

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

№ 2 (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/NRPL3020>

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/KTON6739>

***Л. Н. Есмаханова¹, С. Ж. Кулманова², Б. Б. Исабекова³,
Ж. Б. Исабеков⁴, Ә. Б. Сағындық⁵**

^{1,2}М. Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті,

Қазақстан Республикасы, Тараз қ.;

^{3,4,5}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3308-9676>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5540-4262>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5044-3211>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3980-1617>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0376-2150>

*e-mail: laura060780@mail.ru

ЖАЛЫННЫҢ ҚҰРЫЛЫМЫН ЗЕРТТЕУ КЕЗІНДЕ КӨПАРНАЛЫ ТАЛШЫҚТЫ-ОПТИКАЛЫҚ ӨЛШЕУ ЗОНДЫН ПАЙДАЛАНУ

Жалыннан шығатын сәуледегі ақпараттарды қолдану жану процесінің күйін бағалаудағы негізгі әдістің бірі болып табылады. Тәжірибеде мұндай зерттеуді қарапайым әдіспен, яғни минимал диагностикалық сигналдарды пайдаланып жүргізу маңызды. Жалынның атап айтқанда турбулентті шаң жалынының құрылымы біртекті емес болғандықтан, оттықтың жұмысшы нүктесінің өзгерісіне жалынның қай бөлігі сезімтал келеді деген сұрақ туындайды. Мақалада жалынның анықтауға болатын бірнеше гана геометриялық параметрлері қарастырылған. Олардың жану процесінің аномалды, яғни тұрақсыз жану күйін анықтауға жарамдылығы бағаланды. Процесті бағалауға қажетті көптеген айнымалыларды интерпретациялау күрделі болғандықтан олардың пайдасы болмады. Айнымалылар санын қысқару мақсатында, сондай-ақ, ұсынылған көрсеткіштердің жану стехиометриясының өзгерісіне сезімтал екенін анықтауда негізгі компоненттерді талдау қолданылды. Жұмыста кескіндерді өңдейтін бейне жолақтың жалынның жытылықтау жиілігіндегі ақпаратты қолданып, белгілі бір деңгейде жану процесін диагностикалауыны көрсетілді. Жоғарыда айтылған көрсеткіштердің мәндері зерттелетін жалын

мен камераның өзара орналасуына тәуелді. Осы себептен камераны екі түрлі орынға орналастырып сыналды. Жалын пішінін талдау мен жалынның пульсация жиілігін талдаумен біріктіру жақсы нәтиже беретін сияқты.

Мақаланың ғылыми жаңалығы – шығарылатын қалдықтар деңгейін азайтатын жану технологияларын енгізу арқылы жанама әсерлерді барынша азайту мақсатында жану процесінің диагностикасын қолдану қажеттігіне негізделеді. Сонымен қатар, диагностикалық сигнал ретінде Фурье дескрипторы түрінде өрнектелген жану пішінін қолдану мүмкіндігі де зерттелді.

Кілтті сөздер: жалын, жану, диагностика, сигнал, цифрлық камера, басқару.

Кіріспе

Көмір тозаңының жану процесі, әсіресе өнеркәсіп салаларындағы шарттарда күрделілік деңгейі жоғары технологиялық процестер [1]; [2]; [3] тобына жатады. Бұл осы процестен пайда болатын құбылыстардың сипатына және жоғарғы температура, шаң, дірілмен тікелей әсерлесетін диагностикалық қондырғының жұмыс істеу шарттарына байланысты. Жану процесін диагностикалау оптикалық ақпарат тасымалдаушы арқылы жүргізілгенде бұл мәселе одан сайын өзекті болады.

Жалынның әртүрлі облысынан келетін оптикалық сигналдарды талдауға мүмкіндік беретін оптикалық каналдар санының артуы кескіндерді өңдеудің сапалы өзгерісіне әкелді.

Бұл өзгерістің салдары әртүрлі. Бір жағынан кескіндерді өңдеу алгоритмі есебінен мәліметтерді талдау мүмкіндіктері көбейеді, екінші жағынан, нақты уақыт мезетінде өте үлкен көлемдегі ақпаратты өңдеу мәселесі туындайды. Бұл мәселе нақты уақыт мезетінде, яғни $1/50$ с уақытта жану процесінің диагностикалық сигналдары ретінде жалын пішінінің геометриялық параметрлерін қолдануға түрткі болды. Осы мақсатта MVtec Software Halcon кітапханасын қолданып бағдарламалық қамтамасыздандыру жасалды.

