

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), 35–39

УДК 001.891.5:536.46:662.6

STUDY OF THE BOUNDARY CONDITIONS INFLUENCE FOR THE TEMPERATURE ON THE WALLS OF THE COMBUSTION CHAMBER IN THE TEMPERATURE CHARACTERISTICS OF THE BURNING PROCESS**A.S. Askarova, S.A. Bolegenova, S.A. Bolegenova, V.Yu. Maximov, M.T. Beketayeva**

Al-Farabi Kazakh national university, Almaty, Kazakhstan

E-mail: Beketayeva.m@gmail.com**Key words:** numerical modelling, combustion, boundary conditions for the temperature on the walls

Abstract. To select a more appropriate model with the optimal boundary condition for the temperature of the walls of the combustion chamber, correctly describes the processes of heat transfer in the combustion chamber of the boiler BKZ-75 Shakhtinskaya CHP during combustion in it the coal of high ash content, it was carried out computational experiments on the distribution of temperature fields at the two boundary conditions. Two-dimensional and three-dimensional interpretations of temperature characteristics in the chamber were obtained. It is proved that getting better adequate temperature data close to full-scale, possibly using the conditions of impermanence walls of the combustion chamber.

УДК 001.891.5:536.46:662.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГРАНИЧНОГО УСЛОВИЯ ДЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА СТЕНКАХ ТОПОЧНОЙ КАМЕРЫ НА ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ**А.С. Аскарова, С.А. Болегенова, С.А. Болегенова, В.Ю. Максимов, М.Т. Бекетаева**

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы

Ключевые слова: численное моделирование, горение, граничное условие для температуры стенок

Аннотация. Для выбора более адекватной модели с оптимальным граничным условием для температуры стенок топочной камеры, правильно описывающей процессы теплопереноса в топочной камере котла БКЗ-75 Шахтинской ТЭЦ при сжигании в нем угля высокой зольности, были проведены вычислительные эксперименты по исследованию распределения температурных полей при двух граничных условиях. Получены двумерные и трехмерные интерпретации температурных характеристик в объеме камеры. Доказано, что получение более адекватных температурных данных, близких к натурным, возможно при использовании условия непостоянства стенок топочной камеры.

Вычислительные эксперименты базируются на математических моделях физического процесса, которые состоят из системы дифференциальных уравнений, алгебраических замыкающих соотношений и краевых (начальных и граничных) условий [1-3]. Определение соответствующих граничных условий, имеющие адекватную физическую постановку задачи, весьма нелегко. Неправильное граничное условие для температуры стенок камеры в топочном объеме котла при вычислительных расчетах может дать ошибочные результаты. Недостаточная изученность определения поведения теплового потока и процессов массопереноса при сжигании

пылеугольного топлива для различных граничных условий температуры на стенках камеры делает акцент на выбор реалистичной модели почти произвольным.

Для проведения вычислительных экспериментов с применением 3D моделирования была выбрана топочная камера котла БКЗ-75, эксплуатирующая в Шахтинской ТЭЦ. В качестве основы для численных расчетов использовался компьютерный пакет прикладных программ FLOREAN [4-5], который широко используется при исследованиях в области процессов высокорекреационных течений в камерах сгорания [6-10].

Для проведения вычислительных экспериментов была построена геометрия исследуемого объекта согласно реальной схеме, а также была составлена его конечно-разностная сетка, которая имеет шаги по осям X, Y, Z: 59×32×67, что составляет 126 496 контрольных объемов.

Конвективный теплообмен между горячим топливо-воздушным потоком и стенкой при заданной температуре определяется течением в пристенной области [11-13]. Для адиабатических стенок (температура стенок топочной камеры постоянна) поток тепла q_w равен нулю ($q_w = 0$) и в этом случае используются краевые условия как в плоскости симметрии.

В случае теплообмена между стенкой и реагирующим потоком можно задавать температуру стенки или тепловой поток (при задаче, когда температура стенки топочной камеры переменная). При переменной температуре стенки топочной камеры тепловой поток \dot{q} можно рассчитать по формуле:

$$\dot{q} = \underbrace{\alpha(T_{FG} - T_{Surf})}_{\text{конвекция}} + \underbrace{C_{12}(T_{FG}^4 - T_{Surf}^4)}_{\text{радиация}}, \quad (6)$$

где $C_{12} = \varepsilon_{12}\sigma$, T_{FG} – температура дымовых газов, T_{Surf} – температура поверхности стенок камеры, α – коэффициент переноса тепла конвекцией, Вт/м²·К, ε_{12} – излучательная способность стенки, σ – постоянная Больцмана, Вт/м²·К⁴.

