

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 4 (2025)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/GMYR4462>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Кошеков К. Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е. В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Кислов А. П.,	<i>к.т.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
Шокубаева З. Ж.	<i>технический редактор</i>

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/HYME7086>

**А. М. Достияров¹, *А. Н. Сапарғалиева²,
М. Е. Туманов³, Г. С. Катранова⁴**

¹Ғ. Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

²С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,
Қазақстан Республикасы, Астана қ.

⁴British American Tobacco компаниясы,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6559-8598>

²ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4781-2528>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0093-719X>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0688-5324>

*e-mail: ms.lady.aigerima@bk.ru

ЖЫЛУ ГЕНЕРАТОРЫНДАҒЫ МИКРОЖАЛЫНДЫ АЛДЫҒЫ ҚҰРЫЛҒЫНЫҢ АУА САПТАМАЛАРЫ ҚАЛАҒЫНЫҢ АЙНАЛУЫНЫҢ ӘСЕРІ

Бұл мақала жылу генераторларында қолданылатын микро жалынның алдыңғы құрылғысындағы (МЖАҚ) жану сипаттамаларына ауа саптамасының қалақшаларының айналуының әсерін қарастырады. Зерттеудің мақсаты – ауа ағынының аэродинамикалық параметрлерін оңтайландыру арқылы жанудың тиімділігі мен тұрақтылығын арттыру. Әртүрлі бұралу бұрыштары және олардың жалынның пайда болуына әсері, жалынның тұрақтылығы, отынның жану толықтығы және қондырғының техникалық-экономикалық көрсеткіштері қарастырылады.

Жану аймағындағы аэродинамикалық және жылулық процестерді талдау құйынды ауа ағынының әртүрлі схемалары үшін жүргізілді. Оңтайлы бұралу бұрышы жалынның тұрақтандыруын жақсартуға, зиянды заттардың шығарындыларын азайтуға және жылу генераторының энергия тиімділігін арттыруға көмектесетіні анықталды. Алынған нәтижелерді жаңа энергия үнемдейтін жылу генераторларын жобалауда пайдалануға болады. Бұл мәліметтер

энергияны тұтыну және экологиялық қауіпсіздік тұрғысынан микро алаудың жануының жоғары тиімділігін көрсетеді. Анықталған тәуелділіктердің табиғатын бейнелейтін графиктер мен диаграммалар берілген. Бұл жұмыс өнеркәсіпте және ауыл шаруашылығындағы орташа және кіші кәсіпорындарда өнімдерді құрғату үшін қолданылатын жылу техникалық қондырғылардың энергия тиімділігі мен экологиялық қауіпсіздігін арттыру үшін өзекті болып табылады. Мақаланың қорытындылары ауа саптамасы жүйесінің элементтерін параметрлік оңтайландырудың практикалық маңыздылығын растайды.

Кілтті сөздер: алдыңғы құрылғы, жылу генераторы, ауа шүмегі, жану камерасы, NO_x шығарындылары.

Кіріспе

Жылу өндіретін жабдықтың тиімділігі мен экологиялық қауіпсіздігін арттыруға қойылатын заманауи талаптар жануды тұрақтандыру технологияларының дамуын ынталандырады [1; 2]. Осы саладағы перспективті шешімдердің бірі ықшамды өлшемдері бар отынның тұрақты және толық жануын қамтамасыз ететін микро алаудың алдыңғы құрылғыларын (МЖАҚ) пайдалану болып табылады.

Ауа саптамасының геометриясы мен конфигурациясы, атап айтқанда, қалақтардың бұралуы алау құрылымын қалыптастыруда және жалынды тұрақтандыруда ерекше рөл атқарады. Құйынның пайда болу қарқындылығы, турбуленттілік деңгейі, сондай-ақ температура мен жану өнімдерінің концентрациясының таралуы айналу бұрышы мен ауа ағынының бағытына байланысты. Бұл параметрлер отынның жануының толықтығына, алаудың тұрақтылығына және азот оксиді (NO_x) шығарындыларына тікелей әсер етеді [3; 4].

Бұл зерттеу МЖАҚ жану сипаттамаларына әртүрлі ауа саптамаларының бұралу бұрыштарының әсерін зерттеуге бағытталған. Жұмыстың мақсаты – жылу тиімділігін арттыру және зиянды шығарындыларды азайтуды ескере отырып, саптаманың дизайнын оңтайландыру. Зерттеу жалын тұрақтылығын, газ температурасын және NO_x түзілуін бағалауды қоса алғанда, жану аймағындағы аэродинамикалық және жылу процестерінің жан-жақты талдауын қамтыды.

Материалдар мен әдістері

Отынның микро алау жануына жақындау әдістерінің бірі – перфорацияланған алдыңғы конустың және жылу генераторындағы ауа саптамасының орналасуы (1-сурет). Ауа саптамаларында ауа ағынының кинетикалық энергиясы отын ағынын бөлшектеуге жұмсалады, сондықтан жоғары сапалы бүркуге қол жеткізу үшін ауаның көп мөлшері қажет.