Жану процесін диагностикалау мақсатында жалын пішінінің ерекшеліктерін қолдану Люблин техникалық университетіндегі (Польш арнайы стендте зертханалық сынақ барысында тексерілді. Оптикалық бөлшектерге шаң тимесе және тиісті суыту шарттары орындалатын болса, ол өндірісте де жұмыс істей алады.

Кескінді алу жылдамдығы шамамен 100 кадр/сек артатын заманауи камераны диагностикалық станцияға орнату арқылы қосымша жалынның пульсациясын бақылау үшін де қолдануға болады. Көп арналы талшықты – оптикалық өлшеуіш зондты қолданып жүргізілген көптеген зерттеулердің

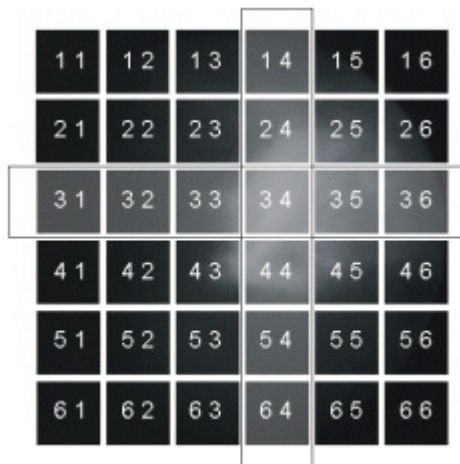
нәтижесі бойынша, көмір шаңының турбулентті жануы кезінде жалынның жыпылықтауы процесс үшін маңызды диагностикалық сигнал болып табылады [4].

Сонымен қатар, оттықтың бастапқы параметрлерінің (мысалы, ауа жанармай қоспасының құрамына, көмір шаңының параметрлеріне) өзгерісіне жалынның әртүрлі аймақтарының сезімталдығы әртүрлі болатыны, ал ең сезімтал зона оттыққа жақын орналасқаны анықталды. Сондықтан, кеңістіктегі осы облыстың орынын анықтау керек, ол оттықтың құрылымына, жану камерасына және оптикалық зондтың орнатылу орыны мен құрылымына тәуелді.

Камераның бейне трактісін қолдану, деңгейі оптикалық сәуленің қуатына тәуелді, кескінді түрлендіретін жарыққа сезімтал элементке түсетін электр сигналдарын белгілі бір уақыт интервалында генерациялауға әкеледі. Мұндай бейне трактінің жұмысы көп арналы талшықты – оптикалық өлшеуіш басына ұқсас болып келеді. Дегенмен, бұл жағдайдағы арналар саны шамадан тыс көп. Кескін датчигіне түсетін пиксельдер саны орта есеппен бірнеше жүз мыңнан бірнеше миллионға дейін барады.

Әрбір пиксельге тәуелсіз алынған сигнал негізінде жалынның жыпылықтау жиілігін зерттеу орасан үлкен есептеу қуатын қажет етеді. Басқаша айтқанда, сигналдың амплитудасы тек қана 8 – биттік болғандықтан мұндай талдауды қиындатады. Егер пиксельдерді кез келген пішін мен әртүрлі өлшемдерде бола алатын блоктарға топтастыратын болсақ, онда мұндай шектеулерді болдырмауға болады. Мұндай блокпен байланысқан сигналдың амплитудасы, топқа кіретін пиксельдердің барлық сигналдарының амплитудасына тәуелді болады [4].

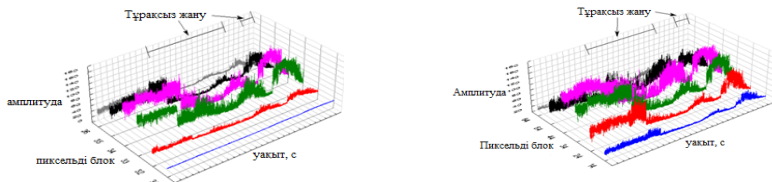
Жоғарыда баяндалған идеяны іске асырудың қарапайым мүмкіндігі 1-суретте көрсетілген. Өлшемдері 384x384 пиксельді құрайтын кескін өлшемдері 64x64 пиксель болатын тең тікбұрышты бөліктерге бөлінді. Осылайша, кескін теңдей 36 бөлікке бөлінді. Әрбір блок үшін анықталған қорытынды амплитуда, оның барлық пиксельдері құраушыларының амплитудасының орташа мәніне тең болады деп болжамдалды. 2-суретте көрсетілген уақыт қатары мен пиксельдер блоктары ерекше белгіленген.



1-сурет – Кескіннің өлшемдері 64х64 пиксельді құрайтын теңдей 36 бөлікке бөлінуі

Материалдар мен әдістері

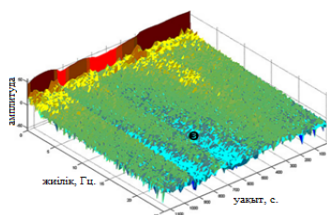
Бір секундта 100 кескін алатын мәліметтерді жинауға қажетті жылдамдық алу үшін 36 уақыт қатары алынды, олардың амплитудалары пиксельдің әрбір блогына түсетін сәуле энергиясының санына тәуелді. Дискретизация теоремасы бойынша, талданатын жағдайдағы жиілігі 100 Гц сигналды дискретизациялағанда жалынның жыпылықтау жиілігі 50 Гц аспайтын шамалармен анықталады [4]. Зертханалар мен жалынды бақылау жүйесі қолданылатын өндірістерде жалын тозаңының пульсациясын зерттеуге арналған бірқатар жүргізілген тәжірибелер нәтижесі, жиіліктің басым бөлігі шамамен бірнеше бірлік және ондық Гц диапазонында болатынын көрсетеді. Тұрақтылық тестін жүргізу барысында таңдалған сигналдардың пішіні 2-суретте көрсетілген.



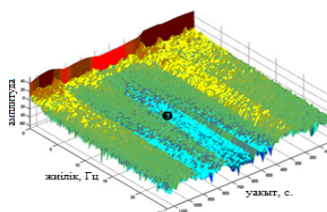
2-сурет – Көлденең және тігінен орналасқан 6 пиксельдер блогынан алынған сигналдар. Пиксельдер блогының белгіленуі 1-суретте көрсетілген

Жалынның тұрақтылығының өзгерісі 2-суретте көрсетілгендей, сигнал амплитудасының деңгейіне әсер етеді, ең көп әсер қарастырылып отырған кескіннің (1 сурет) центріндегі пиксельдер блогына келеді.

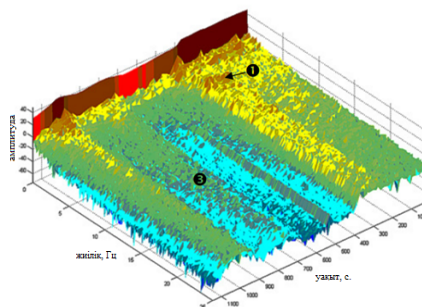
Алынған сигналдар стационар емес болғандықтан, жиілік облысында оларды талдау үшін әдістерді қолдану қажеттілігі туындайды. 2-суретте көрсетілген сигналдардың спектрограммасы сәйкесінше 3 және 4 суреттерде көрсетілген, олар 0÷30 Гц диапазонында ұзындығы 4096 нүкте болатын Хэннинг терезесін қолданып анықталды.



34 блок

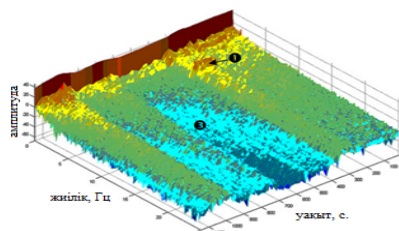


35 блок

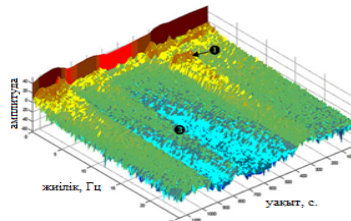


36 блок

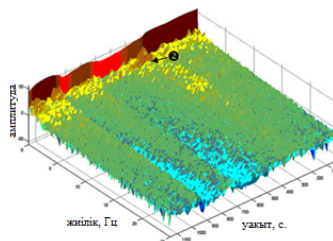
3-сурет – Көлденең бағытта орналасқан пиксельдер блогы үшін анықталған спектрограммалар. Блоктардың белгіленуі 1-суретте көрсетілген



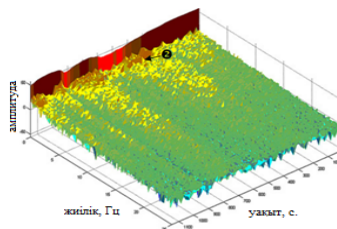
41 блок



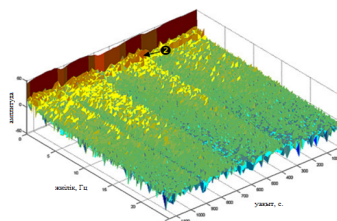
24 блок



34 блок



44 блок



54 блок

4-сурет – Тік бағытта орналасқан пиксельдер блогы үшін анықталған спектрограммалар. Блоктардың белгіленуі 1-суретте көрсетілген

Жоғарыда көрсетілген спектрограммалардан көріп отырғанымыздай, барлық сигналдардың спектрограммасында жалынның жыпылықтауы көптеген жағдайда 0-ден шамамен 3 Гц төменгі жиіліктерде кездескен. Спектр пішінінің лездік өзгерісі бойынша жану процесі шарттарының өзгергенін көруге болады. Олар әрбір пиксельдер блогына сәйкес келетін сигналдар үшін әртүрлі. Мысалы, шамамен 15:35:00 – 15:36:50 аралығында болатын екінші ретті ауа ағынын азайту арқылы 36,41,24 пиксельдер блогы үшін шамамен 4 Гц жиілікті туғызады, ол 3 және 4 суреттерде 1 санымен белгіленген. Кенеттен

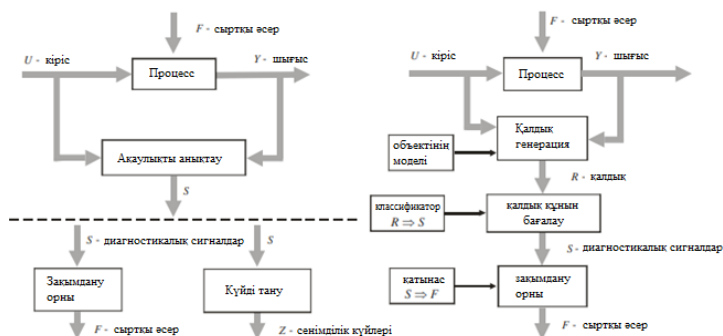
бірінші ретті ауа шығынын арттыру кезінде жалынның тұрақтылығы жоғалады, 34,44,54 блоктар үшін қысқа уақыт аралығында шамамен 1 Гц (2 санымен белгіленген) жиілік пайда болады және 5 Гц (3 санымен белгіленген) жоғары диапазонда жиілік үлесін азайтқанда 35,36,41,24 блоктар үшін ерекше көрінеді.

Спектрограмма үлгілерін талдау нәтижесінен жалынның пульсация жиілігін анықтау үшін кескінді бірінен соң бірін тізбектей қолдану мүмкін екенін байқадық. Жалынның жыпылықтау жиілігі жану процесі күйінің тұрақты еместігін көрсетеді және диагностикалық сигнал ретінде қарастыруға болады.

Жалынды бақылаудың талшықты – оптикалық жүйесінің құрамына кіретін, көп арналы оптикалық зондтың көмегімен жалын пульсациясын зоналық талдауға болады [5]. Осы мақсатта кескіндерді өңдейтін бейне жолақты қолдану күрделі әрі жалынды бақылау жүйесімен салыстырғанда қымбаттырақ шешім болып табылады. Зерттеу нәтижесі бойынша, жалынның жыпылықтау жиілігіндегі ақпараттарды пайдаланып жану процесін де диагностикалауға болады. Бұл жану процесін диагностикалау кезінде жалынның геометриялық сипаттамаларын талдауға ғана негізделген кескінді өңдеу жүйесінің мүмкіндіктерінің айтарлықтай ұлғаюы екенін атап өткен жөн.

Контактілі емес және кішкене кідірістердің болуына қарай жалын пішінінің геометриялық ерекшеліктері мен оның фурье – дескрипторларын қатыстырып диагностикаланатын процесс туралы оптикалық ақпарат тасымалдаушы қолданылды.

Ұсынылып отырған көмір тозаңы отынының жану процесінің диагностикасы процесс моделін қолданбай (5-сурет) схема бойынша жүргізілді және жану күйінің тұрақсыз диагностикасын да қамтиды. Осы процесті құраушы құбылыстардың күрделілік деңгейі өте жоғары болғандықтан, процесс моделін қолданып диагностика схемасын іске қосу мүмкін емес.



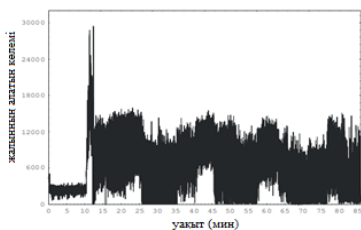
5-сурет – Процесті диагностикалау схемасы:
процесс моделін қолданбай, процесс моделін қолданып [6]

Нәтижелер және талқылау

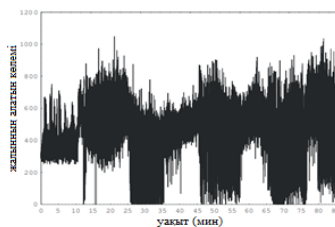
Зертханалық стендте жүргізілген сынақ ауа – отын қатынасын өзгерту есебінен жану күйінің тұрақсыздығын мәжбүрлі түрде алу арқылы жүргізілді.

Жану процесін кескіндерді өңдеу әдісінің көмегімен диагностикалау үлгілерді оқи алатын диаграммаға негізделген [7]. Дегенмен, жану күйінің тұрақсыздығы нақты түсінік емес. Сондықтан, мұндай әдіс берілген шарттарда (оттықтың түрі, жану камерасы) барлық кіріс параметрлері үшін (көмірдің физика – химиялық қасиеттері, шығыны, ұнтақталуы, таралуы және ауа шығыны және т.б.) алдын ала сынақ жүргізуді талап етеді [8]. Берілген оттық пен жану камерасы үшін, камераны нақты баптап жүргізілетін осындай сынақтар тұрақты жану күйіне сәйкес келетін диагностикалық сигналдардың моделдік мәндерін анықтауға мүмкіндік берер еді.

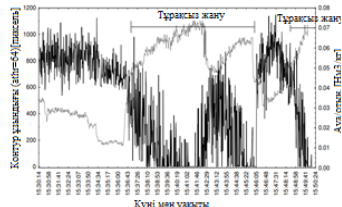
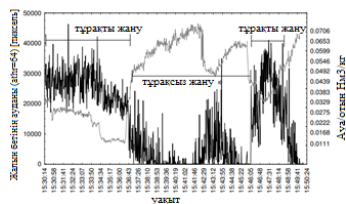
Жалынға қатысты камераны екі түрлі баптау кезінде жану процесінің тұрақтылығын зерттеу арқылы диагностикалық сигналдар ретінде жалын пішінінің геометриялық параметрлерінің тиімділігін бағалауға мүмкіндік береді [9]. Бұл зерттеулердің нәтижесі көрсеткендей, кіріс параметрлерінің (ауа – отын қатынасы) өзгерісіне жалынның беттік ауданы (а, ә сурет) мен жалын бөлігінің ұзындығындағы (б, в сурет) сигналдар ең сезімтал (дисперсия) болып келеді. Бұл аталған жұмыста ұсынылған жалынның геометриялық параметрлерінің негізгі компоненталарын талдаумен тұжырымдалады. Аталған параметрлер кеңістіктегі жалынның алатын көлемінің өлшемі болып табылады. Тұрақсыз жану күйі үшін жалынның беттік ауданы мен оның контурының кемігені, сондай ақ, талқыланып отырған параметрлер әртүрлілігі байқалды.



а) жану процесін сынау кезіндегі
жалын ауданының өзгерісі



ә) жану процесін сынау кезіндегі
жалын контуры ұзындығының
өзгерісі



б) үлгіні жандырып сынау кезіндегі жалын облысының беттік ауданының өзгерісі

в) жану процесін сынау кезіндегі жалын зонасы контурының ұзындығының өзгерісі

6-сурет – Жану процесін сынау кезіндегі жалынның өзгерісі

Кеңістіктегі жалын күйі өзгерісінің өлшемі болып табылатын көрсеткіштерді де ескеру керек, олар жалын ауданының ауырлық центрі және жалын шеті мен шаң оттығы жиегінің арасындағы арақашықтық. Жоғарыда айтылған көрсеткіштерді пайдаланып аномалды жану күйін анықтау үшін олардың уақыт бойынша өзгерісін талдау керек. Сондықтан, жану процесінің күйін жалынның жеке кескіндерін талдау негізінде емес, олардың реттілігін талдау негізінде анықтауға болады.

Қорытынды

Мақалада жалынның анықтауға болатын бірнеше ғана геометриялық параметрлері қарастырылған. Олардың жану процесінің аномалды, яғни тұрақсыз жану күйін анықтауға жарамдылығы бағаланды. Процесті бағалауға қажетті көптеген айнымалыларды интерпретациялау күрделі болғандықтан олардың пайдасы болмады. Айнымалылар санын қысқарту мақсатында, сондай-ақ, ұсынылған көрсеткіштердің жану стехиометриясының өзгерісіне сезімтал екенін анықтауда негізгі компоненттерді талдау қолданылды.

Жұмыста кескіндерді өңдейтін бейне жолақтың жалынның жыпылықтау жиілігіндегі ақпаратты қолданып, белгілі бір деңгейде жану процесін диагностикалауға көрсетілді. Жоғарыда айтылған көрсеткіштердің мәндері зерттелетін жалын мен камераның өзара орналасуына тәуелді. Осы себептен камераны екі түрлі орынға орналастырып сыналды.

Жалын пішінін талдау мен жалынның пульсация жиілігін талдаумен біріктіру жақсы нәтиже беретін сияқты. Жану процесінің ерекшеліктеріне байланысты анық және дәл емес өте үлкен көлемдегі ақпараттарды өңдеу жасанды интеллект алгоритмдерін қолдануды талап етеді [10]. Екінші жағынан, ақпараттарды тізбектелген кескін түрінде өңдеу қондырғыға жоғары талап қояды. Сондықтан, нақты уақыт режимінде жұмыс істейтін параллель өңдеу мүмкіндіктері бар алгоритмдерді оңтайландыру қажет. Бұл әсіресе қисық түрлендіру сияқты күрделі есептеу алгоритмдеріне қатысты.

Жану процесін диагностикалауда ұсынылған әдісте қарастырылатын тағы бір аспект, ол жалынның түсін пайдалану. Көрінетін жарық диапазонында жұмыс істейтін түрлі түсті камералар жалынның температурасын өлшеуге қолданыла алады [10].

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Farghali, M., Osman, A. I., Mohamed, I. M., Chen, Z., Chen, L., Ihara, I., & Rooney, D. W.** Strategies to save energy in the context of the energy crisis : a review // *Environmental Chemistry Letters*. – 2023. – Vol. 21(4). – P. 2003–2039.

2 **Sai, K. S., Petlovanyi, M. V., & Malashkevych, D. S.** A new approach to producing a prospective energy resource based on coalmine methane. // *IOP Conference Series : Earth and Environmental Science*. – 2023. – Vol. 1254(1). – P. 012068.

3 **Takyi, S. A., Zhang, Y., Si, M., Zeng, F., Li, Y., & Tontiwachwuthikul, P.** Current status and technology development in implementing low carbon emission energy on underground coal gasification (UCG) // *Frontiers in Energy Research*. – 2023. – Vol. 10. – P. 1051417.

4 **Есмаханова, Л. Н.** Управление процессом сжигания пылевидного угля с использованием передовых технологий : Монография. – Изд-во Тараз университеті, 2019. – 100 с.

5 **Yesmakhanova, L., Tulenbayev, M., Chernyavskaya, N., Beglerova, S., Kabanbayev, A., Abildayev, A., Maussymbayeva, A.** Simulating the coal dust combustion process with the use of the real process parameters // *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. – 2021. – Vol.16 (22). – P. 2395–2407.

6 **Wojcik, W., Smolarz, A., Kotyra, A., Komada, P.** Optimization of optical fiber probe for flame monitoring by application of finite element method // *Proceedings of SPIE. The International Society for Optical Engineering*. – 2000. – P. 131–137.

7 **Chmielniak, T.** Szanse i bariery w rozwoju technologii energetycznych paliw kopalnych // *Polityka Energetyczna*. – 2011. – Vol.14(2). – P. 23–34.

8 **García-Armingol, T., Ballester, J., Smolarz, I. A.** Chemiluminescence-based sensing of flame stoichiometry: Influence of the measurement method // *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. – Vol.46(9). – 2013. – P. 3084–3097.

9 **Xu, L., Tan, C., Li, X., Cheng, Y.** Fuel-Type Identification Using Joint Probability Density Arbiter and Soft-Computing Techniques // *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. – Vol.61 (2). – 2012. – P. 286–296.

10 **Wójcik, W., Gromaszek, K., Kotyra, A., Jagiello, Z.** Opracowanie modeli dla kompleksowego systemu sterowania procesem spalania w kotle energetycznym // Przegląd Elektrotechniczny. – Vol. 86 (10). – 2010. – P. 136–139.

REFERENCES

1 **Farghali, M., Osman, A. I., Mohamed, I. M., Chen, Z., Chen, L., Ihara, I., & Rooney, D. W.** Strategies to save energy in the context of the energy crisis: a review // Environmental Chemistry Letters. – 2023. – Vol. 21(4). – P. 2003–2039.

2 **Sai, K. S., Petlovanyi, M. V., & Malashkevych, D. S.** A new approach to producing a prospective energy resource based on coalmine methane // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2023. – Vol. 1254(1). – P. 012068.

3 **Takyi, S. A., Zhang, Y., Si, M., Zeng, F., Li, Y., & Tontiwachwuthikul, P.** Current status and technology development in implementing low carbon emission energy on underground coal gasification (UCG) // Frontiers in Energy Research. – 2023. – Vol.10. – P. 1051417.

4 **Esmaxanova, L. N.** Upravlennie processom szhiganiya py'levidnogo uglya s ispol'zovaniem peredovy'x texnologij : Monografiya. [Control of the pulverized coal combustion process using advanced technologies : Monograph]. – Izd-vo Taraz universiteti, 2019. – 100 p.

5 **Yesmakhanova, L., Tulenbayev, M., Chernyavskaya, N., Beglerova, S., Kabanbayev, A., Abildayev, A., Maussymbayeva, A.** Simulating the coal dust combustion process with the use of the real process parameters // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2021. – Vol.16 (22). – P. 2395–2407.

6 **Wojcik, W., Smolarz, A., Kotyra, A., Komada, P.** Optimization of optical fiber probe for flame monitoring by application of finite element method // Proceedings of SPIE. The International Society for Optical Engineering. – 2000. – P. 131–137.

7 **Chmielniak, T.** Szanse i bariery w rozwoju technologii energetycznych paliw kopalnych [Opportunities and barriers in the development of fossil fuel energy technologies] // Polityka Energetyczna. – 2011. – Vol.14(2). – P. 23–34.

8 **Garcia-Armingol, T., Ballester, J., Smolarz, I. A.** Chemiluminescence-based sensing of flame stoichiometry: Influence of the measurement method // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – Vol.46(9). – 2013. – P. 3084–3097.

9 **Xu, L., Tan, C., Li, X., Cheng, Y.** Fuel-Type Identification Using Joint Probability Density Arbiter and Soft-Computing Techniques // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – Vol. 61 (2). – 2012. – P. 286–296.

10 Wójcik, W., Gromaszek, K., Kotyra, A., Jagiello, Z. Opracowanie modeli dla kompleksowego systemu sterowania procesem spalania w kotle energetycznym [Development of models for a comprehensive control system for the combustion process in an energy boiler] // Przegląd Elektrotechniczny. – Vol. 86 (10). – 2010. – P. 136–139.

14.01.25 ж. баспаға түсті.

17.01.25 ж. түзетулерімен түсті.

03.06.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

*Л. Н. Есмаханова¹, С. Ж. Құлманова², Б. Б. Исабекова³,

Ж. Б. Исабеков⁴, А. Б. Сағындық⁵

^{1,2}Таразский региональный университет имени М. Х. Дулати,

Республика Казахстан, г. Тараз;

^{3,4,5}Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар.

Поступило в редакцию 14.01.25.

Поступило с исправлениями 17.01.25.

Принято в печать 03.06.25.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОКАНАЛЬНОГО ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ЗОНДА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СТРУКТУРЫ ПЛАМЕНИ

Использование информации в луче, излучаемом пламенем, является одним из основных методов оценки состояния процесса горения. На практике важно проводить такое исследование простым методом, то есть с использованием минимальных диагностических сигналов. Поскольку структура пламени, в частности турбулентного пылевого пламени, неоднородна, возникает вопрос, какая часть пламени чувствительна к изменению рабочей точки горелки. В статье рассматривается лишь несколько геометрических параметров пламени, которые можно определить. Оценивалась их пригодность для определения аномального, то есть неустойчивого состояния горения процесса горения. Многие переменные, необходимые для оценки процесса, оказались бесполезными из-за сложности интерпретации. В целях сокращения числа переменных, а также определения чувствительности представленных показателей к изменению Стехиометрии сгорания, использовался анализ основных компонентов. В работе было показано, что видеополоска, обрабатывающая изображения, использует информацию с частотой

мерцания пламени для диагностики процесса горения на определенном уровне. Значения вышеуказанных показателей зависят от взаимного расположения исследуемого пламени и камеры. По этой причине камеру протестировали, поместив ее в два разных места. Сочетание анализа формы пламени и анализа частоты пульсации пламени, кажется, дает лучшие результаты.

Научная новизна статьи заключается в необходимости применения диагностики процесса горения с целью минимизации побочных эффектов путем внедрения технологий горения, снижающих уровень выбрасываемых отходов. Кроме того, была исследована возможность использования формы горения, выраженной в виде дескриптора Фурье, в качестве диагностического сигнала.

Ключевые слова: пламя, горение, диагностика, сигнал, цифровая камера, управление.

**L. Yesmakhanova¹, S. Kulmanova², B. B. Issabekova³,*

Z. B. Issabekov⁴, A. B. Sagyndyk⁵

^{1,2}M. Kh. Dulaty Taraz Regional University, Republic of Kazakhstan, Taraz;

^{3,4,5}Toraigyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Received 14.01.25.

Received in revised form 17.01.25.

Accepted for publication 03.06.25.

USING A MULTICHANNEL FIBER-OPTIC MEASURING PROBE IN FLAME STRUCTURE INVESTIGATION

The use of information from the radiation emanating from the flame is one of the main methods for assessing the state of the combustion process. In practice, it is important to conduct such a study in a simple way, that is, using minimal diagnostic signals. Since the structure of the flame, in particular the turbulent dust flame, is not homogeneous, the question arises as to which part of the flame is sensitive to changes in the Working point of the burner. The article discusses only a few geometric parameters of the flame that can be determined. Their suitability for determining the anomalous, that is, unstable state of combustion of the combustion process was evaluated. They were of no use because the interpretation of many of the variables necessary to evaluate the process was complex. In order to reduce the number of variables, as well as to determine whether the proposed indicators are sensitive to changes in combustion stoichiometry, the analysis of the main components was used. The work showed that a

video strip processing images, using information from the frequency of flame flashes, diagnoses the combustion process at a certain level. The values of the above indicators depend on the relative position of the studied flame and the chamber. For this reason, the camera was tested by placing it in two different locations. The combination of flame shape analysis and flame pulsation frequency analysis seems to give good results.

The scientific novelty of the article is based on the need to use diagnostics of the combustion process in order to minimize side effects by introducing combustion technologies that reduce the level of waste produced. In addition, the possibility of using an embossed combustion shape in the form of a Fourier descriptor as a diagnostic signal was also studied.

Keywords: flame, burning, diagnosis, signal, digital camera, control.

Теруге 09.06.2025 ж. жіберілді. Басуға 30.06.2025 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Mb RAM

Шартты баспа табағы 25,6. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректорлар: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс №4417

Сдано в набор 09.06.2025 г. Подписано в печать 30.06.2025 г.

Электронное издание

29.9 Mb RAM

Усл. печ. л. 25,6. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректоры: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4417

«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

Е-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz