

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 (2026)

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/BGQF2124>

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>
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>
Шеръязов С. К.	<i>т.ғ.д., профессор (Российская Федерация)</i>
Искакова З. С.	<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/BGQF2131>

***Л. Н. Есмаханова¹, В. Вуйцик², Ж. Б. Исабеков³,
Д. С. Узбекова⁴, П. А. Дунаев⁵**

^{1,4}М. Х. Дулати атындағы Тараз университеті,

Қазақстан Республикасы, Тараз қ.;

²Люблин политехникалық университеті, Польша, Люблин қ.;

³Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.;

⁵С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,

Қазақстан Республикасы, Астана қ.

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

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0843-8053>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3980-1617>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3271-6917>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0379-315X>

*e-mail: laura060780@mail.ru

БИОМАССАНЫ КӨМІРМЕН БІРГЕ ЖАҒУ – ТӨМЕН КӨМІРТЕКТІ ЭНЕРГИЯҒА КӨШУ

Қазақстан электр энергиясының айтарлықтай бөлігін көмірді, соның ішінде төмен сұрыпты көмірді пайдаланып өндіреді, бұл қолданыстағы энергетикалық жүйені бұзбай шығарындыларды азайту үшін үлкен әлеует жасайды. Әлемдік климаттың өзгеруі және қоршаған ортаны қорғау ережелерінің күшеюіне байланысты энергетика саласы парниктік газдар шығарындылары мен зиянды ластаушы заттарды азайту қажеттілігіне тап болуда. Бұл мәселенің бір перспективалы шешімі – жоғары қуатты қазандықтарда биомасса мен көмірді бірге жағу. Ұсынылып отырған технология дәстүрлі қазба отындарын жаңартылатын энергиямен ішінара ауыстыруға мүмкіндік береді, бұл қолданыстағы электр станцияларын айтарлықтай қайта құрусыз көміртегі ізін азайтады. Биомассаны газдандыру – биомассадан газ тәрізді отын алу үшін қолданылатын технология – айқын шығындар артықшылықтарына байланысты мұнай мен табиғи газды пайдалануды тікелей жеңілдетеді. Сондықтан мақалада газ генераторларына талдау

жасалынған. Зерттеу биомассаны, көбінесе алдын ала ұнтақтаудан кейін көмірмен бірге жағылатын отын ретінде пайдаланатын зертханалық және өнеркәсіптік зерттеулердің нәтижелеріне бағытталған. Зертханада биомасса бірге жағу арқылы қосымша отын ретінде газ тәрізді немесе қатты түрге айналдырылды. Ұсынылған тәсіл әлеуеті мен шектеулерін түсіну энергетика секторын жаңғырту және тұрақты даму мақсаттарына қол жеткізудің тиімді стратегияларын әзірлеу үшін өте маңызды.

Кілтті сөздер: диагностика, газдандыру процесі, жаңартылатын энергия көздері, биомассаны жағу, газдандыру қондырғысы.

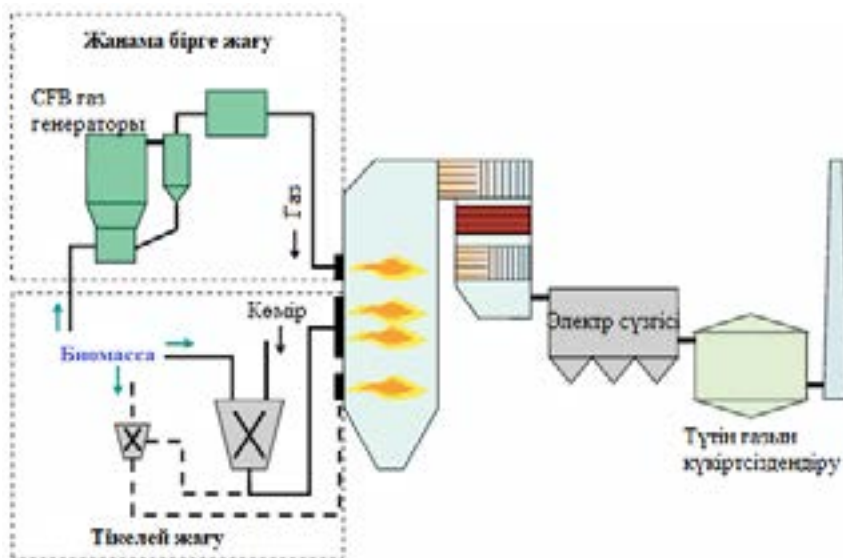
Кіріспе

Қазақстан электр энергиясының айтарлықтай бөлігін көмірді, соның ішінде төмен сұрыпты көмірді пайдаланып өндіреді, бұл қолданыстағы энергетикалық жүйені бұзбай шығарындыларды азайту үшін үлкен әлеует жасайды. Климаттық мақсаттар аясында парниктік газдар шығарындылары мен жергілікті ластаушы заттарды азайту бірлесіп от жағуды тартымды өтпелі шешімге айналдырады.

Биоэнергетика табиғи қазба отындарына балама ретінде биологиялық отын өндіруге бағытталған. Биологиялық отынның даусыз артықшылығы – олардың қазба отындарымен салыстыруға болатын жылу құндылығы болғанымен, оларды үздіксіз жаңартуға болады.

Биомассаны көмірмен бірге жағу шикі биомасса мен көмірді пешке тікелей беруді қамтиды. Заманауи, жоғары қуатты қазандықтарда биомассаны бірге жағу кезінде салыстырмалы түрде аз капиталдық инвестицияларды қажет етеді. Жоғары тиімділік пен шығындардың тиімділігін сақтай отырып, көмірқышқыл газының шығарындыларын азайту маңызды факторға айналады. Көмір мен табиғи газды тұтынуды азайтумен қатар, газды биомассамен бірге жағуды енгізу SO_2 , NO_x және CO_2 шығарындыларын азайтады [1].

Польша мемлекетіндегі Люблин политехникалық университет зертханасында жасалынған тәжірибе көрсеткендей, үлкен қазандықтың жылу тиімділігінің 5-10 %-ында биомассаны бірге жағу, әдетте жабдықты айтарлықтай өзгертуді қажет етпейді. Бұл тек 1-суретте көрсетілген нұсқалардың бірі болып табылатын тікелей бірге жағуға ғана қатысты екенін атап өткен жөн. Дегенмен, жанама бірге жағу айтарлықтай қосымша инвестицияларды қажет етеді.



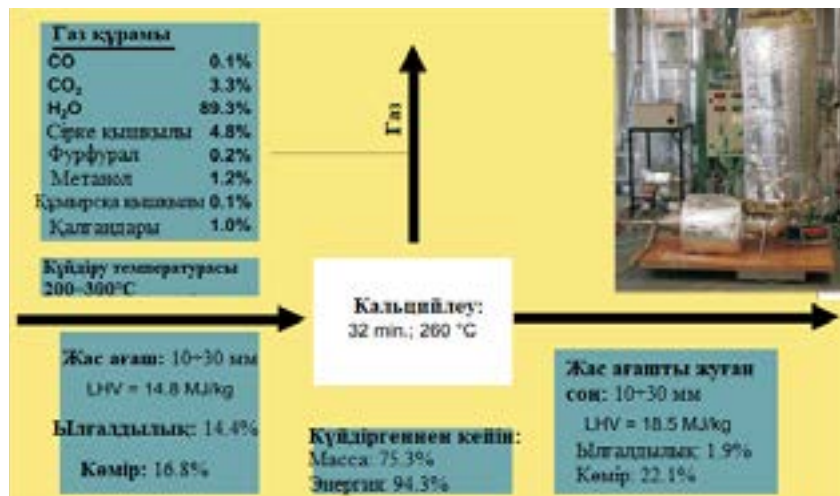
1-сурет – Жоғары қуатты қазандықтарда биомассаны көмірмен бірге жағу мүмкіндіктері

2-суретте биомассаны көмірмен жанама түрде бірлесіп жағудың тағы бір танымал мысалы көрсетілген. Бұл көмірмен жұмыс істейтін AMER 9 энергетикалық блогымен бірге жұмыс істейтін 29 МВт газдандыру қондырғысы [2].

Материалдар мен әдістері

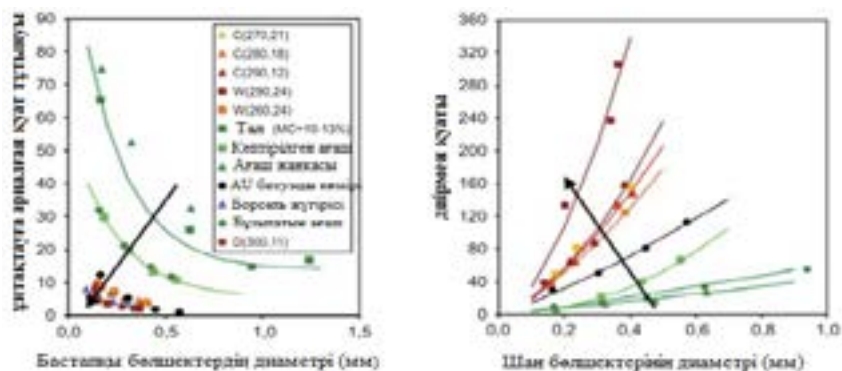
Биомассаны газдандыру қатты органикалық қалдықтарды таза, жанғыш синтездік газға ($\text{CO} + \text{H}_2$) айналдырады. Бұл таза энергия өндіруге мүмкіндік береді, қазба отынына тәуелділікті азайтады, қалдықтарды қайта өңдейді және химия өнеркәсібіне арналған компоненттер шығарады.

Газдандыру – ғимараттарды бұзудан қалған ағашты қайта өңдеудің қолайлы технологиясы, ол көптеген елдерде консерванттармен, бояулармен, желімдермен және басқа да заттармен қатты ластанған. Қоршаған ортаны қорғаудың қатаң талаптарына байланысты алынған газды мұқият тазартып, содан кейін көмір шаңы бар қазандықта жағу керек. Ластанған ағашты көмірмен тікелей бірге жағу үшін түтін газдарын тазарту қажет, ол газдың көлемінен айтарлықтай асып түседі, оны жағу алдында тазалау қажет. Айта кету керек, AMER электр станциясы дәстүрлі биомассаны көмірмен тікелей жағуға мүмкіндік береді. Бұл биомасса осы мақсатта аздап өзгертілген



3-сурет – Тал үгінділерін жағу нәтижелері

Биомассаны күйдіру температурасы 200–300 °C, оттегі болмаған кезде, атмосфералық қысымға жақын қысымда, жаңқаның қалыңдығы 40 мм-ден аз, күйдіру уақыты 10–30 минут және қыздыру жылдамдығы <50 °C/мин болуы керек. Күйдіру кезінде газсыздандыру массаның 30 %-ға дейін жоғалуына (негізінен булануға байланысты) және жылу құндылығының 10 %-ға дейін төмендеуіне әкелуі мүмкін. Нәтижесінде пайда болған газ (нашар сапалы) жағылады.



4-сурет – Күйілген биомассаға арналған диірмендердің өнімділігі

Биомасса мен балама отынды болашақта стандарттау қазандық операторларына да, отын жеткізушілеріне де пайда әкеледі.

Биомассаны газдандырудан алынған газды пайдалануды жиі анықтайтын маңызды фактор – оның тазарту деңгейі. Бұл мәселе 1-кестеде қорытындыланған.

1-кесте – Газдандырудан газды тазарту

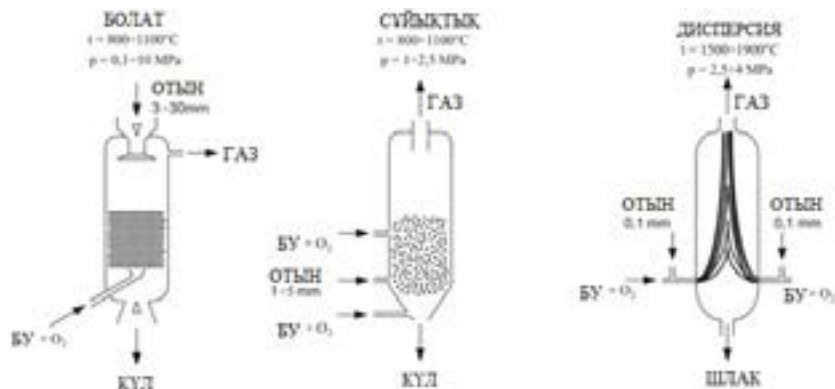
Ластану	Ластаушы заттың табиғаты	Газды тазартудың практикалық әдістері
Шайыр	Шайырлардың құрамында креозоттар бар, олар қайнау температурасы 200-215 °C болатын күрделі көмірсутектер.	Ылғал скрубберлерді, каталитикалық түрлендіргіштерді және электростатикалық сүзгілерді пайдалану
Қатты бөлшектер	Күл мен өңделмеген биомассасы бар қатты бөлшектер	Циклондарды, электростатикалық шөгінділерді, пакеттік сүзгілерді және дымқыл тазалағыштарды пайдалану
Сілтілік қосылыстар	Биомассаға кіретін калий, тұздар және сілтілі булар	Газды <650 °C температураға дейін салқындату арқылы сілті буларының конденсациясы. Циклондарды, электростатикалық және қапшық сүзгілерін, сондай-ақ ылғалды тазалағыштарды пайдалану
Аммиак	Аммиак отын мен ауадағы азот пен сутектен түзіледі	Катализаторларды, ылғалды скрубберлерді және көмірсутектерді риформингті қолдану

Ұзақ мерзімді перспективада қуаты бірнеше жүз киловаттан бірнеше мегаваттқа дейінгі шағын көлемді биомасса газдандыру жүйелері қажет болуы мүмкін. Бұлар орталықсыздандырылған энергетикалық жүйелердің негізін құра алады [3].

Газдандыру процесі газификациялағыштар деп аталатын құрылғыларда жүзеге асырылады. Отын қабатының түріне байланысты бұл құрылғыларды келесі санаттарға бөлуге болады (4-сурет):

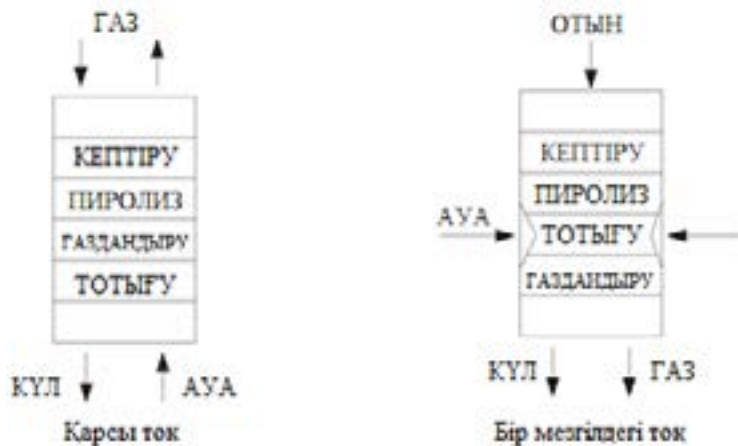
- бекітілген қабатты газификациялағыштар,
- сұйық қабатты газификациялағыштар,
- ішке қарай орналасқан қабатты газификациялағыштар.

Бекітілген қабатты реакторларда түйіршік өлшемі әдетте 5-тен 80 мм-ге дейінгі отын шамамен 1000 °C температурада газдану процесінен өтеді.



5-сурет – Газ генераторларының түрлері

Тұрақты қабатты генераторлар 10 МВт-тан аз шағын және орта қуатты қондырғылар үшін қолданылады.



6-сурет – Бекітілген қабатты газдандыру реакторлары

Сұйық қабатты реакторлардағы газдандыру процесі бекітілген қабатты реакторларға қарағанда үнемдірек. Күрделілігіне байланысты бұл технология жоғары қуат шығыстары үшін қолданылады (10–100 МВт). Сонымен қатар, сұйық қабатты генераторлар жоғары жылу және масса алмасу жылдамдығымен, жақсы қатты фазалы араластырумен және көміртекті жоғары конверсиямен сипатталады,

көбінесе 100 %-ға жетеді [4–7]. Сұйық қабатты реакторлардың маңызды артықшылығы – сапасы төмен отынды пайдалану мүмкіндігі және реакцияны жеделдету үшін қабатқа катализаторларды қосу мүмкіндігі. Сұйық қабатты реакторлардың кемшіліктеріне олардың шағын көлемде үнемді емес жұмыс істеуі және пайдалану шығындарының жоғары болуы жатады.

Отынды газдандыру отын мен газдаушы агенттің ағынды қоспасында жүреді. Бұл реакторлар жоғары жұмыс температурасымен сипатталады. Органикалық ластаушы заттардың мөлшері аз газ өндіруге мүмкіндік береді. Дегенмен, мұндай жоғары температура құрылыс материалдарын таңдауда және күлдің балкуында қиындықтар туғызады. Отын бөлшектерінің реакторда болу уақыты шамамен 1 секундты құрайды. Реактивті реакторлардағы отынды түрлендіру 100 %-ға жетуі мүмкін. Қазіргі уақытта биомасса газдандыру үшін осы реакторлармен тәжірибе шектеулі. Іс жүзінде бұл реакторлар негізінен көмір мен мұнай өңдеу қалдықтарын газдандыру үшін қолданылады.

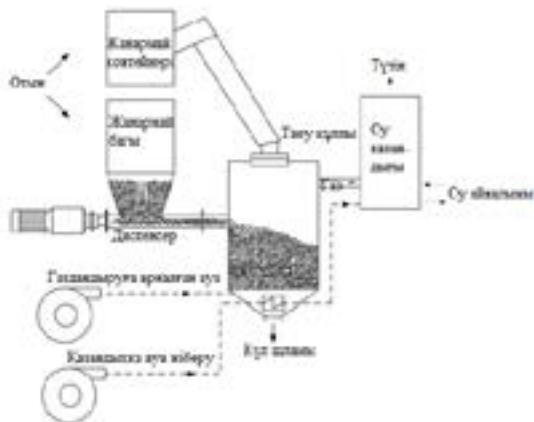
Газдандыру процесі үшін қажетті энергия көзіне байланысты газификациялағыштарды автотермиялық немесе аллотермиялық деп жіктеуге болады:

– Автотермиялық – жылу реактордағы шикізаттың ішінара тотығуы арқылы пайда болады. Тотығу шығатын газдардың пайда болуымен қатар жүреді, олар алынған газды сұйылтады және оның жылулық құндылығын төмендетеді.

– Аллотермиялық – қажетті жылуды сыртқы көзден беруді талап етеді, бұл алынған газдың сұйылтылуын болдырмайды, бірақ процестің пайдалану шығындарын арттырады.

Жұмыста биомасса газдандыру реакторларының дизайны ұсынылған және талқыланған. Барлық ұсынылған шешімдер Польшадағы түпнұсқа әзірлемелер болып табылады [4, 8].

Газификациялау құрылғысы 3,5 МВт газбен жұмыс істейтін ыстық су қазандығымен бірге жұмыс істейді. 6-суретте орнату схемасы көрсетілген. Генератор көп көлемді отынмен (мысалы, үгінділер немесе ағаш жаңқалары) жұмыс істеген кезде, беру жүйесі отынды тікелей реакторға жеткізетін бункерден және бұрандалы беру құрылғысынан тұрады. Газификациялау агенті перифериялық түрде беріледі. Отын ретінде максималды фракция өлшемі 300–400 мм болатын кесек ағаш қалдықтары қолданылады. Ағаш жаңқалары, талшықты тақтайша, бөлшектер тақтайшасы, сабан және шиналар мен ағаш қоспасын да пайдалануға болады.



7-сурет – EKOD генераторы бар биомасса газдандыру қондырғысының схемасы

Газдандыру процесінің қатты қосалқы өнімдері (шлак, күл) реактордың төменгі, конус тәрізді бөлігінен алынып, бұрандалы қоректендіргіш арқылы генератордың сыртында орналасқан бункерге тасымалданады. Реактордың жоғарғы бөлігінен шығатын газ газ құбыры арқылы қазандықтың жану камерасындағы оттықтарға беріледі.

2-кесте – Зерттелген отындардың физика-химиялық талдауы

Параметр	Бірлік	Отын			
		Ағаш қалдықтары	Ағаш жаңқалары	Шайыр	Шиналар/Ағаш қалдықтары
Түрі	—	бөліктер	бөліктер	ұсақталған бумалар	бөліктер
Өлшемі	mm	300 дейін	30÷50	—	300 дейін
Жалпы ылғалдылық, W_t^r	%	7,5	15	30	8
Күл құрамы, A^r	%	0,4	0,4	2	2,7
Ұшқыш заттардың құрамы, V^{daf}	%	79,6	71,9	55,7	68,2
Көміртегі мөлшері, C_t^r	%	48,7	44,1	33,6	63,1
Сутегі құрамы, H_t^r	%	5,9	5,2	3,8	4,8
Азот мөлшері, N^r	%	0,1	0,05	0,3	0,1
Калориялық құндылығы, Q_t^r	MJ/kg	17,6	16,1	11,7	25,5

Қондырғының жоғарғы жағына берілетін отын реактор бойынша төмен қарай жылжиды, келесі технологиялық аймақтардан өтеді: кептіру, пиролиз, газдандыру және көмірді жағу. Газдандыру аймағынан алынған технологиялық газ реактордың жоғарғы жағына түседі. Газдандыру процесі атмосфералық қысымда және шамамен 600–800 °С температурада жүреді.

Пайдаланылған отынның және алынған технологиялық газдың қасиеттері 4-кестеде келтірілген. ЕКОД реакторындағы газдандыру процесінің параметрлері, технологиялық газдың құрамы және зерттеулер барысында алынған шаң мен органикалық ластаушы заттардың мөлшері 3 және 4-кестелерде келтірілген. Шиналар мен ағаш қалдықтарын газдандыру кезінде құрғақ технологиялық газ ең жоғары жылулық құндылығына (8,7 МДж/м³) ие болды. Шаң мен органикалық ластаушы заттардың ең төмен мөлшері ағаш жаңқаларын газдандыру кезінде алынды.

3–кесте – ЕКОД газдандыру реакторындағы газдандыру процесінің параметрлері

Параметр	Бірлік	Отын			
		Ағаш қалдықтары	Ағаш жаңқалары	Шайыр	Шиналар/Ағаш қалдықтары
Отын ағыны	kg/h	490,0	580,0	745,0	360,0
Газдандыру операторы	–	ауа	ауа	ауа	ауа
Ауа-отын қатынасы	m_p/m_{pal}	2,1	1,9	1,8	2,1
Газдаушы агенттің температурасы	°C	қоршаған орта	қоршаған орта	қоршаған орта	қоршаған орта
Газдандыру процесінің температурасы	°C	760	685	660	690
Артық ауа факторы, λ	-	0,35	0,36	0,47	0,26
Газдандыру процесінің тиімділігі, η	%	80	75	57	86
Отынды түрлендіру коэффициенті, ξ	%	99	98	96	97

Газдандыру процесінің тиімділігі 1-формуласын қолдану арқылы анықталды. Бұл формула отынның химиялық энтальпиясының технологиялық газдың энтальпиясына айналу дәрежесін өлшейді. ЕКОД газификациялағышы үшін максималды процестің тиімділігіне шиналар мен

ағаш қалдықтарының отын коспасын (өте жоғары жылулық құндылығы бар коспа) қолдану арқылы қол жеткізілді – 86 %.

$$\eta = \frac{\dot{B}_g(W_{dg})}{\dot{B}_p(W_{dp})} \quad (1)$$

мұндағы: $\dot{B}_g, \dot{B}_p$ – жұмыс режимінде технологиялық газ бен биомассаны (отын) тұтыну;

W_{dg}, W_{dp} – газдың және қатты отынның жылулық құндылығы сәйкесінше.

Ағаш қалдықтарын жағу кезінде отынды ең жоғары түрлендіру көрсеткіші – 99 % – қол жеткізілді. Бұл көрсеткіш 2-формуланы қолдану арқылы анықталды.

$$\xi = \frac{\dot{B}_p - \dot{B}_k}{\dot{B}_p} \quad (2)$$

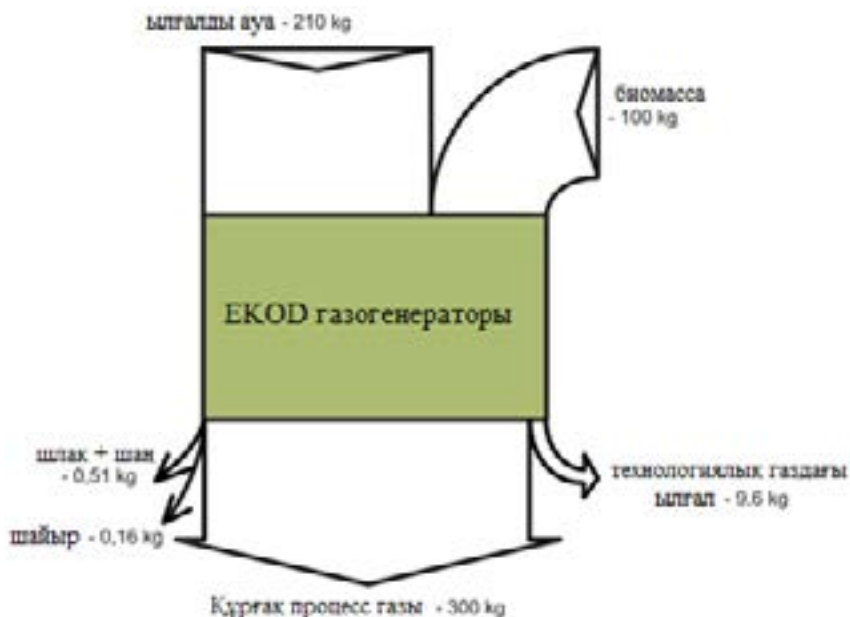
мұндағы: ξ – отынды түрлендіру жылдамдығы;

$\dot{B}_p, \dot{B}_k$ – биомассаның (отынның) және өндірілген көмірдің массалық ағын жылдамдығы.

4-кесте – Өңдеу газының сипаттамалары

Параметр	Бірлік	Отын			
		Ағаш қалдықтары	Ағаш жаңқалары	Шайыр	Шиналар/Ағаш қалдықтары
1. H_2	%	7,4	6,8	3,5	3,0
2. CH_4	%	4,4	3,7	1,9	3,5
3. $C_n H_m$	%	1,4	1,3	0,6	7,5
4. CO	%	8,9	17,3	13	20,0
5. CO_2	%	8,6	11,8	16	8,0
6. $O_2 + N_2$	%	59,3	59,1	65	58,0
Калориялық құндылығы	MJ/m^3_n	5,65	4,98	3,05	8,74
Газдағы шаң	mg/m^3_n	1050	350	3820	2870
Газдағы шайыр	mg/m^3_n	640	406	590	1210

7-суретте EKOD газификациялағышы үшін ағаш қалдықтарын газдандырудың Sankey диаграммасы (жұмыс жағдайындағы 100 кг отынға) көрсетілген.



8-сурет – EKOD газификациялағышы үшін ағаш қалдықтарын газдандырудың Sankey диаграммасы (жұмыс жағдайындағы 100 кг отынға)

Артықшылықтары: қарапайым дизайн, отынның жоғары икемділігі, инвестициялық шығындардың төмендігі, пайдаланудың қарапайымдылығы.

Кемшіліктері: газ шаңының айтарлықтай мөлшері, реактордың төмен көлемін пайдалануы, процесті басқарудың шектеулі мүмкіндіктері, пайдаланудың қарапайымдылығы.

GazEla газдатқышы – биомасса газдандыру генераторының бір түрі (патенттік өтінім № P383541). Бұл құрылғы ішкі диаметрі 400 мм және жұмыс биіктігі шамамен 900 мм болатын тік цилиндрлік генератор. Технологиялық газды беруге арналған реттелетін көтергіш құрылғының осі бойымен орналасқан. Нгі биіктігін дұрыс таңдау (ауа таратқыш пен көтергіш кірісі арасындағы қашықтық) шайыр мөлшері аз және температурасы жоғары газ өндіруге мүмкіндік береді.

8-суретте технологиялық аймақтарды көрсететін газ генераторының диаграммасы көрсетілген.



9-сурет – GazEla газ генераторының схемалық диаграммасы

Реактордың жоғарғы бөлігіне бұрандалы қоректендіргіш арқылы берілетін ылғалды отын төмен қарай жылжиды және келесі термиялық процестерден өтеді: кептіру, пиролиз, жану және газдандыру. Зерттеу реакторындағы газдандыру ортасы – радиалды желдеткішпен реактордың үш нүктесіне: тордың астына, орталық бөлікке және отын қабатының үстіне жеткізілетін ауа. Реактор аздаған артық қысыммен жұмыс істейді. Кептіру және пиролиз аймақтарында отын мен ауа ағыны бір мезгілде, газдандыру аймағында олар аралас ағынмен ағады, ал жану процесі қарсы ағынмен жүреді. Реактордың тиімділігі және жеке технологиялық аймақтарға түсетін жүктеме қондырғының жеке ауа форсуноктарына берілетін ауа мөлшерімен реттеледі. Көрсетілген генератордың қуаты шамамен 60 кВт [5].

GazEla газификациялағышы 9-суретте көрсетілген. Бұл құрылғы қарсы ток және бір мезгілде жүретін реакторлардың артықшылықтарын біріктіреді, бұл әртүрлі бөлшектердің өлшемдері мен ылғалдылығы жоғары отынды пайдалануға мүмкіндік береді. Газдандыру аймағынан, яғни шайырдың ыдырауын күшейтетін жоғары температурасы бар аймақтан технологиялық газды тікелей шығару жоғары хош иісті қосылыстардың түзілуін айтарлықтай азайтады.

Нәтижелер және талқылау

Реакторды сынау кезінде отын ретінде ағаш жаңқалары (талшық және кесек), сондай-ақ ағаш қалдықтарынан және бидай қалдықтарынан жасалған түйіршіктер пайдаланылды. Пайдаланылған биомассаның қасиеттерін талдау 6-кестеде келтірілген. Әртүрлі ылғалдылығы бар әртүрлі отын түрлерін пайдалану генератордың жұмысына айтарлықтай әсер еткен жоқ.



10-сурет – GazEla газ генераторы – реактордың төменгі және жоғарғы бөліктерінің көрінісі

5-кесте – Зерттелген отындардың физико-химиялық талдауы [9]

Параметр	Бірлік	Отын			
		Ағаш қалдықтары	Ағаш жаңқалары	Шайыр	Шиналар/ Ағаш қалдықтары
Түрі	—	бөліктер	талшықтар	түйіршіктер	түйіршіктер
Өлшемі	мм	8 дейін	20÷50	Ø6	Ø6
Жалпы ылғалдылық, W_t^r	%	21,4	14,6	4,4	9,3
Күл құрамы, A^a	%	1,3	0,5	0,3	5,5
Ұшқыш заттардың құрамы, V^{daf}	%	81,11	83,48	83,61	81,36
Көміртегі мөлшері, C^{at}	%	49,4	48,5	49,6	45,0
Сутегі құрамы, H_t^r	%	5,56	5,75	5,88	5,47
Азот мөлшері, N^a	%	< 0,05	0,19	0,27	0,53
Калориялық құндылығы, Q_i^r	MJ/ kg	14,2	15,7	17,8	15,4

Алынған газ инерциялық шаң жинағышқа тасымалданады, ол газ жылдамдығын төмендету арқылы технологиялық газдан артық ылғалды (әсіресе жүйені іске қосу кезінде) және бөлшектерді кетіреді. Бұл алдын ала тазартылған газ жану камерасына жіберіледі (тәжірибелік жағдайларда қазандықтың жұмысын модельдейді) [9-10]. Алынған пайдаланылған газдар мұржа арқылы атмосфераға шығарылады.

Қорытынды

Биомассаны көмірмен бірге жағу көмірмен жұмыс істейтін өндірісті ішінара «тазартудың», CO_2 , SO_2 және NO_x шығарындыларын азайтудың, жергілікті биоресурстарды пайдаланудың және қолданыстағы энергетикалық инфрақұрылымды пайдаланудың техникалық тұрғыдан мүмкін тәсілі болып табылады. Ауыл шаруашылығы қалдықтарын немесе ағаш қалдықтарын пайдалану басқа жағдайда ыдырауы немесе қалдық ретінде жиналуы мүмкін биомассаны пайдалануға көмектеседі. Бұл әсіресе ауыл шаруашылығы дамыған аймақтар үшін пайдалы. Биомассаны ішінара қосу (әдетте энергияның 5-20 %) қазандықтың жұмысында үлкен өзгерістерді қажет етпейді және көмірді негізгі көз ретінде пайдалана отырып, тұрақты негізгі энергия өндірісін қамтамасыз етеді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

- 1 **Yesmakhanova, L., Orynbayev, S., Zhankuanyshev, M., Komada, P.** Automatic control system of a gas-pumping unit // NEWS of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. – 2022. – Vol. 4. – <https://doi.org/10.32014/2022.2518-170X.210>
- 2 **Yesmakhanova, L.** Management, diagnostics and control of the process of co-combustion of coal dust with biomass // The monograph. – Almaty: Daryn, 2024. – 262 p.
- 3 **Wójcik, W. et al.** Integrated Assessment of the Quality of Functioning of Local Electric Energy Systems // Energies. – 2025. – Vol. 18(1). 137.
- 4 **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. – 2000. – P. 133 – 139.
- 5 **Orynbayev, S. et al.** Wind power plant automatic control system with air sail quality // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2021. – Vol. 16(23). – P. 2575 – 2580.
- 6 **Chmielniak, T.** Szanse i bariery w rozwoju technologii energetycznych paliw kopalnych // Polityka Energetyczna. – 2011. – P. 23 – 34.
- 7 **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. – 2013. – P. 3084 – 3097.
- 8 **Xu, L., Tan, C., Li, X., Cheng, Y., I Li, X.** Fuel-Type Identification Using Joint Probability Density Arbiter and Soft-Computing Techniques // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2012. – P. 286 – 296.

9 Xu, L. J., Yan, Y., Cornwell, S. and Riley, G. On-line fuel tracking by combining principal component analysis and neural network techniques // IEEE Trans. Instrum. Meas. – 2005. – Vol. 54(4). – P. 1640–1645

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

14.04.26 ж. баспаға түсті.

14.04.26 ж. түзетулерімен түсті.

22.05.26 ж. басып шығаруға қабылданды.

*Л. Н. Есмаханова¹, В. Вуйцик², Ж. Б. Исабеков³,

Д. С. Узбекова⁴, П. А. Дунаев⁵

^{1,4}Таразский региональный университет имени М. Х. Дулати, Республика Казахстан, г.Тараз;

²Люблинский технический университет, Польша, г. Люблин;

³Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар;

⁵Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана.

Поступило в редакцию 14.04.26.

Поступило с исправлениями 14.04.26.

Принято в печать 22.05.26.

СОВМЕСТНОЕ СЖИГАНИЕ БИОМАССЫ С УГЛЕМ – ПЕРЕХОД К НИЗКОУГЛЕРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Казахстан производит значительную часть электроэнергии с использованием угля, в том числе низкосортного, что создает большой потенциал для сокращения выбросов без разрушения существующей энергетической системы. В связи с глобальным изменением климата и ужесточением экологических норм энергетический сектор сталкивается с необходимостью сокращения выбросов парниковых газов и вредных загрязняющих веществ. Одним из перспективных решений этой проблемы является совместное сжигание биомассы и угля в мощных котлах. Предлагаемая технология позволяет частично заменить традиционные ископаемые виды топлива возобновляемой энергией, что снижает углеродный след существующих электростанций без существенной реконструкции. Газификация биомассы – технология производства газообразного

топлива из биомассы – напрямую способствует использованию нефти и природного газа благодаря очевидным экономическим преимуществам. Поэтому в статье анализируются газогенераторы. Исследование было сосредоточено на результатах исследований, проведенных как в лабораторных условиях, так и на промышленных предприятиях, где использовалась биомасса, чаще всего в качестве топлива, сжигаемого совместно с углем после предварительного измельчения. В лабораторных условиях биомасса преобразовывалась в газообразную или твердую форму в качестве дополнительного топлива путем совместного сжигания. Понимание потенциала и ограничений предлагаемого подхода имеет решающее значение для разработки эффективных стратегий модернизации энергетического сектора и достижения целей устойчивого развития.

Ключевые слова: диагностика, процесс газификации, возобновляемые источники энергии, сжигание биомассы, установка газификации.

**L. Yesmakhanova¹, Wojcik W.², Z. B. Issabekov³,
D. S. Uzbekova⁴, P. A. Dunayev⁵*

^{1,4}M.Kh. Dulaty Taraz Regional University,
Republic of Kazakhstan, Taraz;

²Lublin Technical University, Lublin, Poland;

³Toraigyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

⁵S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University,
Republic of Kazakhstan, Astana.

Received 14.04.26.

Received in revised form 14.04.26.

Accepted for publication 22.05.26.

CO-FIRING BIOMASS WITH COAL: A TRANSITION TO LOW-CARBON ENERGY

Kazakhstan produces a significant portion of its electricity using coal, including low-grade coal, which creates great potential for reducing emissions without destroying the existing energy system. Due to global climate change and stricter environmental regulations, the energy sector is faced with the need to reduce greenhouse gas and harmful pollutant emissions. One promising solution to this problem is the co-firing of

biomass and coal in high-power boilers. The proposed technology allows for the partial replacement of traditional fossil fuels with renewable energy, reducing the carbon footprint of existing power plants without significant renovation. Biomass gasification - a technology for producing gaseous fuels from biomass - directly facilitates the use of oil and natural gas due to its clear economic advantages. Therefore, this article analyzes gas generators. The study focused on the results of both laboratory and industrial studies using biomass, most often as a fuel co-fired with coal after prior grinding. In the laboratory, biomass was converted into gaseous or solid form as a supplemental fuel through co-firing. Understanding the potential and limitations of the proposed approach is crucial for developing effective strategies for modernizing the energy sector and achieving sustainable development goals.

Keywords: diagnostics, gasification process, renewable energy sources, biomass combustion, gasification unit.

Теруге 09.06.2026 ж. жіберілді. Басуға 30.06.2026 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

5,86 Mb RAM

Шартты баспа табағы 34,4. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. Б. Шукитова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4557

Сдано в набор 09.06.2026 г. Подписано в печать 30.06.2026 г.

Электронное издание

5,86 Mb RAM

Усл. печ. л. 34,4. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. Б. Шукитова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4557

«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