

С.А. Болегенова¹, М.Т. Бекетаева², Ш.С. Оспанова³, М.Е. Исмаилова⁴,
М.К. Бодықбаева⁵, Е. Мейрамбекұлы⁶, А.К. Тастанбеков⁷

(^{1,2,3,4,5,6,7}Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан)

ЖОҒАРЫ ТЕМПЕРАТУРАЛАРДА АЗОТ ТОТЫҚТАРЫ КОНЦЕНТРАЦИЯСЫНЫҢ ТАРАЛУЫН САНДЫҚ ЗЕРТТЕУ

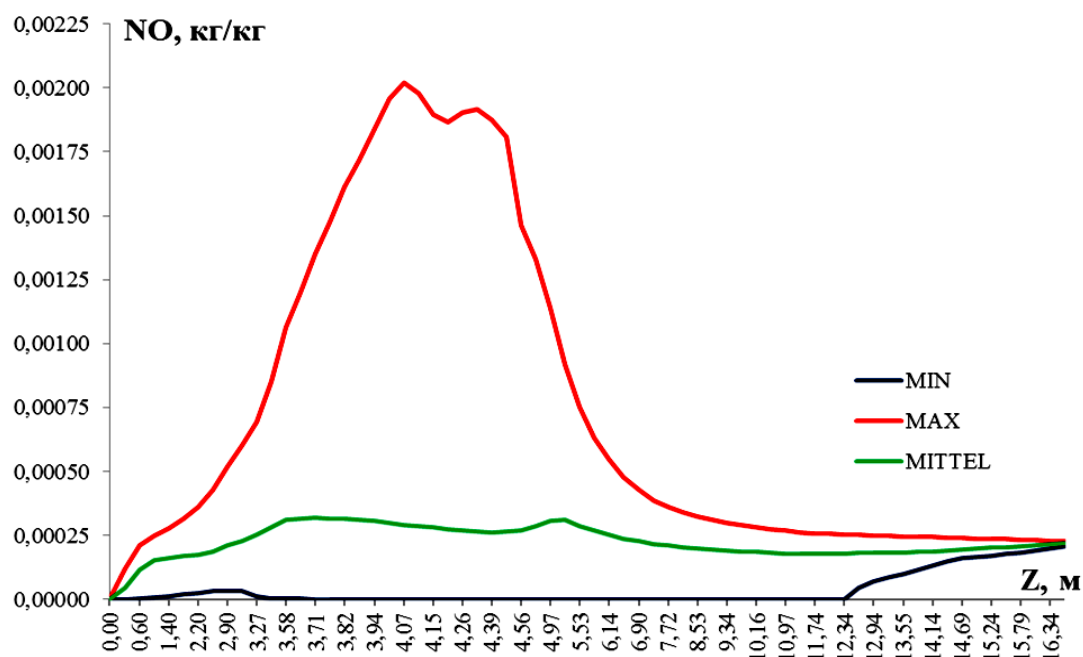
Аңдатпа. Энергетикалық қондырғылардың жұмыс жасауы жалпы органикалық отынның жану процесіне негізделетіндіктен заманауи талаптарға сәйкес атмосфераға зиянды қалдықтар мен түтіндік газдардың көптеп бөлінуін қадағалау алдыңғы орынды иемденді. Жану процесі кезінде зиянды азотты заттардың түзілу механизмдері мен жоғары температураларда олардың таралымын зерттеу қазіргі таңда зор маңызға ие. Осыған орай кез-келген энергообъектінің жұмыс режимі кезінде осындай газ тектес зиянды заттардың шығарылымын бақылап отыру міндет. Зияндылардың қатарында қоршаған орта мен адам денсаулығына теріс әсері зор болатын азотты бөлшектердің түзілуі мен оның атмосфераға қандай мөлшерде тасталынуын білу маңызды мәселе болып отыр. Жұмыста реалды энергетикалық объектінің жану камерасы кеңістігіндегі азотты заттардың түзілуінің заңдылықтары мен механизмдері, сонымен қатар сандық эксперименттер нәтижесінде алынған камера кеңістігіндегі таралуы бойынша ақпараттары жинақталды. Қазандық жану камерасында жоғары температураларда азот тотықтары концентрациясының таралуын сандық зерттеу нәтижелері келтірілді.

Түйін сөздер: жану, жылу электр станциялары, азотты заттар, жану, жану камерасы, кинетикалық сұлба, қазандық, моделдеу.

БҚЗ-75 қазандығының жану камерасында төменгі сұрыпты көмірдің жануының нақты процесіне сай келетін Mitchell-Tarbell үлгілері бойынша құрамында азот компоненті бар заттардың NO_x қалыптасуы бойынша сандық есептеулер жүргізіліп, жану камерасының түрлі облыстары үшін сандық нәтижелер алынды.

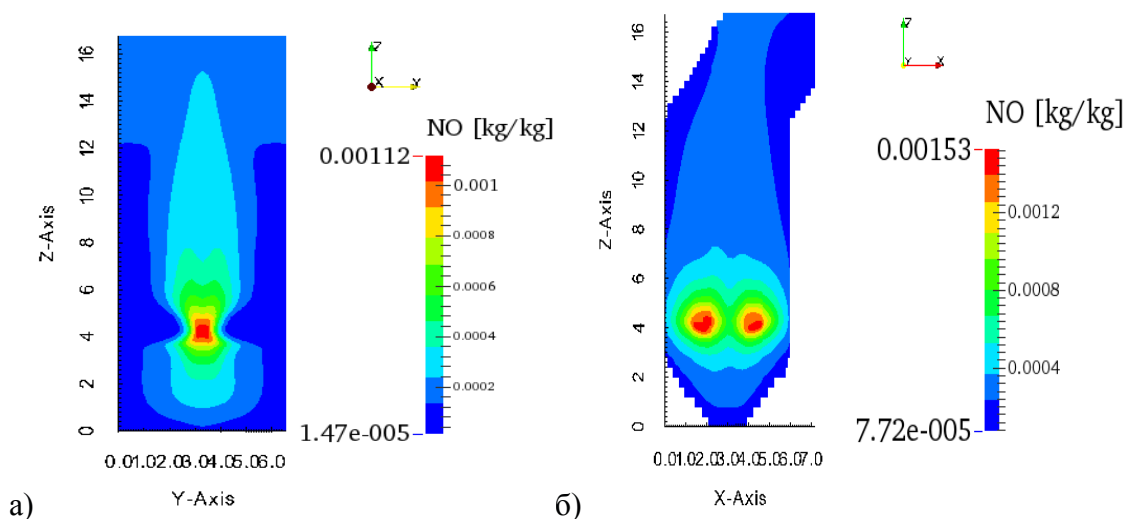
Жану процесі кезінде азотты заттардың NO_x көп бөлігі азот оксидтері NO арқылы пайда болады. Ал олар ары қарай ауа құрамындағы оттегі молекуласымен O_2 жылдам әрекеттесіп, азот диоксидтерін NO_2 қалыптастырады. Бұл ретте азот диоксидтерінің NO_x атмосфераға бөлінуін нормативтерге дейін төмендету бойынша шараларды қарастыру өзекті мәселе болып табылады [1]. Мұны жүзеге асыру үшін оның концентрациялық таралуын түбегейлі зерттеу қажеттілігі туады. Жоғарғы жану температураларында азотты заттардың түзілуі мен таралу сипаттамаларын анықтау мақсатында дипломдық жұмыстың берілген бөлімінде сандық есептеулер жүргізіліп, тиісті үшөлшемді нәтижелер алынды.

1-суретте азот оксидінің NO концентрациясының жану камерасының биіктігі бойынша максимал, минимал және орташа мәндерінің қисықтары көрсетілген.



1-сурет. Азот оксидтері NO концентрациясының БҚЗ-75 қазандығы жану камерасының биіктігі бойынша таралу қисықтары

1-суреттегі қисықтарды талдайтын болсақ, азот оксидтері концентрациясының түзілуінің максимал мәні камераның 4 м биіктігіндегі 0,0020 кг/кг мәніне тең екені көрінеді. Ал камераның шығысында бұл мән 0,00021 кг/кг мәніне дейін кемиді [2]. Концентрациялардың камераның орталық бөлігінде көп болуы келесі 2-3-суреттердегі азот оксидінің үшөлшемді таралу бейнелерінен де аңғаруға болатындығын айта аламыз.



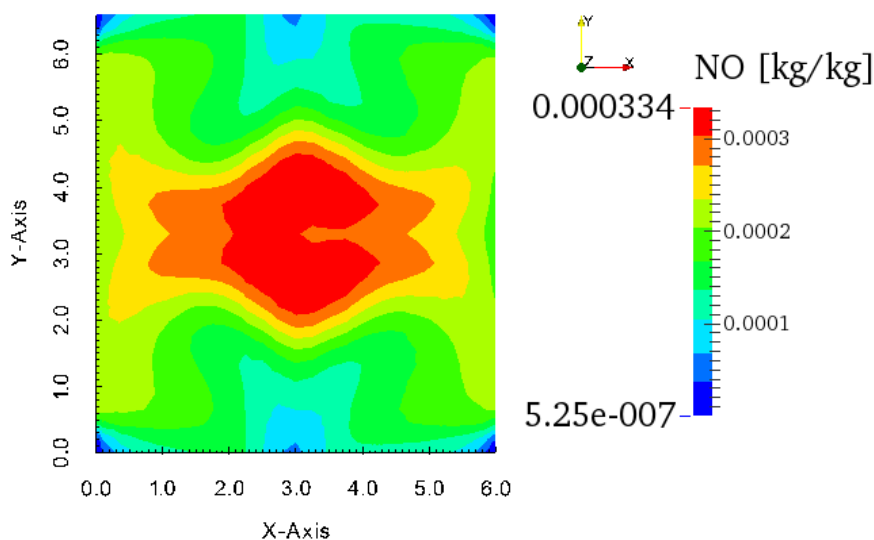
а) X=3,57 м; б) Y=3,19 м

2-сурет. Азот оксидтері NO концентрациясының БҚЗ-75 қазандығы жану камерасының қималары бойынша таралуы

2-суретте камераның екі орталық қимасы бойындағы азот оксидтерінің концентрациялық таралуын талдай келе, максимал облыстары камераның орталық, яғни жанарғылар орналасқан белдеуіне сәйкес келетінін байқаймыз. Камера биіктігіне қарай концентрациялық таралуы сейіледі де шығысқа қарай орташа $1,8 \cdot 10^{-4}$ кг/кг мәніне ие болады. Сапалық жағынан үшөлшемді суреттерді талдайтын болсақ, таралу бейнесі жақсы симметриялылыққа ие екендігін айта аламыз. Байқағанымыздай, камераның орта шенінде жану процесінің жылулық эффектісі мен оттегінің жақсы берілуіне байланысты, әрі осы аймақта жанғыш отын құрамымен органикалық байланысқан азоттың тотығуына қарай азот оксидтерінің жақсы түзілетіндігі көрініп тұр.

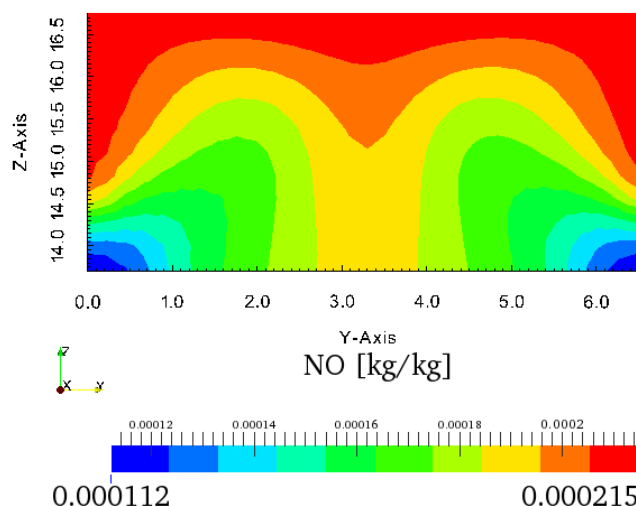
Төмендегі 3-суретте камераның биіктігі бойынша орта шеніндегі қимасында азот оксидтерінің таралуы берілген. Суретті талдайтын болсақ, қиманың центрінде концентрациялық максимал аумақты бөліп айтуға болады. Сипаты өте жақсы симметрияны аңғартып тұр, ал максимал аймақтары осы қимаға сәйкес жану аймағының центріне сай келетіндігімен түсіндіріледі. Максимал мәндер облысы диаметрі 2 м-ге тең шеңбер ішінде деуге болады.

Азот оксидтерінің таралуына сай құрылған түстік шкаладан көріп отырғанымыздай, концентрациялық мәндері 0,52 микро массалық көлемнен 0,33 мили массалық көлемге дейін екені байқалып тұр, яғни мәндердің секірісі шамамен 10^3 тең.



3-сурет. Азот оксидтері NO концентрациясының БҚЗ-75 қазандығы жану камерасының Z=8,17 м қимасындағы таралуы

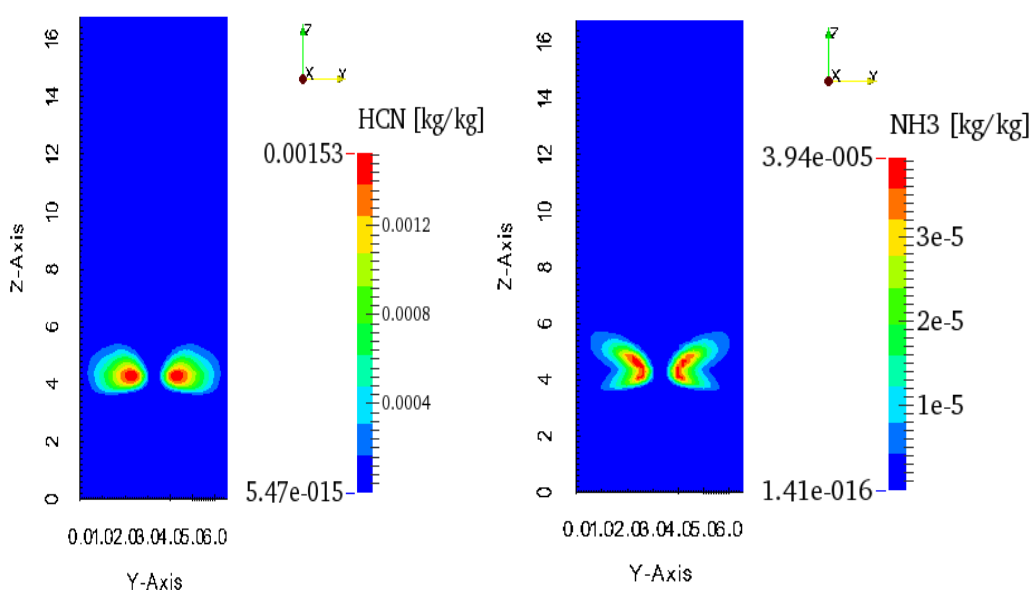
Ал камераның шығысына қарай, X=7,0 м қимасында (3-сурет) азот оксиді концентрацияларының таралуы келтірілген. Байқап отырғанымыздай, ыстық түтіндік газды ағындардың бағытына қарай, азот оксидтерінің максимал мәндері камераның осы қимасының мәндеріне сай төбесіне жақын аумақты қамтып отыр (2б-сурет). Мұнда концентрацияның максимал мәні 0,215 мг/мг-ға тең.



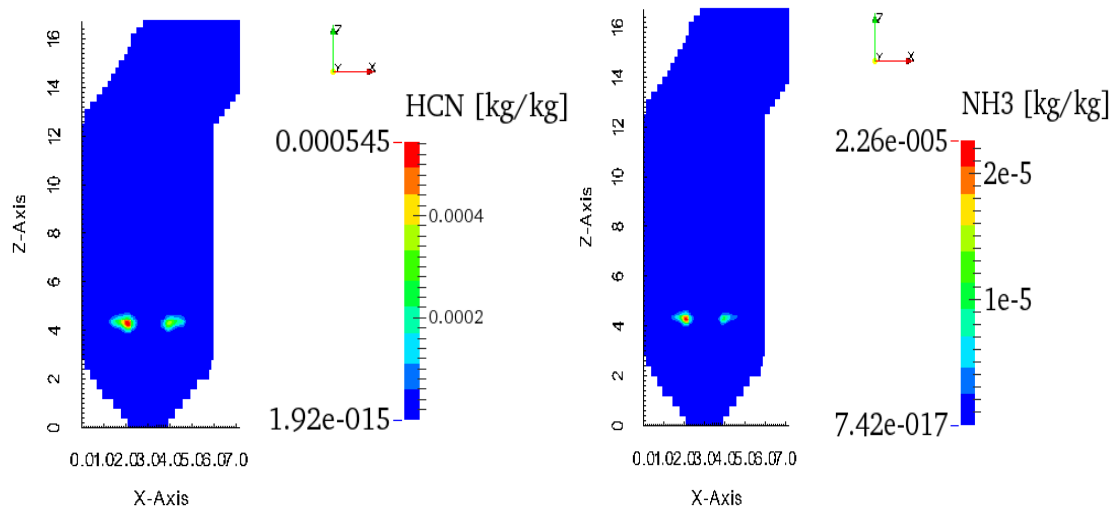
4-сурет. Азот оксидтері NO концентрациясының БҚЗ-75 қазандығы жану камерасының $X=7,0$ м қимасындағы таралуы

Үшөлшемді суреттерден алынған мәліметтердің барлығы 1-суреттегі екіөлшемді қисықтар беретін мәндермен үйлесімді. Азот оксидтері концентрацияларының максимал, минимал, орташа мәндерінің нақты мәліметтері 1-кестеде келтірілген.

Ары қарай азотты заттардың қатарына енетін цианды сутегі HCN мен аммиак NH_3 концентрацияларының таралуын қарастырайық (4-8-суреттер). Қазандықтың жану камерасының орталық қималарында ($X=3,57$ м және $Y=3,19$ м) жанарғы құрылғылары белдеуінде цианды сутегі HCN мен аммиак NH_3 концентрацияларының жоғарғы мәндері байқалады, бұл жағылатын органикалық отынның құрамындағы азоттың тотығуы реакциясымен (көлемдік құрамы 2,23%) және жанарғы арқылы от жағу камерасына түсетін ауа құрамындағы (көлемдік құрамы ~77%) азотпен N әрекеттесуге байланысты [3].

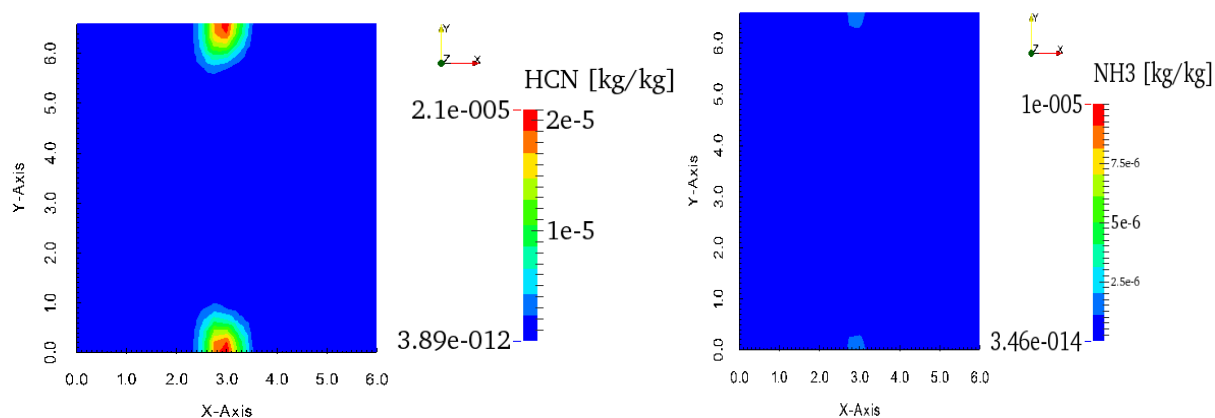


5-сурет. Цианды сутегі HCN мен аммиак NH_3 концентрацияларының қазандық жану камерасының $X=3,57$ м қимасы бойынша таралуы



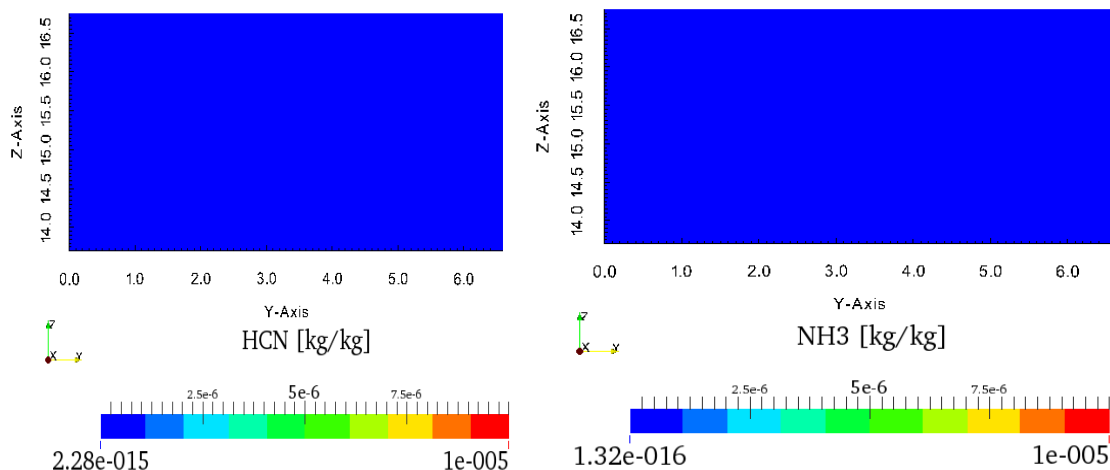
6-сурет. Цианды сутегі HCN мен аммиак NH₃ концентрацияларының қазандық жану камерасының Y=3,19 м қимасы бойынша таралуы

Төмендегі 7-суретте қазандықтың жану камерасының орталық Z=8,17 м қимасында цианды сутегі HCN мен аммиак NH₃ концентрацияларының таралу кескіні келтірілген [4]. Суретті талдайтын болсақ, бұл облыста цианды сутегінің мөлшері аммиак мөлшеріне қарағанда көбірек екенін атауға болады. Мұны аммиактың түзілуі үшін көп мөлшерде энергияның қажет болуымен түсіндіруге болады, яғни берілген облыс үшін цианды сутегіден ары қарай аммиактың пайда болуы өте баяу жүретіндігін көрсетіп тұр [5].



7-сурет. Цианды сутегі HCN мен аммиак NH₃ концентрацияларының қазандық жану камерасының Z=8,17 м қимасындағы таралуы

8-суретте БҚЗ-75 қазандығының жану камерасының шығысында цианды сутегі HCN мен аммиак NH₃ концентрацияларының таралу өрісі берілген. Алынған сандық есептеулер камераның шығысында мардымсыз, яғни ескермеуге тұрарлықтай екендігін көрсетеді [6].



8-сурет. Цианды сутегі HCN мен аммиак NH₃ концентрацияларының қазандық жану камерасының X=7,0 м қимасындағы таралуы

Қазандық жану камерасының берілген қималарында (X=3,57 м; Y=3,19 м; Z=8,17 м; X=7,0 м) цианды сутегі HCN мен аммиак NH₃ концентрацияларының максимал, минимал, орташа мәндерінің нақты мәліметтері 1-кестеде келтірілген.

1-кесте. Қазандық жану камерасында азот оксиді NO, цианды сутегі HCN мен аммиак NH₃ концентрацияларының есептік нәтижелері

| | X=3,57 м | | |
|-------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | Максимал | Минимал | Орташа |
| NO, мг/мг | 1,11 | $1,90 \cdot 10^{-2}$ | $2,21 \cdot 10^{-1}$ |
| HCN, мг/мг | 1,46 | $5,74 \cdot 10^{-12}$ | $1,31 \cdot 10^{-1}$ |
| NH ₃ , мг/мг | $3,76 \cdot 10^{-2}$ | $1,67 \cdot 10^{-13}$ | $2,77 \cdot 10^{-3}$ |
| Y=3,19 м | | | |
| NO, мг/мг | 1,51 | $9,47 \cdot 10^{-2}$ | $5,34 \cdot 10^{-1}$ |
| HCN, мг/мг | $5,44 \cdot 10^{-1}$ | $2,61 \cdot 10^{-12}$ | $1,62 \cdot 10^{-2}$ |
| NH ₃ , мг/мг | $2,26 \cdot 10^{-2}$ | $1,33 \cdot 10^{-13}$ | $4,03 \cdot 10^{-4}$ |
| Z=8,17 м | | | |
| NO, мг/мг | $3,32 \cdot 10^{-1}$ | $5,25 \cdot 10^{-4}$ | $1,98 \cdot 10^{-1}$ |
| HCN, мг/мг | $1,13 \cdot 10^{-2}$ | $5,47 \cdot 10^{-9}$ | $1,56 \cdot 10^{-4}$ |
| NH ₃ , мг/мг | $7,04 \cdot 10^{-4}$ | $4,94 \cdot 10^{-11}$ | $7,88 \cdot 10^{-6}$ |
| X=7,0 м | | | |
| NO, мг/мг | $2,15 \cdot 10^{-1}$ | $1,12 \cdot 10^{-1}$ | $1,86 \cdot 10^{-1}$ |
| HCN, мг/мг | $2,88 \cdot 10^{-8}$ | $2,30 \cdot 10^{-12}$ | $1,10 \cdot 10^{-9}$ |
| NH ₃ , мг/мг | $4,69 \cdot 10^{-9}$ | $1,39 \cdot 10^{-13}$ | $1,20 \cdot 10^{-10}$ |

Жану камерасы кеңістігінде азоттекес заттардың NO_x концентрацияларының таралуында байқалған маңызды сандық және сапалық нәтижелерді то-

лықтай түсіну үшін натурал эксперименттік мәліметтермен оның мәндерін салыстыру қажет. Осы мақсатта жұмыста алынған азотты заттар концентрациясының орташа мәндері ЖЭО-да тікелей алынған [7] және еліміз үшін тағайындалған шекті рұқсат етілген азот оксиді NO концентрациясының мәндерімен салыстырылды [8]. Салыстыру нәтижесінде есептеу эксперименттерінің нәтижелері күлділігі жоғары көмірді жағу кезіндегі азотты заттар концентрациялары үшін шынайы эксперименттік мәндерден ауытқымайтындығын көрсетті.

Әдебиеттер:

1. Жакупов Г.А. *Повышение экологичности тепловых электрических станций.* – Алматы: Ғылым, 2004. – 382 с.
2. Аскарова А.С., Болегенова С.А., Бекетаева М.Т. и др. *Формирование вредных пылегазовых компонентов в процессе горения*// *Известия НАН РК. Серия физико-математическая.* – 2015. – №1(299). – С. 32-38.
3. Askarova A.S., Bolegenova S.A., Beketaeva M.T., etc. *Control of harmful emissions concentration into the atmosphere of megacities of Kazakhstan Republic // International Conference on Future Information Engineering (FIE 2014).* – Beijing, 2014. – Vol. 10. – P. 252–258.
4. Бекетаева М.Т. *ЖЭС жану камераларында төменгі сұрыпты қазақстандық көмірдің жану процесін үшөлшемді моделдеу, PhD дисс.* – Алматы, 2015. – 155 б.
5. Johnsson J. E. *Formation and reduction of nitrogen oxides in fluidized bed combustion // Fuel.* – 2010. – №73. – P. 1398-1405.
6. Hill S.C., Smoot L.D. *Modeling of nitrogen oxides formation and destruction in combustion systems // Progress in Energy and Combustion Science.* – Ontario, 2000. – P. 417-458.
7. Зельдович Я.Б., Франк-Каменецкий Д.А. *Турбулентное и гетерогенное горение.* – М.: Моск. мех. ин-т, 1947. – 251 с.
8. Fenimore C.P. *Formation of nitric oxide in premixed hydrocarbon flames // International Symposium on Combustion.* – Elsevier, 1971. – Vol. 13, №1. – P. 373-380.

В связи с тем, что работа энергетических установок основывается на общих процессах горения органического топлива, в соответствии с современными требованиями, особое место занимает контроль над выделением в атмосферу вредных выбросов и дымовых газов. В настоящее время большое значение имеет изучение распространенности вредных азотных веществ при высоких температурах и механизмах их образования в процессе горения. В связи с этим, при режиме работы любого энергообъекта необходимо контролировать выпуск таких газообразных вредных веществ. В числе вредных – важнейшая проблема образования азотных частиц, которые оказывают негативное влияние на окружающую среду и здоровье человека, и в каких количествах он выбрасывается в атмосферу. В работе обобщена информация о закономерностях и механизмах образования азотных веществ в пространстве камеры сгорания реального энергетического объекта, а также о распространении в пространстве камеры, полученных в результате цифровых экспериментов. Приведены результаты количественного исследования распределения концентрации окислов азота при высоких температурах в камере сгорания котла.

Ключевые слова: *горение, тепловые электростанции, азотные вещества, камеры сгорания, сгорания, кинетическая схема, котельная, моделирование.*

Due to the fact that the operation of power plants is based on the General combustion processes of organic fuel, in accordance with modern requirements, a special place is taken by monitoring the release of harmful emissions and flue gases into the atmosphere. Currently great importance is the study of the prevalence of harmful nitrogen compounds at high temperatures and their formation mechanisms in the combustion process. In this regard, during the operation mode of any power facility, it is necessary to control the release of such gaseous harmful substances. Among the harmful ones is the most important problem of the formation of nitrogen particles that have a negative impact on the environment and human health, and in what quantities it is released into the atmosphere. The paper summarizes information about the regularities and mechanisms of formation of nitrogen substances in the combustion chamber space of a real energy object, as well as about the propagation in the chamber space obtained as a result of digital experiments. The results of a quantitative study of the distribution of the concentration of nitrogen oxides at high temperatures in the combustion chamber of the boiler are presented.

Key words: *combustion, thermal power plants, nitrogen substances, combustion chambers, combustion, kinetic scheme, steamshop, modeling.*