В численных расчетах температуру поверхности стенки камеры T_{surf} можно вычислить следующим образом:

$$\dot{q} = k(T_{surf} - T_{steam}), \quad (7)$$

$$T_{surf} = \frac{\dot{q}}{k} + T_{steam}, \quad (8)$$

здесь k – теплопроводность между стенками и трубопроводами, Вт/м²·К.

Температура поверхностей стенки T_{surf} топочной камеры влияет на поток тепла \dot{q} , поэтому для ее расчета выполняется процедура итерации:

- а) расчет потока тепла;
- б) расчет температуры поверхности T_{surf} ;
- в) перерасчет потока тепла с новым значением температуры поверхности;
- г) перерасчет новой температуры поверхности T_{surf} .

Далее представлены результаты численного моделирования по исследованию влияния граничного условия для температуры стенки.

На рисунке 1 представлены графики распределения максимальных, минимальных и средних значений температуры по высоте топочного объема котла БКЗ-75 для двух случаев изменения граничного условия для температуры стенок топки. Минимальные значения температур в области горелок для двух случаев граничных условий обусловлены низкой температурой вдуваемой аэросмеси (140°С). Как видно из графиков изменение граничных условий для температуры стенок значительно влияет на характер распределения температуры в топочной камере.

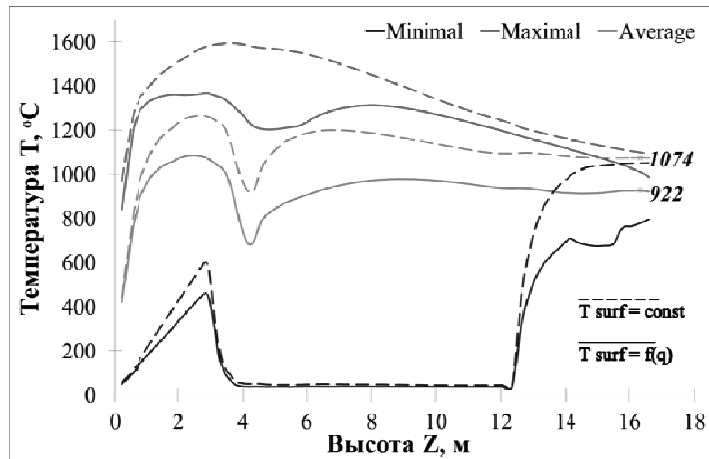


Рисунок 1 – Распределение температуры по высоте топочной камеры котла БКЗ-75 при двух граничных условиях для температуры стенок

Из анализа рисунка 1 по средним значениям температуры T по высоте топки, видно, что разница для двух случаев равна примерно $\sim 152^{\circ}\text{C}$, что составляет порядка 14%. Значительные отличия в распределениях температуры возникают в областях расположения горелочных устройств и далее по длине факела в направлении к выходу из топочного пространства. Это объясняется тем, что при вдувании аэросмеси из горелок, воспламенении топлива, его горении часть возникающего тепла отдается стенкам топочной камеры, тем самым температура все время меняется. За счет отсутствия теплообмена со средой в экранных трубах при условии поддержания температуры стенок постоянной, уровень турбулентных пульсаций растет по всему объему топочного устройства, тем самым повышая температуру.

По мере продвижения к выходу из топочного пространства, физические процессы с химическими преобразованиями между горячими газами продуктов сгорания и окислителем ослабевают, что приводит к понижению температуры на выходе из топки. Тем самым на выходе из топочного пространства температура в случае с переменной температурой стенок камеры имеет среднее значение, равное 922°C , а в случае с постоянной температурой стенок, среднее значение температуры равно 1074°C .

Анализируя трехмерные распределения температуры на рисунке 2, можно сделать аналогичный вывод: температура во всех выбранных сечениях топочной камеры по значению, которое можно определить по шкале температур, всюду выше для граничных условий, когда температура стенок камеры поддерживается постоянной.

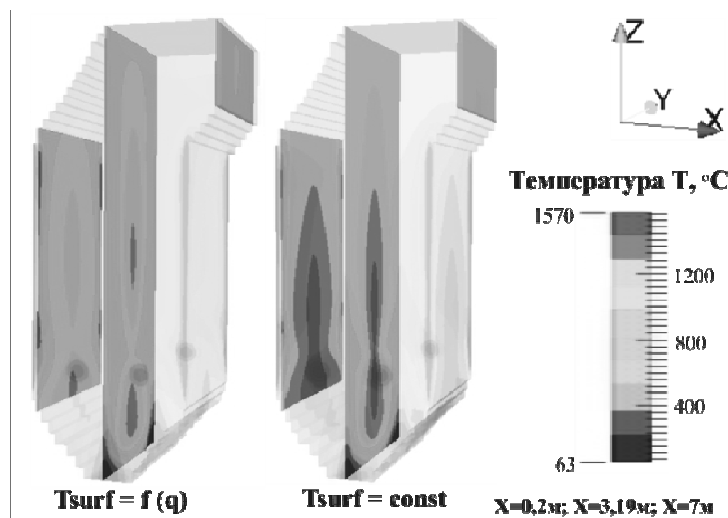


Рисунок 2 – Трехмерные распределения температуры в продольных сечениях топочной камеры котла БКЗ-75

