различной влажности

Таблица 1 – Распределение средних значений температуры, концентраций CO, CO₂ и NO в сечении нижнего яруса горелок для различных значений влажности топлива

Хар-ки	Влажность, W _p			
	5%	7%	9%	11%
T, °C	1178,86	1079,82	976,46	885,72
CO, мг/Нм ³	2938,94	2391,9	1912,79	1550,57
CO ₂ , кг/кг	0,104	0,094	0,085	0,077
NO, мг/Нм ³	914,58	766,67	589,49	431,33

Таблица 2 – Распределение средних значений температуры, концентраций CO, CO₂ и NO на выходе из топочной камеры для различных значений влажности топлива

Хар-ки	Влажность, W _p			
	5%	7%	9%	11%
T, °C	1247,9	1236,1	1225,0	1214,6
CO, мг/Нм ³	614,4	724,5	907,4	1183,1
CO ₂ , кг/кг	0,204	0,199	0,194	0,189
NO, мг/Нм ³	516,97	527,79	524,78	509,25

В результате проведенных исследований было показано, что увеличение влажности топлива ведет к уменьшению средней температуры и концентрации двуокси углерода CO₂ в топочной камере, а также к уменьшению концентрации окиси углерода CO в области активного горения. С уменьшением содержания влаги в угле максимум концентрации CO возрастает и смещается к области расположения горелок. К выходу из топочного пространства концентрация окиси углерода уменьшается. Также показано, что увеличение влажности угля приводит к уменьшению концентрации NO в центральной части топочной камеры. Наибольшие различия в результатах вычислительного и натурального экспериментов наблюдаются в области воспламенения горючей смеси. Значения концентраций CO, CO₂ и NO, которые являются основными веществами загрязняющими атмосферу, на выходе из топочного пространства не превышают норм ПДК, принятых в Республике Казахстан.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Исаков Р.Т., Энгельшт В.С. Термодинамический анализ влияния влажности на горение углерода, Вестник ИГУ, 2002, №. 8, С. 75-83.
- [2] Ryoichi Kurose, Hiroaki Watanabe, Hisao Makino. Numerical Simulations of Pulverized Coal Combustion, KONA Powder Particle J., 27 (2009), pp. 144–156.
- [3] Пинчук В. А., Потапов Б. Б., Шарабура Т. А. Использование термодинамических показателей для оценки энергетической и технологической ценности различных марок углей, Металлургическая теплотехника. Сборник научных трудов Национальной металлургической академии Украины, Днепрпетровск: ПП Грек ОС, 2008, С. 228-235.
- [4] 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. – Vol. 21, Issue 6, 2014. – P. 747-754.
- [5] Messerle V. E., Ustimenko A. B. et al. Pulverized coal torch combustion in a furnace with plasma-coal system // Thermophysics and Aeromechanics. – Vol. 17, Issue 6, 2010. – P.435-444.
- [6] Karpenko E I; Lavrishcheva, Y. I., Messerle V.E. et al. Plasma-supported coal combustion in boiler furnace // IEEE Transactions on Plasma Science. – Vol. 35, Issue 6, 2007. – P. 1607-1616.
- [7] Karpenko E.I, Messerle V. E. Ustimenko A.B. et al. Plasma enhancement of combustion of solid fuels // HIGH ENERGY CHEMISTRY. – Vol. 40, Issue 2, 2006. – P. 111-118.
- [8] Müller, H. Numerische simulation von Feuerungen. CFD–Vorlesung, TU. – Braunschweig: IWBT, 1997. – 8–12 s
- [9] Leithner, R. Numerical Simulation. Computational Fluid Dynamics CFD: Course of Lecture. – Braunschweig, 2006. - 52 p.
- [10] 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. – Vol. 53, Issue 5, 2015. – P. 751-757.
- [11] Safarik P., Bolegenova, S., Maximov V. et al. Numerical Modeling of Pulverized Coal Combustion at Thermal Power Plant Boilers // Journal of Thermal Science. – Vol. 24, Issue 3, 2015. – P. 275-282.
- [12] Messerle V. E., Ustimenko A. B., Bolegenova S.A. et al. Numerical simulation of pulverized coal combustion in a power boiler furnace // High Temperature. –Vol. 53, Issue 3, 2015. – P. 445-452.
- [13] Karpenko, E. I., Karpenko, Yu. E., Messerle, V. E. et al. Mathematical modelling of the processes of solid fuel ignition and combustion at combustors of the power boilers // Theory and Practice of Energetic Materials. – Vol. VII, 2007. – P. 672-683.
- [14] Bolegenova S.A., Bekmuhamet A., Maximov V.Yu. et al.. 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.
- [15] Bolegenova S., Bekmukhamet A., Maximov Yu.V. et al. 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.

[16] Askarova A., Bolegenova S., Bekmukhamet A. et al. Using 3D modeling technology for investigation of conventional combustion mode of BKZ-420-140-7c combustion chamber // Journal of Engineering and Applied Sciences. – Vol. 9, Issue 1, 2014. – P. 24-28.

[17] Bolegenova S.A., Maximov Yu.V Bekmukhamet A. et al. 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. - Volume 8, 2014. - P. 112-122.

[18] Алияров Б.К., Алиярова М.Б. Сжигание казахстанских углей на ТЭС и на крупных котельных: опыт и проблемы, Алматы, 2012, 306 с.

REFERENCES

[1] Iskakov R.T., Engelsht V.S. Thermodynamic analysis of the effect of moisture on the carbon burning, Herald ISU 2002, number. 8, pp 75-83 (in rus)

[2] Ryoichi Kurose, Hiroaki Watanabe, Hisao Makino. Numerical Simulations of Pulverized Coal Combustion, *KONA Powder Particle J.*, **2009**, 27, 144–156 (in eng)

[3] Pinchuk V.A., Potapov B.B., Sharabura T.A. Using thermodynamic parameters for the evaluation of energy technology and the value of different grades of coal, metallurgical heat engineering. Collection of scientific works of the National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnepropetrovsk: PP Greek OS 2008, pp 228-235 (in rus)

[4] 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**, 21(6),747-754 (in eng)

[5] Messerle V. E., Ustimenko A. B. et al. Pulverized coal torch combustion in a furnace with plasma-coal system. *Thermophysics and Aeromechanics*, **2010**, 6,435-444 (in eng)

[6] Karpenko E I; Lavrishcheva, Y. I., Messerle V.E. et al. Plasma-supported coal combustion in boiler furnace. *IEEE Transactions on Plasma Science*, **2007**, 6, 1607-1616 (in eng)

[7] Karpenko E.I, Messerle V. E. Ustimenko A.B. et al. Plasma enhancement of combustion of solid fuels. *HIGH ENERGY CHEMISTRY*, **2006**, 2, 111-118 (in eng)

[8] Müller, H. Numerische simulation von Feuerungen. *CFD–Vorlesung, TU. – Braunschweig: IWBT, 1997*, 8–12 (in ger)

[9] Leithner, R. Numerical Simulation. Computational Fluid Dynamics CFD: *Course of Lecture. – Braunschweig, 2006*, 52 (in eng)

[10] 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**, 5, 751-757 (in eng)

[11] Safarik P., Bolegenova, S., Maximov V. et al. Numerical Modeling of Pulverized Coal Combustion at Thermal Power Plant Boilers. *Journal of Thermal Science*, **2015**, 3, 275-282 (in eng)

[12] Messerle V. E., Ustimenko A. B., Bolegenova S.A. et al. Numerical simulation of pulverized coal combustion in a power boiler furnace. *High Temperature*, **2015**, 3, 445-452 (in eng)

[13] Karpenko, E. I., Karpenko, Yu. E., Messerle, V. E. et al. Mathematical modelling of the processes of solid fuel ignition and combustion at combustors of the power boilers. *Theory and Practice of Energetic Materials*, **2007**, VII, 672-683 (in eng)

[14] Bolegenova S.A., Bekmuhamet A., Maximov V.Yu. et al.. Numerical research of aerodynamic characteristics of combustion chamber BKZ-75 mining thermal power station. *Procedia Engineering*, **2012**, 42, 1250-12-59 (in eng)

[15] Bolegenova S., Bekmukhamet A., Maximov Yu.V. et al. Investigation of turbulence characteristics of burning process of the solid fuel in BKZ 420 combustion chamber. *WSEAS Transactions on Heat and Mass Transfer*, **2014**, 9, 39-50 (in eng)

[16] Askarova A., Bolegenova S., Bekmukhamet A. et al. Using 3D modeling technology for investigation of conventional combustion mode of BKZ-420-140-7c combustion chamber. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, **2014**, 9(1), 24-28 (in eng)

[17] Bolegenova S.A., Maximov Yu.V Bekmukhamet A. et al. Numerical modeling of turbulence characteristics of burning process of the solid fuel in BKZ-420-140-7c combustion chamber. *International Journal of Mechanics*, **2014**, 8, 112-122 (in eng)

[18] Aliyarov B.K., Aliyarova M.B. Burning Kazakh coal to the power station and large boilers: experience and problems, Almaty, 2012, 306 p. (in rus)

3-D МОДЕЛЬДЕУ ӘДІСТЕРІМЕН ЖАНУ ПРОЦЕСІНЕ КӨМІРДІҢ ЫЛҒАЛДЫЛЫҒЫНЫҢ ЗИЯНЫН ЗЕРТТЕУ

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

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

Түйін сөздер: көмір ылғалдылығы, шантозанды алау, жану, жылу электростанциясы, жылуассалмасу.

Аннотация. 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. Бұл мақалада Қазақстанның Ақсу МАЭС-ның жану камерасында жағылатын Екібастұз көмірі ылғалдылығының жылуассалмасу процестеріне әсерін зерттеу бойынша сандық модельдеудің нәтижелері келтірілген. Жану камерасының биіктігі бойынша температура, көміртегі тотықтарының және азот тотықтарының шоғырлануы сияқты сипаттамалардың таралу графиктері көрсетілген. Жұмыс әдіснамасын - FLOREAN қолданбалы бағдарламалар пакеті көмегімен жүргізілген математикалық модельдеу әдісі құрды. Осы бағдарламалар пакеті сандық зерттеу негізі үшін

колданылды және оны жаңа GEOM компьютерлік бағдарламасымен толықтырдық. Отын ылғалдылығының артуы температураның орташа мәндерінің және жану камерасындағы көміртегі қосқышқылының шоғырлануының төмендеуіне, сонымен қатар белсенді жану облысындағы көміртегі тотығы СО және азот оксидтері NO шоғырлануының төмендеуіне әкелетіні көрсетілген. Жұмыстың нәтижелері зиянды заттардың шығарылуын төмендету, көмірді "таза" және тиімді қолданатын электростанцияларын құру мақсатында жоғары күлді шаңтозаңды отынды жағу процесін оңтайландыру бойынша ұсыныстар беруге мүмкіндік тудырады.

Поступила 15.03.2016 г.

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 2, Number 306 (2016), 29–34

UDC 001.891.5:536.46:662.6

NUMERICAL MODELING OF FORMATION AND DESTRUCTION OF NO_x BY TWO KINETIC MECHANISMS DURING COMBUSTION OF FOSSIL FUEL IN THE FURNACE OF CHP

A.S. Askarova, S.A. Bolegenova, S.A. Bolegenova, Maximov V.Yu., Beketayeva M.T.

Al-Farabi Kazakh national university, Almaty, Kazakhstan
E-mail: Beketayeva.m@gmail.com

Key words: NO_x concentration, environmental impact, numerical modelling, kinetic mechanism, combustion chamber

Abstract. Thermal power plants, causing the emission of harmful substances such as sulfur and nitrogen oxides in the operation are a major source of adverse impact on the environment. In this paper, using modern methods of 3D computer modeling using two global schemes of formation and destruction of harmful nitrogen compounds NO_x mass transfer processes have been studied in a real industrial furnace boiler BKZ-75. On the basis of these results and their verification it was offered the most appropriate mechanism for NO_x formation during numerical calculation of Kazakh coal combustion.

УДК 001.891.5:536.46:662.6

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ И РАЗЛОЖЕНИЯ NO_x ПО ДВУМ КИНЕТИЧЕСКИМ МЕХАНИЗМАМ ПРИ ГОРЕНИИ УГОЛЬНОГО ТОПЛИВА В ТОПОЧНОЙ КАМЕРЕ ТЭЦ

А.С. Аскарова, С.А. Болегенова, С.А. Болегенова, В.Ю. Максимов, М.Т. Бекетаева

Казахский национальный университет имени аль-Фараби

Ключевые слова: концентрация NO_x, влияние на окружающую среду, численное моделирование, кинетический механизм, топочная камера.

Аннотация. Тепловые электрические станции, обуславливая выбросы вредных веществ как окислы серы и азота при эксплуатации, являются одним из основных источников вредного воздействия на

МАЗМҰНЫ

Теориялық және тәжірибелік зерттеулер

<i>Буртебаев Н., Дүйсебаев А., Керимкулов Ж.К., Алимов Д.К., Юшков А.В., Жолдыбаев Т.К., Садықов Б., Мухамеджанов Е.С., Джансейтов Д.М., Сакута С.Б.</i> 50 және 60 МэВ энергиялы ^3He иондарының ^{14}N ядроларынан серпімді шашырауын зерттеу.....	5
<i>Алтынбеков Ш.</i> Өртекті топырақ консолидациясының бірөлшемді квазисызықты есебін напордың бастапқы градиенті әсерінде шешу әдісі туралы және оның шөгуді анықтау.....	10
<i>Асқарова А.С., Болегенова С.А., Болегенова С.А., Максимов В.Ю., Ергалиева А.Б., Габитова З.Х., Боранбаева А.Е.</i> 3-D Модельдеу әдістерімен жану процесіне көмірдің ылғалдылығының зиянын зерттеу.....	21
<i>Асқарова Ә.С., Болегенова С.Ә., Болегенова С.Ә., Максимов В.Ю., Бекетаева М.Т.</i> ЖЭС жану камерасында көмірдің жануы кезінде NO_x түзілуі мен жойылуын екі кинетикалық механизм бойынша сандық моделдеу.....	29
<i>Асқарова Ә.С., Болегенова С.Ә., Болегенова С.Ә., Максимов В.Ю., Бекетаева М.Т.</i> Жану камерасының қабырға температурасы үшін берілген шекаралық шартының жану процесінің температуралық сипаттамаларына әсерін зерттеу.....	35
<i>Асқарова Ә., Болегенова С., Гороховский М., Оспанова Ш., Нұғьманова А., Утелов С.</i> Өр түрлі сұйық отындардың бүрку, тұтану және жану процестерін зерттеу	40
<i>Сапрыгина М.Б., Байсейтова У.С., Шалданбаев А.Ш., Оразов И.О.</i> Толқын теңдеуінің шартарапты есебінің тұрлауы шешілуі туралы.....	48
<i>Буртебаев Н., Керимкулов Ж.К., Демьянова А.С., Данилов А.Н., Джансейтов Д.М., Жолдыбаев Т.К., Алимов Д.К.</i> Оптикалық және фолдинг модельдер АЯСЫНДА 50 және 60 МЭВ энергияларда ^3He иондарының ^{13}C ядроларында серпімді шашырау процесстерін зерттеу.....	55
<i>Жұмбаев Д.С., Бакирова Э.А.</i> Импульс әсері бар фредгольм интегралдық- дифференциалдық теңдеулер үшін сызықты шеттік есептің бірімәнді шешілімділігінің коэффициенттік белгілері	61
<i>Өтебаев Ұ.Б., Есентаев Қ.Ө., Дархан Н.Д.</i> WEB -формалар құрудың технологиялары.....	72
<i>Жунусова Л.Х., Жунусов К.Х.</i> Тор теңдеулерінің итерациялық әдіспен шығару.....	79
<i>Қабылбеков К.А., Саидахметов П.А., Омаишова Г.Ш., Серикбаева Г.С., Сүйерқұлова Ж.Н.</i> Еркін механикалық тербелістерді зерттеуге арналған компьютерлік зертханалық жұмысты ұйымдастырудың бланкі үлгісі.....	84
<i>Қабылбеков К.А., Саидахметов П.А., Омаишова Г.Ш., Сүттібаева Д.И., Қозыбақова Г.Н.</i> Изобаралық процесті зерттеуге арналған компьютерлік зертханалық жұмысты ұйымдастырудың бланкі үлгісі.....	92
<i>Қабылбеков К.А., Омаишова Г.Ш., Саидахметов П.А., Нұрұллаев М.А., Артыгалин Н.А.</i> Карно циклімен жұмыс атқаратын қозғалтқышты зерттеуге арналған компьютерлік зертханалық жұмысты ұйымдастырудың бланкі үлгісі.....	98
<i>Түгелбаева Г.Т., Канибекова А. Е.</i> Білім негіздерін физика сабақтарына енгізу әдісін жүйелік талдау.....	104
<i>Қойишева Т.К., Қожамқұлова Ж.Ж., Базарбаева А.И., Бегимбетова Х.А.</i> Объектіге-бағытталған жүйе болашақ маманның ақпараттық-логикалық құзыреттілігін қалыптастыру факторы ретінде.....	108
<i>Қойишева Т.К., Байтерекова А.И., Салғараева М.И.</i> Болашақ мұғалімдерді кәсіби дайындауда қолданылатын объектілі-бағдарлы жобалаудың теориялық негіздері.....	116
<i>Литвиненко Н.</i> Бағдарламалық R ортаның C# ортасына біріктірілуі.....	123
<i>Мақышов С.</i> Тұрақты м-туындаған сандар.....	128
<i>Минглибаев М.Ж., Прокопья А.Н., Бекетауов Б.А.</i> Массалары айнымалы шектелген үш дене мәселесінің эволюциялық теңдеуінің нақты шешімдері.....	133
<i>Орынбаев С.А., Молдахметов С.С., Байбутанов Б.К., Ешметов М.Б., Ауесжанов Д.С.</i> Жазықтық-импульстік модуляция негізінде көпдеңгейлі инвертор сатыларының қосылу әдістемелерін зерттеу	139
<i>Сапрыгина М.Б., Шалданбаев А.Ш., Оразов И.О., Байсейтова У.С.</i> Толқын теңдеуінің шартарапты есебінің вөлтерлі болуының үзілді – кесілді шарты.....	147
<i>Сураган Д.</i> Шаттен р-нормасы үшін бір теңсіздік туралы	153
<i>Темирбеков Н.М., Тураров А.К.</i> Газлифт үрдісінің бір өлшемді моделінің сандық шешімі	159
<i>Ахметова С.Т., Шалданбаев А.Ш., Шомабаева М.Т.</i> Аргументі ауытқыған жылу теңдеуінің шекаралық коши-нейман есебіне сәйкес оператордың спектрінің құрамы туралы.....	169
<i>Шомабаева М.Т., Шалданбаев А.Ш., Ахметова С.Т.</i> Аргументі ауытқыған жылу теңдеуінің жарտалай бекітілген шекаралық есебіне сәйкес оператордың үзіксіз спектрі туралы	180
<i>Ұлағатты ұстаз туралы. Шерәлі Біләл.</i>	191

СОДЕРЖАНИЕ

Теоретические и экспериментальные исследования

<i>Буртебаев Н., Дуйсебаев А., Керимкулов Ж.К., Алимов Д.К., Юшков А.В., Жолдыбаев Т.К., Садыков Б., Мухамеджанов Е.С., Джансейтов Д.М., Сакута С.Б.</i> Исследование упругого рассеяния ионов ^3He на ядрах ^{14}N при энергиях 50 и 60 МэВ.....	5
<i>Алтынбеков Ш.</i> О методике решения одномерной квазилинейной задачи консолидации неоднородного грунта с учетом начального градиента напора и определение его осадка.....	10
<i>Аскарова А.С., Болегенова С.А., Болегенова С.А., Максимов В.Ю., Ергалиева А.Б., Габитова З.Х., Боранбаева А.Е.</i> Исследование влияния влажности угля на процесс горения методами 3-d моделирования.....	21
<i>Аскарова А.С., Болегенова С.А., Болегенова С.А., Максимов В.Ю., Бекетаева М.Т.</i> Численное моделирование образования и разложения NO_x по двум кинетическим механизмам при горении угольного топлива в топочной камере ТЭЦ.....	29
<i>Аскарова А.С., Болегенова С.А., Болегенова С.А., Максимов В.Ю., Бекетаева М.Т.</i> Исследование влияния граничного условия для температуры на стенках топочной камеры на температурные характеристики процесса горения.....	35
<i>Аскарова А., Болегенова С., Гороховский М., Оспанова Ш., Нугьманова А., Утелов С.</i> Исследование процессов распыла, воспламенения и горения различного вида жидкого топлива.....	40
<i>Сапрыгина М.Б., Байсейтова У.С., Шалданбаев А.Ш., Оразов И.О.</i> Толкын тендеуінің шартарапты есебінің тұрлаулы шешілуі туралы.....	48
<i>Буртебаев Н., Керимкулов Ж.К., Демьянова А.С., Данилов А.Н., Джансейтов Д.М., Жолдыбаев Т.К., Алимов Д.К.</i> Исследование процессов упругого рассеяния ионов ^3He на ядрах ^{13}C при энергиях 50 и 60 МэВ в рамках оптического и фолдинг моделей.....	55
<i>Джумабаев Д.С., Бакирова Э.А.</i> Коэффициентные признаки однозначной разрешимости линейной краевой задачи для интегро-дифференциальных уравнений фредгольма с импульсными воздействиями.....	61
<i>Утебаев У.Б., Есентаев К.У., Дархан Н.Д.</i> Технология создания web-форм.....	72
<i>Жунусова Л.Х., Жунусов К.Х.</i> Итерационные методы решения сеточных уравнений.....	79
<i>Кабылбеков К.А., Саидахметов П.А., Омашова Г.Ш., Серикбаева Г.С., Суйеркулова Ж.Н.</i> Модель бланка организации компьютерной лабораторной работы по исследованию свободных механических колебаний.....	84
<i>Кабылбеков К.А., Саидахметов П.А., Омашова Г.Ш., Суттибаева Д.И., Козыбакова Г.Н.</i> Модель бланка организации компьютерной лабораторной работы по исследованию изобарического процесса.....	92
<i>Кабылбеков К.А., Омашова Г.Ш., Саидахметов П.А., Нураллаев М.А., Артыгалин Н.А.</i> Модель бланка организации компьютерной лабораторной работы по исследованию двигателя, совершающего цикл Карно.....	98
<i>Түгелбаева Г.Т., Канибекова А. Е.</i> Системное обсуждение способов внедрения в уроки по физике основ знаний по экологии.....	104
<i>Койшиева Т.К., Кожамкулова Ж.Ж., Базарбаева А.И., Бегимбетова Х.А.</i> Объектно-ориентированные системы как фактор формирования информационно-логической компетентности будущих специалистов.....	108
<i>Койшиева Т.К., Байтерекова А.И., Салгараева М.И.</i> Теоретические основы объектно-ориентированного проектирования, применимые для профессиональной подготовки будущих учителей.....	116
<i>Литвиненко Н.</i> Интеграция программной среды R в среду C#.....	123
<i>Макышов С.</i> Неподвижные m-порожденные числа.....	128
<i>Минглибаев М.Ж., Прокопья А.Н., Бекетауов Б.А.</i> Точные решения эволюционных уравнений в ограниченной задаче трех тел с переменными массами.....	133
<i>Орынбаев С.А., Молдахметов С.С., Байбутанов Б.К., Ешметов М.Б., Ауесжанов Д.С.</i> Исследование методик коммутации ступеней многоуровневого инвертора на основе широтно-импульсной модуляции.....	139
<i>Сапрыгина М.Б., Шалданбаев А.Ш., Оразов И.О., Байсейтова У.С.</i> Критерии вольтерровости нелокальной краевой задачи волнового уравнения.....	147
<i>Сураган Д.</i> Об одном неравенстве p-нормы в классе Шаттена.....	153
<i>Темірбеков Н. М., Тураров А. К.</i> Численное решение одномерной модели газлифтного процесса.....	159
<i>Ахметова С.Т., Шалданбаев А.Ш., Шомабаева М.Т.</i> О структуре спектра краевой задачи Коши-неймана для уравнения теплопроводности с отклоняющимся аргументом.....	169
<i>Шомабаева М.Т., Шалданбаев А.Ш., Ахметова С.Т.</i> О непрерывном спектре оператора полужакопленной краевой задачи для уравнения теплопроводности с отклоняющимся аргументом.....	180
<i>Юбилей Ашуралиев Аллаберен</i>	191

CONTENTS

Theoretical and experimental researches

<i>Burtebayev N., Duisebayev A., Kerimkulov Zh.K., Alimov D.K., Yushkov A.V., Zholdybayev T.K., Sadikov B., Mukhamejanov Y.S., Janseitov D.M., Sakuta S.B.</i> Investigation of the elastic scattering of ^3He ions on ^{14}N at energies 50 and 60 MeV.....	5
<i>Altynbekov Sh.</i> On the method of solving one-dimensional quasilinear problem of consolidation of non homogeneous soil with the initial gradient of pressure and determination of its sediment.....	10
<i>Askarova A., Bolegenova S., Bolegenova S., Maximov V., Yergaliyeva A., Gabitova Z., Boranbaeva A.</i> Study of coal moisture on the combustion process by 3d modeling.....	21
<i>Askarova A.S., Bolegenova S.A., Bolegenova S.A., Maximov V.Yu., Beketayeva M.T.</i> Numerical modeling of formation and destruction of NO_x by TWO kinetic mechanisms during combustion of fossil fuel in the furnace of CHP.....	29
<i>Askarova A.S., Bolegenova S.A., Bolegenova S.A., Maximov V.Yu., Beketayeva M.T.</i> Study of the boundary conditions influence for the temperature on the walls of the combustion chamber in the temperature characteristics of the burning process.....	35
<i>Askarova A., Bolegenova S., Gorokhovski M., Ospanova Sh., Nugymanova A., Utelov S.</i> Investigation of atomization, ignition and combustion processes of different types of liquid fuel.....	40
<i>Saprygina M.B., Bayseytova U.S., Shaldanbayev A.Sh., Orazov I.O.</i> About regular resolvability of nonlocal boundary value problem of the wave equation.....	48
<i>Burtebayev N., Kerimkulov Zh.K., Demyanova A.S., Danilov A.N., Janseitov D.M., Zholdybayev T.K., Alimov D.K.</i> Investigation of elastic scattering of ^3He ions from ^{13}C nuclei at 50 and 60 MeV in optical and folding model.....	55
<i>Dzhumabaev D.S., Bakirova E.A.</i> Coefficient conditions for the unique solvability of linear boundary value problem for fredholm integro-differential equation with impulse effects.....	61
<i>Utebaev U.B., Yessentayev K.U., Darkhan N.D.</i> Technology of creation of web-form.....	72
<i>Zhunussova L., Zhunussov K.</i> Iterative methods for solving difference equations.....	79
<i>Kabyrbekov K.A., Saidakhmetov P.A., Omashova G.SH., Serikbaeva G.S., Suyerkulova ZH.N.</i> Model of the form of the organisation of computer laboratory operation of the free mechanical oscillations.....	84
<i>Kabyrbekov K.A., Saidakhmetov P.A., Omashova G.SH., Suttibaeva D.I., Kozybakova G.N.</i> Model of the form of the organisation of computer laboratory operation of isobaric process.....	92
<i>Kabyrbekov K.A., Omashova G.SH., Saidakhmetov P.A., Nurullaev M.A., Artygalin N.A.</i> Model of the form of the organization of computer laboratory operation on examination of the drive making the carnot cycle.....	98
<i>Tygelbaeva G.T., Kanibekova A. E.</i> System discussion of methods of introduction in lessons on physics bases of knowledge on ecology.....	104
<i>Koishieva T.K., Kozhamkulova Zh.Zh., Bazarbaeva A.I., Begimbetova A.</i> Object-oriented system as the factor of formation of information-logical competence of future professionals.....	108
<i>Koishieva T.K., Baiterekova A.I., Salgaraeva M.I.</i> Theoretical bases of object-oriented design, applicable for vocational training of future teachers.....	116
<i>Litvinenko N.</i> Integration of R software environment in C# software environment.....	123
<i>Makyshov S.</i> Stationary m-digitaddition numbers.....	128
<i>Minglibayev M.Dzh., Prokopenya A.N., Beketauov B.A.</i> Exact solutions of evolution equations in restricted three-body problem with variable mass.....	133
<i>Orynbayev S.A., Moldakhmetov S.S., Baibutanov B.K., Jeshmetov M.B., Aueszhanov D.S.</i> Methods of switching angles based on pulse width modulation for multilevel inverter.....	139
<i>Saprygina M.B., Shaldanbayev A.Sh., Orazov I.O., Bayseytova U.S.</i> Criteria Volterra of nonlocal boundary value problem of the wave equation.....	147
<i>Suragan D.</i> On an inequality for schatten P -norms.....	153
<i>Temirbekov N. M., Turarov A. K.</i> Numerical solution of the one dimensional model of gas-lift process.....	159
<i>Achmetova S.T., Shaldanbayev A.Sh., Shomabayeva M. T.</i> About structure of the range of the regional task of cauchy - neumann for the heat conductivity equation with the deviating argument.....	169
<i>Shomanbayeva M. T., Shaldanbayev A.Sh., Achmetova S.T.</i> About the continuous range of the operator of the semi-fixed regional task for the heat conductivity equation with the deviating argument.....	180
Anniversary of Ashuraliev Allaberen.....	191