Бұл ауа жанғыш қоспаны дайындау үшін пайдаланылғаннан кейін жылу генераторының бастапқы аймағында жану процесіне қатысады.

Әртүрлі алдыңғы перфорациясы бар жылу генераторының бөлігі ретінде қалақтарының әртүрлі бұралуы бар ауаны тұрақтандыратын саптама зерттелді. Саптамада бастапқы ауа кіріс регистрінің қалақшаларымен бұралып, артық қысымда отын түтігінен перпендикуляр ағып жатқан отын ағындарын алып, онымен араласады. Содан кейін тұрақтандыру конусының айналасында ағып, ауа саптамасының шығыс регистрінен өтетін жанғыш қоспасы камераның тесілген алдыңғы конусы бойымен отын-ауа қоспасын шашыратып, камераның жану аймағына бұралған ағын ретінде шығады. Бұл жағдайда дамыған жалын фронттың бойымен жүреді.



1-сурет – Жылу генераторының перфорацияланған алдыңғы конусы және ауа шүмегі

Жылу генераторының жалын түтігі тәжірибелік стендте 2-суретте зерттелді, ТС-І керосин мен газ тәрізді отынның жануы кезінде бірнеше кезеңдерде:

- ауа саптамасының кіріс және шығыс бұрандаларының қалақтарының бұрыштарының әсері;
- жану камерасының сипаттамаларына алдыңғы перфорацияның әсері;
- жылу генераторының жалын түтігінің алдыңғы құрылғысының конусын таңдау.



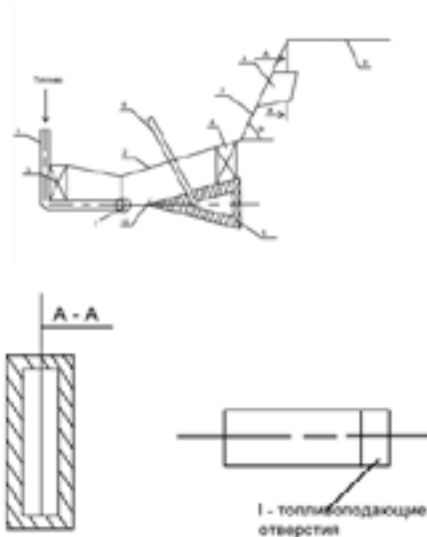
2-сурет – Алдыңғы құрылғылар мен оттықтарды зерттеуге арналған стендтің жалпы көрінісі

Нәтижелер және талқылау

Кіріс бұрандалы қалақтардың бұрышын таңдау отын-ауа қоспасының сапасына және оттықтағы, яғни ауа саптамасындағы гидравликалық шығындарға әсер етеді. Кедергі коэффициентінің қалақ бұрышына тәуелділігі [1]-де көрсетілген.

$\xi_{\text{дт}}$ кедергі коэффициентінің (β_1) орнату бұрышына тәуелділігі [5; 6] жұмыстарда келтірілген, олар $\beta > 40^\circ$ кезінде гидравликалық шығындардың күрт өсетінін, β_1 ал – дің 30° немесе одан аз төмендеуі саптама камерасында турбуленттілік генерациясын төмендететінін көрсетеді. Сұйық отынды жағу үшін ауа шүмегінің тұрақтандырғышын қолдануға болады, бірақ оны патентте [7] және 3-суретте көрсетілгендей жасау керек.

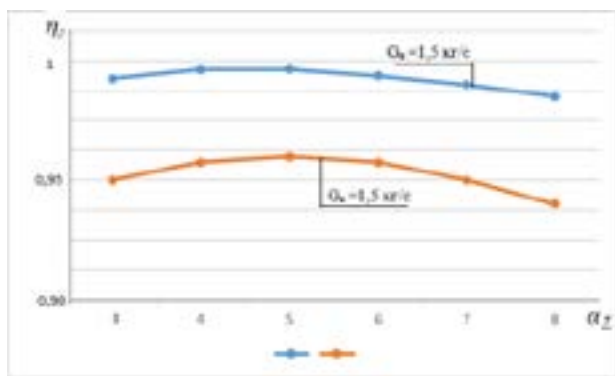
1-отын құбыры, 2 – Вентури құбыры, 3 - кіріс бұрандамасы, 4 – шығыс бұрандамасы, 5 – орталық конус, 6 – сутегі беру құбыры, 7 – алдыңғы қабырға, 8 – екінші ауаны беру үшін саңылаулы тармақтық құбыр, 9 – жалын құбыры, I – отын беру саңылаулары