Для выбора граничного условия для температуры стенок топочной камеры, хорошо описывающего реальный технологический процесс в условиях, приближенных к ТЭЦ, на рисунке 3 приведена верификация результатов численного моделирования с теоретически рассчитанным значением [14] температуры на выходе из топочной камеры котла БКЗ-75. Значение температуры на выходе из камеры сгорания при вычислительном эксперименте равно $T=922^{\circ}\text{C}$, а теоретически рассчитанное значение для котла БКЗ-75 равно $T=968^{\circ}\text{C}$, что подтверждает правильность использования в вычислительных экспериментах граничного условия о непостоянстве температуры стенок камеры.

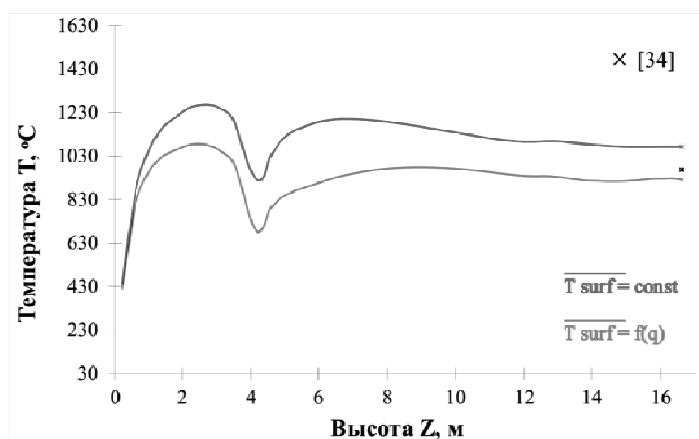


Рисунок 3 – Сравнение результатов вычислительного эксперимента в топочной камере котла БКЗ-75 с теоретически рассчитанным значением

Разность теоретически рассчитанного значения на выходе из топки с результатом вычислительного эксперимента составляет всего $\sim 4,6\%$ для граничного условия, когда температура стенок камеры переменная. Однако, при фиксированной температуре поверхности стен топочной камеры для проведения вычислительного эксперимента требуется меньше машинного времени. Это означает, что понижаются и требования к мощности вычислительной техники (частота процессоров и оперативная память компьютера).

ЛИТЕРАТУРА

- [18] Pauker W. Creating data sets for Florean using the tool PREPROZ. – Braunschweig: IWBT, 1997.
- [19] Leithner R. Numerical Simulation. Computational Fluid Dynamics CFD: Course of Lecture. – Braunschweig: IWBT, 2006.
- [20] Askarova A.S., Messerle V.E., Ustimenko A B. etc. Numerical Simulation of Pulverized Coal Combustion in a Power Boiler Furnace // High Temperature. 2015. V. 53. № 3. P. 445.
- [21] Müller H. Numerische simulation von Feuerungen. CFD-Vorlesung. – Braunschweig: IWBT, 1997.
- [22] Müller H. Numerische Simulation von Feuerungen. CFD-Vorlesung. – Braunschweig: IWBT, 1997.
- [23] Maximov Yu.V., Beketayeva M., Ospanova Sh. 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. V. 9. P. 39.
- [24] Bolegenova S.A., Beketayeva M.T., Gabitova Z. etc. Computational Method for Investigation of Solid Fuel Combustion in Combustion Chambers of a Heat Power Plant // High Temperature. 2015. V. 53. № 5. P. 751.
- [25] Safarik P., Maximov V., Beketayeva M.T. et al. Numerical Modeling of Pulverized Coal Combustion at Thermal Power Plant Boilers // Journal of Thermal Science. 2015. V. 24. Iss. 3. P. 275.
- [26] Lavrishcheva Ye.I., Karpenko E.I., Ustimenko A.B. etc. Plasma-supported coal combustion in boiler furnace // IEEE Transactions on Plasma Science, 2007. V. 35. Iss. 6. P.1607.
- [27] Askarowa A., Buchmann M.A. Structure of the flame of fluidized-bed burners and combustion processes of high-ash coal // 18th Dutch/German Conference on Flames - Combustion and Incineration. – Delft, 1997. V. 1313. P. 241.
- [28] Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. – М.: ИЛ, 1969.
- [29] Vockrodt S., Leithner R. etc. Firing technique measures for increased efficiency and minimization of toxic emissions in Kasakh coal firing // Combustion and incineration. 1999. V. 1492. P. 93.
- [30] Leithner R., Müller H. CFD studies for boilers // Second M.I.T. Conference on Computational Fluid and Solid Mechanics – Cambridge, 2003. P.172.
- [31] Тепловой расчет котлов: Нормативный метод. – СПб.: Изд. АООТ "НПО ЦКТИ", 1998. – 270 с.

REFERENCES

- [32] Pauker W. Creating data sets for Florean using the tool PREPROZ. Braunschweig: IWBT, **1997** (in Eng.).
- [33] Leithner R. Numerical Simulation. Computational Fluid Dynamics CFD: Course of Lecture. Braunschweig. IWBT, **2006** (in Eng.).
- [34] Askarova A.S., Messerle V.E., Ustimenko A. B. etc. Numerical Simulation of Pulverized Coal Combustion in a Power Boiler Furnace. *High Temperature*, **2015**, 53(3), 445-452 (in Eng.).
- [35] Müller H. Numerische simulation von Feuerungen. CFD-Vorlesung. Braunschweig: IWBT, **1997** (in Eng.).
- [36] Müller H. Numerische Simulation von Feuerungen. CFD-Vorlesung. Braunschweig: IWBT, **1997** (in Eng.).
- [37] Maximov Yu.V., Beketayeva M., Ospanova Sh. 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.).
- [38] Bolegenova S.A., Beketayeva M.T., Gabitova Z. etc. Computational Method for Investigation of Solid Fuel Combustion in Combustion Chambers of a Heat Power Plant. *High Temperature*, **2015**, 53 (5), 751-757 (in Eng.).
- [39] Safarik P., Maximov V., Beketayeva M.T. et al. Numerical Modeling of Pulverized Coal Combustion at Thermal Power Plant Boilers. *Journal of Thermal Science*, **2015**, 24(3), 275-282 (in Eng.).
- [40] Lavrishcheva Ye.I., Karpenko E.I., Ustimenko A.B. etc. Plasma-supported coal combustion in boiler furnace. *IEEE Transactions on Plasma Science*, **2007**, 35(6), 1607-1616 (in Eng.).
- [41] Askarowa A., Buchmann M.A. Structure of the flame of fluidized-bed burners and combustion processes of high-ash coal. 18th Dutch/German Conference on Flames - Combustion and Incineration. Delft, **1997**, 1313, 241-244 (in Eng.).
- [42] Shlihting G. Teoriya pogramichnogo sloya. M.: IL, **1969**. (in Russ.).
- [43] Vockrodt S., Leithner R. etc. Firing technique measures for increased efficiency and minimization of toxic emissions in Kasakh coal firing. *Combustion and incineration*, **1999**, 1492, 93 (in Eng.).
- [44] Leithner R., Müller H. CFD studies for boilers. Second M.I.T. Conference on Computational Fluid and Solid Mechanics. Cambridge, **2003**, 172 p. (in Eng.).
- [45] [14] Thermal design of boiler: Standard method. SPb.: Izd. AOOT "NPO CKTI", **1998**, 270 p. (in Russ.).

**ЖАНУ КАМЕРАСЫНЫҢ ҚАБЫРҒА ТЕМПЕРАТУРАСЫ ҮШІН БЕРІЛГЕН
ШЕКАРАЛЫҚ ШАРТЫНЫҢ ЖАНУ ПРОЦЕСІНІҢ
ТЕМПЕРАТУРАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫНА ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ**

Ә.С. Асқарова, С.Ә. Бөлегенова, С.Ә. Бөлегенова, В.Ю. Максимов, М.Т. Бекетаева

әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті

Түйін сөздер: сандық моделдеу, жану, қабырға температурасы үшін шекаралық шарт.

Аннотация. Шахтинск ЖЭО-ның БҚЗ-75 қазандығы жану камерасының ішінде күлділігі жоғары отынды жағу кезінде болатын жылу тасымалдану процестерін дұрыс сипаттайтын камера қабырғасы температурасы үшін оптималды шекаралық шарт болып табылатын моделді таңдау үшін екі түрлі шарттарда температуралық өрістердің таралуын зерттеу үшін сандық тәжірибелер жүргізілді. Камера көлемі ішінде температуралық сипаттамалардың екіөлшемді және үшөлшемді интерпретациялары алынды. Жану камерасының қабырғасы үшін температураның тұрақсыздық шартын қолдану арқылы алынған температуралық мәліметтер реалдылыққа жақынырақ екені дәлелденді.

Поступила 15.03.2016 г.

МАЗМҰНЫ

Теориялық және тәжірибелік зерттеулер

<i>Буртебаев Н., Дүйсебаев 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> 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>Қойишьева Т.К., Қожамақұлова Ж.Ж., Базарбаева А.И., Бегимбетова Х.А.</i> Объектіге-бағытталған жүйе болашақ маманның ақпараттық-логикалық құзыреттілігін қалыптастыру факторы ретінде.....	108
<i>Қойишьева 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