

## FLOREAN БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ҚҰРАЛЫ АРҚЫЛЫ БКЗ-420-140-7С ЖАНУ ҚАЗАНДЫҒЫНДАҒЫ ЖЫЛУМАССА ТАСЫМАЛЫ ПРОЦЕСТЕРІН ЗЕРТТЕУ

**Аннотация.** Бұл ғылыми зерттеу жұмысында сандық әдістерді қолдану арқылы күрделі жану процес-терін толыққанды мүмкіндікке ие халықаралық стандарттар негізінде құрылған FLOEARN бағдарлама арқылы Алматы ЖЭС-2-ның БКЗ-420 жану қазандығында өтетін процестердің жылдамдық, температура, қысым және т.б. сандық мәліметтерін алу және жылу электр станциясының қазандығынан атмосфераға шығатын СО және СО<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> сияқты зиянды қалдықтардың шығу мөлшері зерттелінді.

**Тірек сөздер:** жану камерасы, жанарғылар, тозаңды күй, күлділік, шаңгазды қалдықтар, азот және көмір-тегі тотықтары, жану, отын, тотықтырғыш, компьютерлік үлгілеу, 3D сандық үлгілеу, есептеу тәжірибесі, турбуленттілік үлгісі, активация энергиясы.

**Ключевые слова:** топочная камера, горелки, пылевидноесостояние, зольность, пылегазовыевыбросы, оксидыазота и углерода, горение, топливо, окислитель, компьютерноемоделирование, трехмерноечисленное моделирование, вычислительный эксперимент, модель турбулентности, энергия активации, модель турбулентности, энергия активации.

**Keywords:** combustionchamber, burners, pulverizedstate, ash, dustandgasemissions, nitrogenandcarbonoxides, combustion, fuel, oxidizer, computersimulation, three-dimensionalnumericalsimulation, numericalsimulation, turbulencemodel, activationenergy.

Мемлекеттің әл-ауқаты сол елдің тұтынатын энергия көлемімен анықталады. Жылу энергетика мен экология саласында табиғи энергетикалық көздердің таусылуы мен қоршаған ортаның ластануы мәселелеріне байланысты энергия өндірудің тиімділігін жоғарылату және экологиялық мәселелердің шешімін табу – кез келген маманның маңызды мақсаты болып табылады [1].

ҚР-да, негізгі міндеті қоршаған ортаның ластану деңгейін төмендетуге және қоршаған ортаны тұрақтандыруға арналған шаралар жиынтығын өндіруге бағытталған, «2009–2014 жылдарға Қазақстан Республикасының қоршаған ортаны қорғау» туралы бағдарламасы қабылданған.

Қазіргі таңда Қазақстанда 85% электр энергиясын, негізгі отыны көмір болып табылатын, жылу электр станциялары (ЖЭС) өндіреді. Бұл ЖЭС-терде жанатын көмірдің 80%-ы төменгі сортты болып табылады. Олардың қалдығы – 50 %.

Шаңкөмірдің жануын жетілдіру және отынның балама түрлерін қолдану – жану қазандықта-рындағы пайдаланылған газдардың зиянды бөлшектерін шығару бойынша қатаң экологиялық талаптарды орындау болып табылады. Сонымен қазіргі кезеңде зиянды шаң газ шығаруларын

қалыптастырудың негізгі процестерін сипаттайтын технология ойлап табу және есептеу жүргізу өте маңызды.

Қатты отындар жануының физика-химиялық процестерінің сипатын зерттеу үшін біз жанудың сандық үлгісін (Computational Combustion) – есептеу гидродинамикасының (Computational Fluid Dynamics, CFD) өте күрделі ғылыми бағыты ретінде сандық есептеулер жүргіздік. Таңдап алынған Алматы ЖЭС-2-ның БКЗ-420 жану қазандығында өтетін жылумасса тасымалы процестеріндегі жылдамдық, температура және басқа негізгі компоненттердің концентрациясының қазандық бойымен таралуын FLOREAN көмегімен сандық есептеу арқылы алынған сандық мәліметтер базасын PARAVIEW көмегімен диаграммалық тұрғыдан зерттейміз.

Физика-химиялық процестер болған жағдайда жылумасса тасымалын үлгілеу үшін масса, жану өнімдерінің концентрациялары, импульс, энергияның фундаментальды сақталу заңдары қолданылады. Нақты жағдайларда тозақөмірлі алаудың жануы – математикалық талдау үшін күрделі физика-химиялық процесс. Ауа мен отындық газдарының ағынында бүркілген отындарды жағуға арналған отындық құрылғыларында өзара байланысқан бірқатар құбылыстар өтеді: күрделі аэродинамика, химиялық компоненттердің концентрациясы мен газдар температурасының өзгерісі жағдайларындағы көмір тозаңының жану процесі, алаудың отындықтың шектеуші беттерімен радиациялық жылу алмасуы. Бірмезгілде көміртегі, азот пен күкірт тотықтарының, коррозиялық қауіпті және канцерогенді заттардың түзілу процестері өтеді, отынның минералды бөлігі түрленеді [2].

Тозақөмірлі күйдегі қатты отынды жағу процесін сандық үлгілеу химиялық реакцияларды ескергендегі үшөлшемді тасымал теңдеулері негізінде жүргізілді. Айнымалы физикалық қасиеттерге ие сұйықтың 3-өлшемді қозғалысының жалпы жағдайында жылдамдық, температура мен концентрация өрістері мынадай дифференциалдық теңдеулер жүйесімен сипатталады:

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} = - \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i), \quad (1)$$

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

$$\frac{\partial}{\partial \tau} (\rho h) = - \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i h) - \frac{\partial q_i^{res}}{\partial x_j} + \frac{\partial p}{\partial \tau} + u_i \frac{\partial p}{\partial x_i} + \tau_{ij} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} + s_q, \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial \tau} (\rho c_\beta) = - \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho c_\beta u_i) + \frac{\partial j_i}{\partial x_i} + R_\beta, \quad (4)$$

мұндағы  $i=1, 2, 3; j=1, 2, 3; \beta=1, 2, 3, \dots, N$ .

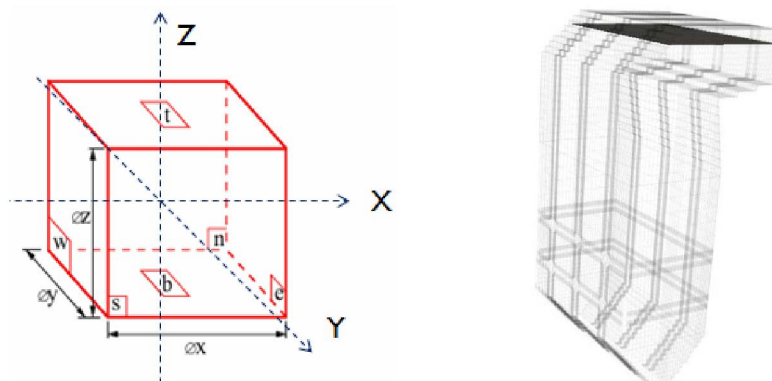
Жоғарыда аталған жану құбылыстарын сипаттайтын Навье-Стокс теңдеулер жүйесін FLOREAN бағдарламалық құралы арқылы БКЗ-420-140-7С жану қазандығындағы жылу масса тасымалы процестерін зерттеу үшін 1-суретте көрсетілгендей бақыланған көлем әдісі арқылы шешеміз.

БКЗ-420 қазандығының отындық камерасы 1-суретте бейнеленген түрге ие. Бүркілген отын отындық кеңістігіне жанарғылар арқылы ауа ағынымен беріледі. Ол үшін отындық камерасы қазандықтың жақтауларында бір сызықтың бойында алтаудан қарама-қарсы орналасқан 6 турбуленттік жанарғылармен қамтамасыз етілген.

Қазандықтың өнімділігі 67347 кг/сағ құрайды. Ондағы әрбір жанарғы арқылы ауа шығынын мына өрнектен анықтауға болады:

$$V_i = \alpha_r V_0 V_i = 1.05 \times 4.508 \times 5612.25 = 26565 \text{ нм}^3/\text{сағ},$$

мұндағы  $\alpha=1.05$ -жанарғыдағы ауаның асқын коэффициенті,  $V_0 = 4.508 \text{ нм}^3/\text{кг}$  – 1 кг отынды жағу үшін теориялық тұрғыдан қажетті ауа көлемінің мәні. Төменнен берілетін ауаның жылдамдығы үрленетін ауа жану камерасына жалпы берілетін ауаның 10%-ын құрайды деген шарттан анықталады. БКЗ-420-140 қазандығының техникалық сипаттамалары және ондағы Екібастұз көмірін жағу процесін үлгілеу және жетілдіруге арналған бастапқы мәліметтер 1-кестеде келтірілген, ал көмірдің құрамы 2-кестеде берілген [3].



1-сурет – Бақыланған көлем және БКЗ-420 қазандығының сұлбасы

1-кесте – БКЗ-420 отындық камерасының сипаттамасы

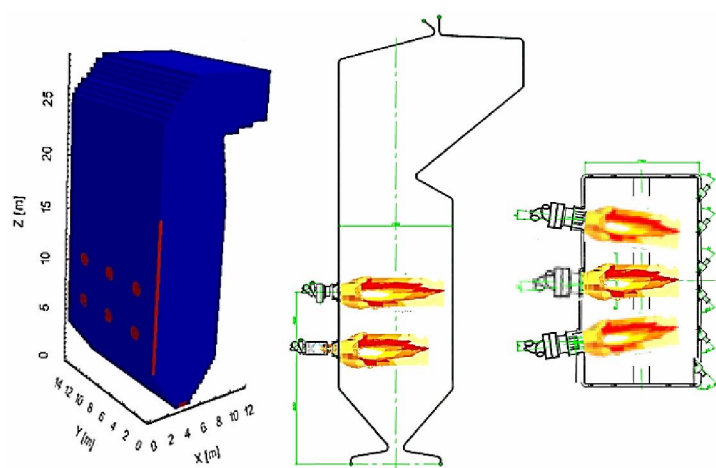
Шаманың атауы	Белгіленуі	Өлшемділігі	Мәні
1. Отын шығыны	$B$	кг/сағ	67 347
2. Жанарғы арқылы отын шығыны	$B_i$	кг.сағ	5612.25
3. Отынның жылу бөлгіштік қабілеті	$Q_N^P$	ккал/кг	4050
4. Қазандықтың қуаты	$Q$	kw	319196
5. Отындықтың тереңдігі	$A$	м	9,024
6. Отындықтың ені	$B$	м	15,744
7. Отындықтың биіктігі	$H$	м	20,9
8. Жанарғылар деңгейлерінің саны	$n_{жр}$	дана	1
9. Жанарғылардың саны	$Z_T$	дана	12
10. Жанарғының диаметрі	$D_T$	м	1.05
11. Аэрокоспаның температурасы	$t_a$	$^{\circ}C$	110
12. Жанарғылардағы ауаның температурасы	$t_b$	$^{\circ}C$	350
13. Жанарғылардағы ауаның шектен тыс артықшылық коэффициенті	$\alpha_T$		1.05
14. Жанарғының шығысындағы ауаның жылдамдығы	$V_T$	нм/с м/с	8.531 19.468
15. Жанарғыдағы жылдамдықтың шеңберлік құраушысының жылдамдығы	$V_{\phi}$	нм/с м/с	6.8 15.518

2-кесте – Отынның сипаттамасы

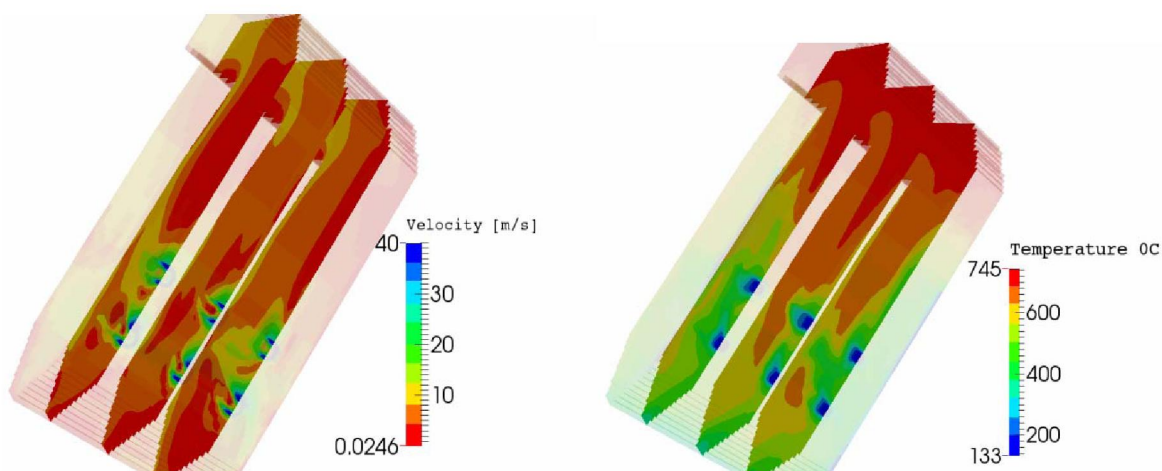
Отынның құрамы мен сипаттамасы	ЕКІБАСТҰЗ КӨМІРІ								
	$W^P$	$A^P$	$S^P$	$C^P$	$H^P$	$O^P$	$N^P$	$V^P$	$Q_{H}^P/10^4$ (kJ/kg)
Құрамы(%)	8.0	36.8	0.8	44.2	2.9	6.5	0.8	30	1.697

БКЗ-420 қазандығының бу шығару қуаты 420 т/сағ-қа тең, осы негізде оның сандық үлгісі есептелінді. Пештің беткі екі жағы екі деңгеймен қамтылған, оның әрқайсысында алты құйынды шаңкөмірлі жанарғылар орналасқан. Қазандықта құрамында 40% күл, ылғалдылығы 25%, ұшпа заттары 24% және ең жоғарғы жану жылуы 16 750 кДж/кг болатын төменгі сұрыпты, күлділігі жоғары Екібастұз көмірі жанады. Отын қалдығының мөлшері  $R90 = 15\%$  тең болды.

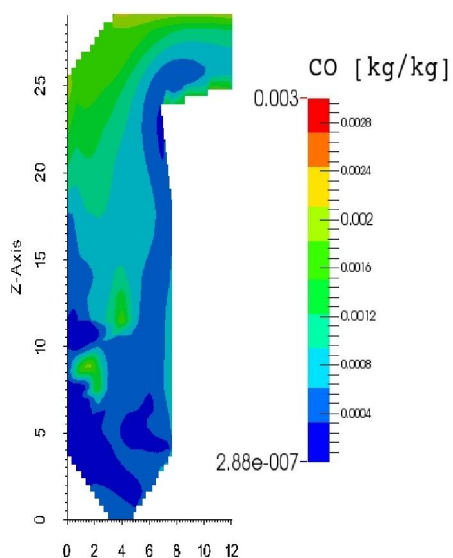
2-суретте көрсетілгендей, Алматы ЖЭС-2 БКЗ-420 жану қазандығының 6 жанарғысы бар, олар екі деңгейде орналасқан. Жоғарғы деңгей  $Z$  өсі бойында 10,75 м-де 3 жанарғы орналасқан, ал төменгі деңгей  $Z$  өсі бойында 6,85 м-де 3 жанарғы орналасқан, әр деңгейдегі екі шеткі жанарғы ортадағы жанарғыға  $8^{\circ}$  бұрыш жасай орналасқан. Қазандық бойымен бөлшек ағыны жылдамдығының таралуы  $Y$  өсі бойынша жанарғылар  $Y_1=2.85$  м,  $Y_2=7.2$  м,  $Y_3=11.69$  м кесіндісінде



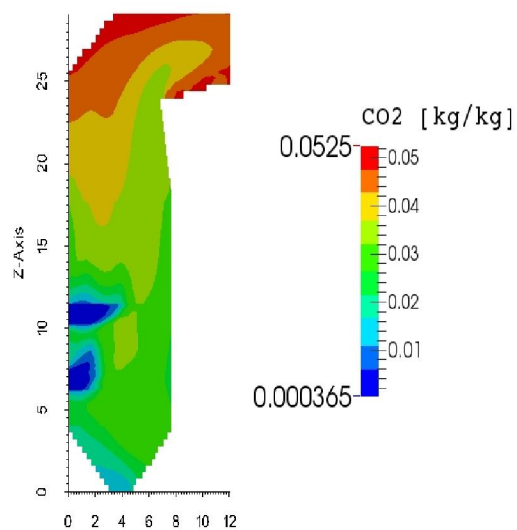
2-сурет – Алматы ЖЭС-2 БКЗ-420 жану қазандығының сұлбасы



3-сурет – БКЗ-420 жану қазандығының  $Y_1=2.85$  m,  $Y_2=7.2$  m,  $Y_3=11.69$  m кесіндісіндегі жылдамдық және температураның таралуы



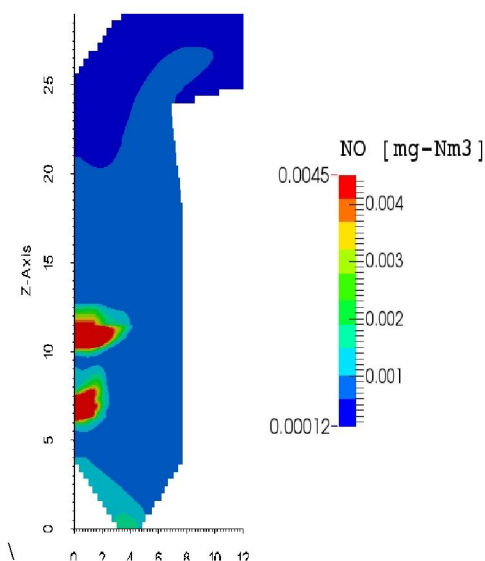
4-сурет – Қазандық бойымен  $Y=7.21$  m кесіндісі бойынша CO концентрациясының таралуы



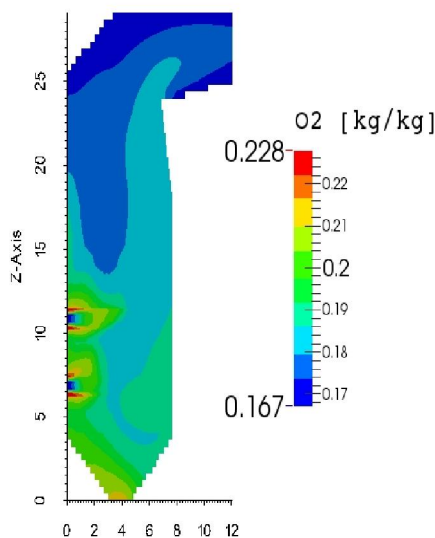
5-сурет – Қазандық бойымен  $Y=7.21$  m кесіндісі бойынша CO<sub>2</sub> концентрациясының таралуы

бейнеленген (3-сурет). Жылдамдықтың ең жоғарғы мәні 40 м/с сәйкес келеді, аталған шама жанарғының кіріс бөлігіне сәйкес. Екі деңгейлі жанарғылардың жоғарғы бөлігіндегі жылдамдық мәні төменгі жақтаудағы жылдамдықпен салыстырғанда жоғары болатындығын аңғаруға болады. Ал қазандық камерасының шығысындағы температура мәні 745 °С құрайды. Ең төменгі температура жанарғылардың кіріс бөлігінде 133 °С құрайды.  $Y_1=2.85$  m,  $Y_3=11.69$  m кесіндісіндегі жылудың таралу мөлшері  $Y_2=7.2$  m кесіндісіндегі жылу мәнінен жоғары болады.

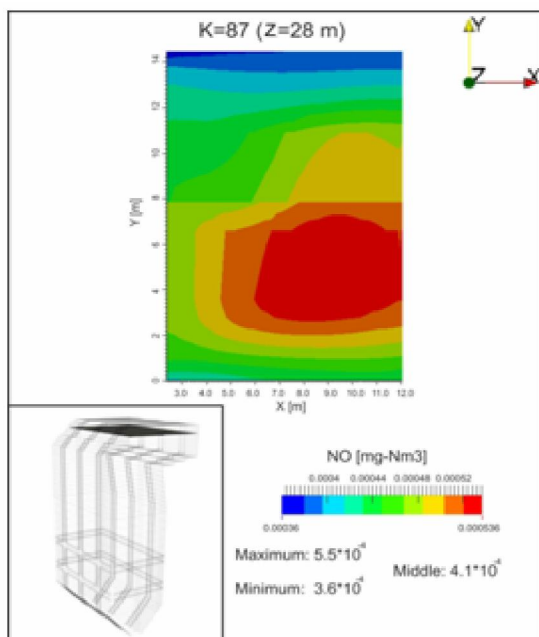
4, 5-суреттерде көрсетілгендей, БКЗ-420-140-7С жану қазандығының бойлық қимасы бойынша  $Y=7.2$ m кесіндісіндегі СО және СО<sub>2</sub> газдарының концентрацияларының таралу графигі алынды. СО газы жанарғы тұсында көп мөлшерде бөлінеді, ал СО<sub>2</sub> газы керісінше аз, мұның себебі – отындықтан кірген отын ірі мөлшерде термохимиялық реакцияға түседі де, СО шала тотықты газ ретінде бөлініп шығады. Ал қазандықтың шығысында СО газымен салыстырғанда СО<sub>2</sub>-нің концентрациясы көп мөлшерде шығады. Қазандық ішінде шала жанған СО газы бірте-бірте жоғары температураның әсерінен СО<sub>2</sub> газына айналады.



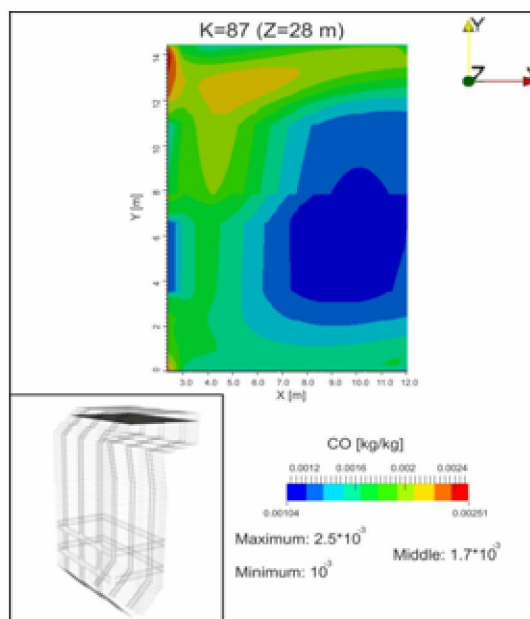
6-сурет – Қазандық бойымен  $Y=7.21$ m кесіндісі бойынша NO газының концентрациясының таралуы



7-сурет – Қазандық бойымен  $Y=7.21$ m кесіндісі бойынша O<sub>2</sub> газының концентрациясының таралуы



8-сурет – БКЗ-420 жану қазандығының шығысындағы NO концентрациясының таралуы



9-сурет – БКЗ-420 жану қазандығының шығысындағы СО<sub>2</sub> концентрациясының таралуы

8, 9-суретте көрсетілгендей, БКЗ-420 жану қазандығының бойлық қимасы бойынша  $Z=28m$  биіктікте CO және NO улы газдарының концентрациясының таралуы бейнеленген. Мұнда NO газының жоғарғы мәні  $5,5 \cdot 10^{-4} \text{ mg/Nm}^3$  құрайды. Ал CO газының ең жоғарғы мәні  $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg/kg}$ . Осы сатыда зиянды шаңгазды қалдықтардың түзілуі процестерін сипаттайтын технологияларды жасау, олардың мөлшерін азайту бойынша ұсыныстар жасау және көмірді тиімді жағу әдістерін іздеу – зерттеушілердің өзекті мәселесі болып табылады.

#### ӘДЕБИЕТ

1 Асқарова Ә.С., Бөлегенова С.Ә., Максимов В.Ю., Бекмұхамет А., Бекетаева М.Т. Numerical experimenting of burning high-ash content Ekibastuz coal in the real boiler of CHP // Recent Advances in Fluid Mechanics and Heat & Mass Transfer. - Greece, 2013. – S.138-147.

2 Асқарова А., Lavrichsheva Ye., Ляйтнер Р., Мюллер Х., Магда А. Combustion of low-rank coals in furnaces of Kazakhstan Coal-firing Power Plants // VDI Berichte, 2007. - № 1088. -S. 497-502.

3 Асқарова Ә.С., Бөлегенова С.Ә., Максимов В., Бекмұхамет А., Оспанова Ш. Numerical research of aerodynamic characteristics of combustion chamber BKZ-75 mining thermal power station // Journal Procedia Engineering, 2012. - V. 42, №389 (162). - S.1365-1374.

#### REFERENCES

1 Asqarova A'.S., Bo'legenova S.A', Maksi'mov V.Yu., Bekmuhamet A., Beketaeva M.T. Numerical experimenting of burning high-ash content Ekibastuz coal in the real boiler of CHP // Recent Advances in Fluid Mechanics and Heat & Mass Transfer. - Greece, 2013. – S.138-147.

2 Askarova A., Lavrichsheva Ye., Lyaytner R., Myuller H., Magda A. Combustion of low-rank coals in furnaces of Kazakhstan Coal-firing Power Plants // VDI Berichte, 2007. - № 1088. -S. 497-502.

3 Asqarova A'.S., Bo'legenova S.A', Maksi'mov V., Bekmuhamet A., Ospanova Sh. Numerical research of aerodynamic characteristics of combustion chamber BKZ-75 mining thermal power station // Journal Procedia Engineering, 2012. - V. 42, №389 (162). - S.1365-1374.

#### Резюме

*A. С. Асқарова, С. А. Бөлегенова, А. Бекмұхамет, Ш. С. Оспанова, А. А. Ниетпаева*

(Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан)

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА

#### В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ КОТЛА БКЗ-420-140-7С С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА FLOREAN

В статье получены результаты численного моделирования процессов тепло- и массопереноса в камере сгорания котла БКЗ-420-140-7С, мощность которого составляет 420 Т/ч, при сжигании в нем Экибастузского угля. Также в работе приведены результаты вычислительных экспериментов: приведены распределения температуры, скорости и концентрации продуктов сгорания (NO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>). На основании котла расположены 6 горелок, которые в свою очередь располагаются в двух ярусах. В коле сжигается высокозольный Экибастузский уголь, зольность которого составляет 40%, состав летучих 24%, влажность 5%, высокая теплотворная способность 16750 кДж/кг. Дисперсность равна R90 = 15%.

**Ключевые слова:** топочная камера, горелки, пылевидное состояние, зольность, пылегазовые выбросы, оксиды азота и углерода, горение, топливо.

#### Summary

*A. S. Askarova, S. A. Bolegenova, A. Bekmukhamet, Sh. S. Ospanova, A. A. Nietpayeva*

(<sup>al</sup>-Farabi Kazakh national university, Almaty, Kazakhstan)

#### RESEARCH OF HEAT AND MASS TRANSFER PROCESSES IN THE COMBUSTION CHAMBER OF A BOILER BKZ-420-140-7S WITH THE HELP OF PROGRAM PACKAGE FLOREAN

In this paper the results obtained by the numerical method modeling of Ekibastuz coal burning in BKZ-420 combustion chamber of Kazakhstan Power Plant. There are devoted to the numerical simulation of the furnace boiler BKZ-420, its steam generating capacity equal 420 T/h. Boiler has six vortical pulverized coal burners arranged in two levels with three burners on the front wall of the boiler. Burned in the furnace high ash, low-grade coal from Ekibastuz. Its ash content 40%, volatile 24%, humidity 5%, highest calorific value 16750 kJ/kg. Milling dispersity of coal was equal to R90 = 15%.

**Keywords:** combustion chamber, burners, pulverized state, ash, dust and gas emissions, nitrogen and carbon oxides, combustion, fuel.