3-сурет – Жылу генераторының алдыңғы құрылғысы

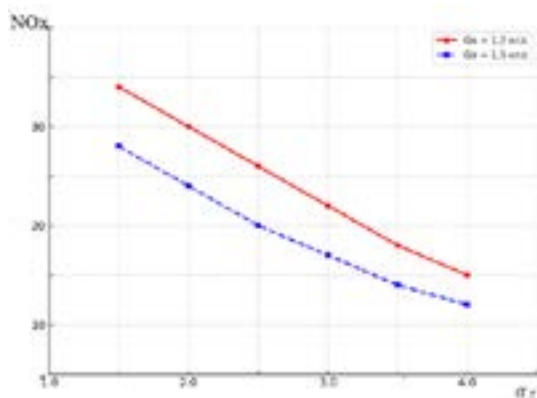
Алдыңғы конустың перфорациясы ауа тұрақтандырғыш саптамасы (АТ-С) пайдалану кезінде алдын ала дайындықпен және нашар қоспаның жануымен белгілі бір артықшылықтарға ие.

Араластыру сапасы $\eta_c = f(\alpha_T)$ и $C_{НОС} = f(\alpha_{фог})$ тәуелділікке сәйкес эксперимент нәтижелері бойынша анықталды.



4-сурет – Ауа саптамасындағы жану тиімділігі коэффициентінің жалпы артық ауа коэффициентіне тәуелділігі

Құйынды оттық құрылғыларының құрылымдық элементтерінің айналмалы ауа ағыны отынның жану қарқындылығына және NO_x шығуына әсері тәжірибелермен бірнеше рет расталды [8]. Дәл осындай әсер «ауа» саптамалары бар эксперименттерде анық байқалды. Бұл жағдай МЖАҚ-да қалақтарды орнату бұрыштарының NO_x шығысына елеулі әсерін анықтауға мүмкіндік берді. Бұл болжамды тексеру үшін жұмыста орындалған «ауа» тұрақтандырғыш саптамасымен (АТС) жабдықталған жылу генераторының нұсқаларына арнайы зерттеулер жүргізілді.

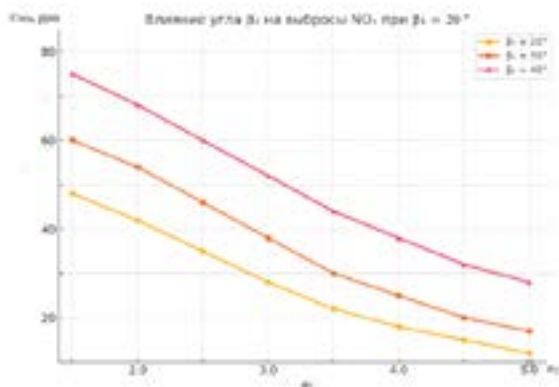


5-сурет – NO_x шығысының жану аймағындағы артық ауа коэффициентіне тәуелділігі

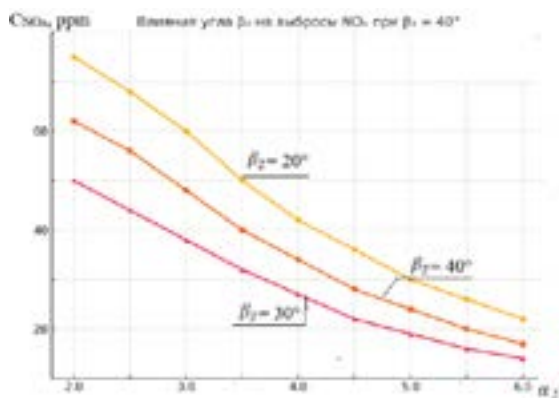
6 А, В-суретте АТС – β_2 шығыс регистрінің элементтерінің орнату бұрышының әсері жалын түтігінің алдыңғы бөлігінің әртүрлі ашылу бұрыштары бар жану камерасының екі нұсқасы үшін көрсетілген ($\theta = 70^\circ$ және 120°). $\beta_2 = 20^\circ$ бұрыштарда жүргізілген зерттеулерден; 30° ; 40° және 60° камераның $\theta = 70^\circ$ нұсқасы үшін ең аз NO_x шығысы $\beta_2 = 20^\circ$, ал $\theta = 120^\circ$ нұсқасы үшін $\beta_2 = 30^\circ$ кезінде байқалды. Алынған нәтижелерді жалын түтігінің алдыңғы бөлігіндегі ағын құрылымын талдау арқылы түсіндіруге болады, ол температура өрісінің таралуын анықтайды және жану өнімдерінің өрт аймағындағы тұру уақытының параметріне айтарлықтай әсер етеді, бұл жұмысты зерттеуде атап өтілген.

Осылайша, АТС-де ағынның бұралу бұрышын ұлғайту кері ток аймағының (КТА) өлшемін ұлғайтты, демек, жоғары температура аймағында «тұру уақытын» арттыратын айналымдағы газдардың үлесі жоғарылады. Сәйкесінше, $\beta_2 = 40^\circ$ -та NO_x эмиссиясы $\beta_2 = 30^\circ$ -қа қарағанда көбірек болды. Сондай-ақ, $\theta = 120^\circ$ болатын жалын түтігі нұсқасындағы В төмен мәндерінде

өтпелі конустың қабырғаларынан бөлінген ағын және мұнда айналатын газ мөлшері камераның ортасында, яғни КАА-ның өзінде айтарлықтай асып кеткенін атап өткен жөн, бұл сонымен бірге жалпы «тұру уақытын» арттырды және N_{Ox} шығарылымының жоғарылауын анықтады.



6-сурет – А. Кіріс және шығыс бұрандамаларын орнату бұрыштарының және жалын түтігінің алдыңғы жағының ашылу бұрышының N_{Ox} шығысына әсері



7-сурет – В. Кіріс және шығыс бұрандаларды орнату бұрыштарының және жалын түтігінің алдыңғы жағының ашылу бұрышының N_{Ox} шығысына әсері

Жүргізілген зерттеулерден басқа, ағынның аэродинамикалық құрылымының жалынды тұрақтандыруға әсерін және отын-ауа қоспасын [9;10] алдын ала дайындау сапасын η , σ және C_{NO} бойынша одан әрі нақтылау мақсатында ауыстырылатын шығыс АТС регистрлері бар жылу генераторының жалын түтігінде тәжірибелер жүргізілді (кейде кіріс АТС $\beta_2 = 0^\circ$). Тұрақты орнату бұрышы β_2 сақиналы регистрлердегі бұрылыс параметрін есептеу үшін келесі формула пайдаланылды:

$$K_p = \frac{2}{3} \cdot \frac{1 - \left(\frac{d_{BT}}{d_p}\right)^2}{1 - (d_{BT}/d_p)} \cdot \tau g \beta_2 \quad (1)$$

$K_{\beta 2} < 0,4$ кезіде – әлсіз бұралу, $0,4 < K_{\beta 2} < 0,6$ – орташа бұралу, және $K_{\beta 2} > 0,6$ күшті бұралу.

Есептеу әдісін құру үшін қалақ регистрі () арқылы қосылған жану өнімдерінің мөлшері мен ауа мөлшерінің арақатынасын анықтау қажет. Тәжірибелерде ол әртүрлі қашықтықтағы жылдамдық профилін біріктіру арқылы анықталды:

$$\frac{G_{\text{ЗОТ}}}{G_{\text{PAC}}} = (0,32 + 1,35 K_p) \cdot \frac{X}{D_{\text{эф}}}, \quad (2)$$

мұндағы X – ағын бойынша регистрден қашықтық;

$D_{\text{эф}}$ – диаметрі формула бойынша анықталады $D_{\text{эф}} = \sqrt{D_{\text{PAC}}^2 - D_{\text{эл}}^2}$

Зная $G_{\text{ЗОТ}}$ біле отырып, τ_{np} – кері ағын аймағында ыстық газдардың тұру уақытын табуға болады:

$$\tau_{np} = \frac{G_{\text{ЗОТ}}}{\rho_B \cdot V_{\text{ЗОТ}}}; \quad (3)$$

$V_{\text{ЗОТ}}$ – кері ток аймағының көлемі.

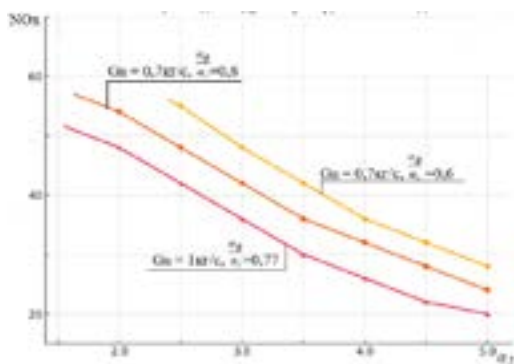
Жалынның бұзылуы кезінде ауа ағынының жылдамдығын табу үшін $\frac{\tau_{np}}{\tau_c} \geq 1$ деп есептейміз. Мұнда тұрақтандырғыш ауа саптамалары үшін қолданылатын тәсіл нашар реттелген денелерге ұқсас, бұл жануды сенімді тұрақтандыру шарттарынан геометрияны есептеудің бірыңғай үлгісін әзірлеуді ыңғайлы етеді.

Бұрау дәрежесінің және қалақтардың түрінің әсерін анықтау үшін қысым жоғалтуларының көптеген өлшемдері жүргізілді, нәтижелер 6-суретте келтірілген. Профильді қалақтармен қысымның жоғалуы жазықпен салыстырғанда аз, ал айырмашылық β_2 бұрышының ұлғаюымен, яғни орнату бұрышының өсуімен артады.

Тәжірибелерде ең жоғары NO_x эмиссиясы $\beta_2 = 20^\circ$ кезінде байқалды, бұл рециркуляция аймақтарының ұлғайған өлшемдерімен түсіндірілді (оның ішінде өтпелі конустың шеткі бөлімдерінде). Жалпы алғанда, NO_x эмиссиясының нашарлауы АТС нұсқаларымен салыстырғанда $\beta_2 = \text{idem}$ деңгейінде нәтиже береді, мұнда алдын ала ағынның бұралуы кіріс бұрандаларында жүргізілді ($\beta_2 = 20^\circ$ және $40^\circ - 6$ А, В суретін қараңыз), бұл АТ алдын ала дайындайтын қоспаның сапасының айтарлықтай төмендеуіне байланысты болды. Соңғысы МЖАҚ құрылым элементтерінде мұндай «дайындық» қажеттілігін тағы да жанама түрде растады.

Сынақ стендісінде бұралмалы қалақтарды орнату бұрыштары $\beta_2 = 40^\circ$ және $\beta_2 = 30^\circ$ болатын ауаны тұрақтандыратын саптамасы бар жалын түтігі конусының әртүрлі нұсқалары бар жану камерасының үлгілері зерттелді.

Жалын түтігі цилиндр тәрізді, диаметрі 198 мм, саптаманы орнату диаметрі 55 мм, жалын түтігінің салыстырмалы ұзындығы $e' = \frac{l}{d} = 1,15$. Жалын түтігінің алдыңғы конусында үш белдікте 3,5 мм және $\varnothing 5$ мм тесіктер біркелкі жасалады: 1 – 30 тесік $\varnothing 5$ мм; 2 – 60 тесік $\varnothing 5$ мм; 3 – 60 тесік $\varnothing 3,5$ мм. Сынақ кезінде келесі параметрлер сақталды: ауа ағынының жылдамдығы $GB = 0,05 + 1,0$ кг/с, ауа температурасы $335\text{--}364^\circ\text{K}$, жану камерасының кірісіндегі қысым $p_{\text{в}} = 0,106 + 0,13$ МПа. Саптама арқылы ауаның салыстырмалы жылдамдығы $\frac{\alpha_{\text{ф}}}{\alpha_{\text{с}}} = 0,35 + 0,8$ болды. Сынақтар белдік саңылауларының әртүрлі санымен жүргізілді және тәжірибе нәтижелері 7-суретте көрсетілген.



8-сурет – Алдыңғы жағынан өтетін ауа ағынының N_{Ox} шығуына әсері

Саптама арқылы салыстырмалы ауа ағынының жоғарылауымен азот оксидтерінің шығарылуы азаяды. $GB=0,7$ кг/с жану аймағындағы ауа

ағынының жылдамдығы кезінде $\frac{\alpha_4}{\alpha_5}$ арақатынасының 0,6-дан 0,8-ге дейін ұлғаюы N_{Ox} эмиссиясын $15 \div 20\%$ төмендетеді (2 және 3 қисық).

Жану аймағы арқылы ауа ағынының ұлғаюы N_{Ox} түзілуін азайтады, бірақ сонымен бірге жылу генераторының тұрақты жұмысының шектері азаяды, ал жанудың толықтығы төмендейді.

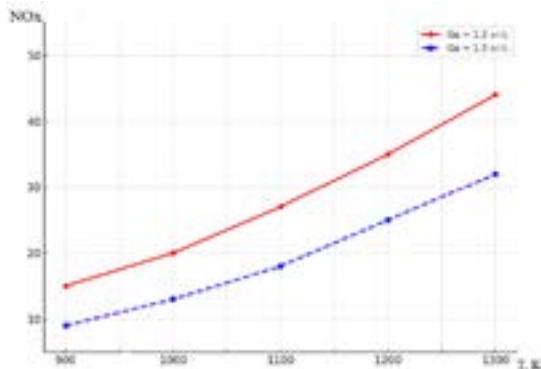
Осылайша, $G_{\Phi} = G_2$ яғни $\frac{\alpha_4}{\alpha_5} = 1$, АТС бар жылу генераторының тұрақты жұмысы; $\alpha_2 = 1 + 6$, кезінде ғана байқалады, ал $\eta_g = 0,92$ -ден аз болды.

$\frac{\alpha_4}{\alpha_5} = 0,8$ қатынасында отынның жану толықтығы $\eta_c = 0,98 \div 0,995$ болды және артық ауа коэффициенті үшін тұрақты жұмыс ауқымы кеңейді ($\alpha_5 = 1 \div 24$). Жүргізілген зерттеулер тұрақты жұмыс шектерін кеңейту үшін саптама арқылы салыстырмалы ауа ағынын азайту қажет екенін көрсетті. $0,35 \div 0,45$ дейін төмендеген кезде α_2 үшін камераның жұмыс шегі $45 \div 60$ құрайды.

Нәтижелерді талдау көрсеткендей, сұйық отынды жағу кезінде дұрыс перфорациялау жану процесінің тиімділігін арттырады, отынның жану толықтығын арттырады және азот оксидтерінің түзілуін азайтады, әсіресе камера жобалық режимде жұмыс істегенде. Жалын түтігінің алдыңғы бөлігінің конус бұрышы жану сапасына айтарлықтай әсер етеді.

Конустылықты АТС отын-ауа қоспасы жалын түтігінің алдыңғы бөлігі бойымен үздіксіз таралатындай етіп таңдау керек. Соңғы нұсқада бірінші белдеудегі алдыңғы конуста 1505 мм және үшінші белдеуде барлық $6003,5$ мм саңылау қалдырылады. Сонымен қатар, жалын түтігінің конустық бөлігі диаметрі цилиндрлік бөлікке ауысқан кезде, жалын түтігін салқындату үшін жарықтар қалады. Бірақ газ тәріздес отынды жағу кезінде перфорацияға арналған микрожалынды жақсарту үшін біз алдыңғы жағындағы әртүрлі мөлшердегі радиалды жарықтарды зерттедік. Нәтижелерді басқа мақалада ұсынатын боламыз, өйткені N_{Ox} шығару 20 ppm дейін төмендеді.

Соңында, жанудың жоғары толықтығын қамтамасыз ету және азот оксидінің шығарындыларын азайту тұрғысынан шығыс бұрандаларының тегіс қалақтарын орнатудың ұтымды бұрыштары $\beta_2 = 30^\circ$ болып таңдалды. Эксперименттік зерттеулерді одан әрі дамыту жылу генераторының ауа шүмегінің тұрақтандырғышы арқылы жалын түтіктерінен азот оксидінің шығарындыларын азайту мүмкіндіктерін зерттеу болып табылады. Сынақтар ауаның температурасы $342 \div 360$ К камераның кірісінде, ауа қысымы $0,108 \div 0,13$ МПа, ауа ағынының жылдамдығы $G_B = 1,2 \div 1,5$ кг/с болды. Керосин отын ретінде пайдаланылды. Тәжірибелердің нәтижелері 8-суретте көрсетілген.



8-сурет – «Ауа» тұрақтандырғыш саптамасы бар жалын түтігінен камераның шығатын жеріндегі газ температурасына байланысты NOx шығарылымы

873-тен 1373°K-ге дейінгі шығыстағы газ температурасының өзгеру диапазонында $G_B = 1,2$ кг/с ауа ағыны кезінде азот оксидтерінің эмиссиясы 45 ppm аспады, ал $G_B = 1,5$ кг/с ағыны кезінде ол 40 ppm аспады. Жалпы артық ауа коэффициентіне және жану аймағындағы C_{NO} шығымы 5-суретте көрсетілген.

4-суретте отынның толық жану нәтижелері көрсетілген. $G_B = 1,5$ кг/с шығынында $\eta_c = 0,965 \div 0,995$ диапазонында $\alpha_{\Sigma} = 2 \div 9$. Қысымның жалпы жоғалуы $G_B = 1,5$ кг/с ауа шығыны кезінде 3%-дан аспады және $G_B = 1,2$ кг/с σ^* кезінде 2,5 %-дан аз болды.

Көміртек тотығы шығарындылары $\alpha_{\Sigma} = 2 \div 5$ жалпы ауа коэффициентімен $0,01 \div 0,02$ % құрады. Шығарылған газдарда көмірсутектер анықталған жоқ.

Қорытынды

1 Біздің тәжірибемізде ауа тұрақтандырғыш саптамасының $\beta_2 = 40^\circ$ және $\beta_2 = 30^\circ$ үшін ұтымды бұралу бұрыштары таңдалды және жылу генераторының алдыңғы құрылғысымен бірге стендте жан-жақты зерттелді.

2 Жылу генераторының алдыңғы құрылғысы үшін NOx эмиссиясы негізінде $\theta = 120^\circ$ бұрышы таңдалды.

3 Газды жағу үшін жылу генераторының алдыңғы құрылғысының перфорациясы саңылау түрінде жасалады.

4 Біздің тәжірибеміздің нәтижелері газ тәрізді отынды жағу кезінде NOx 20 ppm және одан төмен төмендеуіне қол жеткізуге болатынын көрсетті, бұл жылу генераторының шығарындыларына ең қатаң талапты қанағаттандырады.

5 АТС тәжірибелерінің нәтижелері жану аймағындағы артық ауа коэффициенті $\eta_c = 0,99$ қамтамасыз ету кезінде $\alpha_c \gg 1,5$ болуы мүмкін екенін көрсетті; тозаңдану және қоспаның түзілу сапасы саптама каналдарындағы ауа ағынының жылдамдығымен анықталады; улы компоненттердің шығымы әлдеқайда төмен, отынның жануы ерте аяқталады және біркелкі болады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 Dostiyarov, A. M., Umyshev, D. R., Kibarin, A. A., Yamanbekova, A. K., Tumanov, M. E., Koldasova, G. A., Anuarbekov, M. A. Experimental investigation of non-premixed combustion process in swirl burner with LPG and hydrogen mixture. – <https://doi.org/10.3390/en17051012> (Date of access: 15.07.2025).

2 Qian, X., Meng, S., Kejian, Sh., Zhihui, L., Junxiao, F., Yaxuan X., Lin, L., Jiulong, W., Jingxiao, H., Zhiwe, T., Yanping, D. Influence of jet angle on diffusion combustion characteristics and NOx emissions in a self-reflux burner, Case Studies in Thermal Engineering. – Vol. 25. – 2021. – 100953. – ISSN 2214-157X, – <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.100953> (Date of access: 16.07.2025).

3 Han, W., Lee, Y., Jang, J., Huh, K. Y. – <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.12.123> (Date conversion: 15.07.2025).

4 Chaoyang, Zh., Yongqiang, W., Qiye, J., Qijuan, Ch., Yuegui, Z. Mechanism analysis on the pulverized coal combustion flame stability and NOx emission in a swirl burner with deep air staging, Journal of the Energy Institute, Vol. 92. – Issue 2. – 2019. – P. 298–310. – ISSN 1743–9671. – <https://doi.org/10.1016/j.joei.2018.01.006> (Date of access: 15.07.2025).

5 Пчелкин, Ю. М. Камеры сгорания газотурбинных двигателей [Текст]. – М. : Машиностроение, 1984. – 280 с.

6 Лефевр, А. Процессы в камерах сгорания ГТД [Текст]. – М. : Изд-во Мир, 1986. – 566 с.

7 Сапарғалиева, А. Н., Достиярова, А. М., Достияров, А. М. Патент на изобретение. № 36936. Фронтное устройство теплогенератора [Текст]. Оубл.: 17.01.2025. Бюл. №3. – 3 с.

8 Dostiyarov, A. M., Umirzakov, D. R., Abdireva, A. M., Yamanbekova A. K. Heat generator impact on the grain drying mode and on the toxicity of combustion products. The Turkish Online Journal of Design, Art and Communication [Текст]. – TOJDAC. – September 2018 Special Edition. – P. 2366–2378.

9 Лавров, В. А. Процессы горения топлива и защита окружающей среды [Текст]. – М. : Машиностроение. – 1981. – 373 с.

10 Михеев, В. П., Медников, Ю. П. Сжигание природного газа [Текст]. – Л.: Недра. – 1975. – 391 с.

REFERENCES

1 **Dostiyarov, A. M., Umyshev, D. R., Kibarin, A. A., Yamanbekova, A. K., Tumanov, M. E., Koldasova, G. A., Anuarbekov, M. A.** Experimental investigation of non-premixed combustion process in swirl burner with LPG and hydrogen mixture. – <https://doi.org/10.3390/en17051012> (Date conversion: 15.07.2025).

2 **Qian, X., Meng, S., Kejian, Sh., Zhihui, L., Junxiao, F., Yaxuan X., Lin, L., Jiulong, W., Jingxiao, H., Zhiwe, T., Yanping, D.** Influence of jet angle on diffusion combustion characteristics and NOx emissions in a self-reflux burner, Case Studies in Thermal Engineering, Vol. 25. – 2021. – 100953. – ISSN 2214–157X, – <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.100953> (Date of access: 16.07.2025).

3 **Han, W., Lee, Y., Jang, J., Huh, K.Y.** – <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.12.123> (Date of access: 15.07.2025).

4 **Chaoyang, Zh., Yongqiang, W., Qiye, J., Qijuan, Ch., Yuegui, Z.** Mechanism analysis on the pulverized coal combustion flame stability and NOx emission in a swirl burner with deep air staging, Journal of the Energy Institute, Volume 92. – Issue 2. – 2019. – P. 298–310. – ISSN 1743–9671. – <https://doi.org/10.1016/j.joei.2018.01.006> (Date of access: 15.07.2025).

5 **Pchelkin, Yu.M.** Kamery sgoraniya gazoturbinnih dvigatelej [Combustion chambers of gas turbine engines] – M. : Mashinostroenie. – 1984. – 280 p.

6 **Lefebvre, A.** Processy v kamerah sgoraniya GTD [Processes in gas turbine engine combustion chambers] – M. : Mir, 1986. – 566 p.

7 **Sapargalieva, A.N., Dostiyarova, A.M., Dostiyarov, A.M.** Patent for invention. N36936. Frontovoe ustroystvo teplogeneratora [Front heat generator device] Published: 01/17/2025. Bull. No. 3. – 3 p.

8 **Dostiyarov, A. M., Umirzakov, D. R., Abdireva, A. M., Yamanbekova, A. K.** Heat generator impact on the grain drying mode and on the toxicity of combustion products. The Turkish Online Journal of Design, Art and Communication [Text]. – TOJDAC. – September 2018 Special Edition. – P. 2366–2378.

9 **Lavrov, V. A.** Processy goreniya topliva i zashchita okruzhayushchej sredy [Fuel combustion processes and environmental protection] – M. : Mashinostroenie, 1981. – 373 p.

10 **Miheev V. P., Mednikov Yu. P.** Szhiganie prirodnogo gaza [Combustion of natural gas] – L.: Nedra, – 1975. – 391 p.

15.07.25 ж. баспаға түсті.

24.07.25 ж. түзетулерімен түсті.

05.12.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

А. М. Достияров¹, *А. Н. Сапарғалиева²,

М. Е. Туманов³, Г. С. Катранова⁴

^{1,3}Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева,

Республика Казахстан, г. Алматы;

²Казахский агротехнический исследовательский университет

имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана.;

⁴British American Tobacco, Республика Казахстан, г. Алматы.

Поступило в редакцию 15.07.25.

Поступило с исправлениями 24.07.25.

Принято в печать 05.12.25.

ВЛИЯНИЕ ЗАКРУТКИ ЛОПАТОК ВОЗДУШНОЙ ФОРСУНКИ МИКРОФАКЕЛЬНОГО ФРОНТОВОГО УСТРОЙСТВА В ТЕПЛОГЕНЕРАТОРЕ

В данной статье исследуется влияние закрутки лопаток воздушной форсунки на характеристики горения в микрофакельном фронтальном устройстве (МФФУ), применяемом в теплогенераторах. Целью исследования является повышение эффективности и устойчивости горения за счёт оптимизации аэродинамических параметров воздушного потока. Рассматриваются различные углы закрутки и их воздействие на формирование факела, устойчивость пламени, полноту сгорания топлива и технико-экономические показатели установки.

Проведён анализ аэродинамических и тепловых процессов в зоне горения при различных схемах вихревого течения воздуха. Установлено, что оптимальный угол закрутки способствует улучшению стабилизации пламени, снижению выбросов вредных веществ и повышению энергоэффективности теплогенератора.

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании энергосберегающих теплогенераторов нового поколения. Эти данные свидетельствуют о высокой эффективности микрофакельного горения с точки зрения как энергопотребления, так и экологической безопасности. Представлены графики и схемы, иллюстрирующие характер выявленных зависимостей. Данная работа актуальна для повышения энергоэффективности и экологической безопасности тепловых установок, используемых для сушки продукции в промышленности и малых и средних предприятиях сельского хозяйства. Выводы статьи подтверждает практическую значимость параметрической оптимизации элементов форсуночных систем.

Ключевые слова: фронтное устройство, теплогенератор, воздушная фрсунка, камера сгорания, NOx.

*A. M. Dostiyarov¹, *A. N. Sapargaliyeva²,*

M. E. Tumanov³, G. S. Katranova⁴

^{1,3}Gumarbek Daukeev Energo University,

Republic of Kazakhstan, Almaty;

²S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,

Republic of Kazakhstan, Astana;

⁴British American Tobacco, Republic of Kazakhstan, Almaty.

Received 15.07.25.

Received in revised form 24.07.25.

Accepted for publication 05.12.25.

EFFECT OF AIR NOZZLE BLADE SWIRL ON COMBUSTION CHARACTERISTICS IN A MICROTORCH FRONT DEVICE

This article examines the effect of air nozzle blade swirl on combustion characteristics in a microtorch front device (MTFD) used in heat generators. The aim of the study is to improve combustion efficiency and stability by optimizing the aerodynamic parameters of the air flow. Various swirl angles and their impact on flame formation, flame stability, fuel combustion completeness, and technical and economic performance of the unit are considered.

An analysis of aerodynamic and thermal processes in the combustion zone was carried out for various vortex air flow patterns. It was found that the optimal swirl angle improves flame stabilization, reduces emissions of harmful substances, and increases the energy efficiency of the heat generator.

The results obtained can be used in the design of new-generation energy-saving heat generators. These data indicate high efficiency of microtorch combustion in terms of both energy consumption and environmental safety. Graphs and diagrams illustrating the nature of the identified dependencies are presented. This work is relevant for improving the energy efficiency and environmental safety of thermal installations used for drying products in industry and small and medium-sized agricultural enterprises. The conclusions of the article confirm the practical significance of parametric optimization of nozzle system elements.

Keywords: front device, heat generator, air nozzle, combustion chamber, NOx.

Теруге 17.12.2025 ж. жіберілді. Басуға 30.12.2025 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Mb RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4494

Сдано в набор 17.12.2025 г. Подписано в печать 30.12.2025 г.

Электронное издание

29.9 Mb RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4494

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz