

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

№ 1 (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/BGQF1934>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындык 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>
Кошекков 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>
Шерьязов 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

FTAMP 44.31.31; 87.53.13

<https://doi.org/10.48081/BGQF1936/>

**Ж. А. Айдымбаева¹, *Ж. С. Дүйсенбек²
А. С. Бегимбетова³, К. А. Сағытаева⁴, С. Н. Камарова⁵**

^{1,2,3,4}Ғұмарбек Даукеев атындағы

Алматы энергетика және байланыс университеті,

Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

⁵Қарағанды индустриалды университеті,

Қазақстан Республикасы, Теміртау қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6908-7170>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7844-4240>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8917-2244>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3588-0144>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8464-7204>

*e-mail: zhaniko.adina@mail.ru

ҚОРШАҒАН ОРТАҒА ӘСЕРДІ АЗАЙТУ МАҚСАТЫНДА ЖЭО ЖАҢҒЫРТУ НҰСҚАЛАРЫН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ

Мақалада қоршаған орта үшін салдарды азайту қажеттілігіне баса назар аудара отырып, жылу мен электр энергиясын (ЖЭО) біріктіріп өндіру қондырғыларын жетілдірудің әртүрлі әдістемелеріне салыстырмалы талдау ұсынылған. Энергия тиімділігін арттыруға, парниктік газдар шығарындыларын азайтуға және азот пен күкірт оксидтері сияқты зиянды заттарды, сондай-ақ бөлшектерді азайтуға бағытталған заманауи жетістіктер мұқият зерттелуі керек. Жаңартылатын энергия көздеріне көшуді, газ турбиналарын енгізуді, көмірқышқыл газын ұстау жүйелерін құруды және тазарту жабдықтарын жаңғыртуды қоса алғанда, осы технологияларды енгізудің экономикалық орындылығын жан-жақты бағалау жүргізілді. Бұдан басқа, ЖЭО жүйелерін тұрақты қалалық энергиямен жабдықтау жүйелеріне интеграциялаудың энергияға деген өсіп келе жатқан қажеттіліктерін және экологиялық нормаларды сақтау қажеттілігін көрсететін инновациялық стратегиялары қарастырылуда. Экологиялық

қауіпсіздік, экономикалық орындылық және технологиялық сәйкестік тұрғысынан әр баламаның артықшылықтары мен кемшіліктері анықталды.

Қолайсыз атмосфералық әсерлерді азайтуға және ауа мен су ресурстарының сапасын арттыруға бағытталған ұсыныстарды әзірлеуге ерекше назар аударылды. Бұл зерттеудің нәтижелері тез урбанизацияланатын аудандарда экологиялық тұрақты және әлеуметтік жауапты энергиямен жабдықтауды қамтамасыз ету мақсатында Алматының және басқа да ірі қалалық орталықтардың энергетикалық инфрақұрылымын тұрақты дамытуға бағытталған стратегияны әзірлеу үшін негіз бола алады.

Кілтті сөздер: ЖЭО, жаңғырту, шығарындыларды азайту, табиғи газ, азайту, қоршаған орта.

Кіріспе

Қоршаған ортаға әсерді азайту мақсатында ЖЭО жаңғыртудың негізгі стратегиясы жылумен жабдықтаудың қолданыстағы инфрақұрылымын сақтай отырып, жылу және электр энергиясын өндірудің қажетті деңгейін ұстап тұру болып табылады. Негізгі бағыттар жылу қажеттіліктерін жабу үшін белгіленген қуатты пайдалануды арттыру. Электр және жылу энергиясының аралас өндірісін ұлғайту, сондай-ақ экологиялық таза технологияларды енгізу арқылы зиянды заттар шығарындыларын азайту болып табылады.

ЖЭО Алматыны энергиямен жабдықтауда аса маңызды рөл атқарады және объектінің күрделілігі мен тығыз инфрақұрылымына байланысты жаңғыртуды кезең-кезеңімен қарастыру қажет. Атмосфераның ластануын төмендетудің ең тиімді шешімдерінің бірі – станцияның табиғи газға ауысуы.

Газды пайдалану көмір мен мазут күлінің шығарындыларын толығымен дерлік жоюға, күкірт диоксиді, азот және көміртегі оксидтерінің шығарындыларын айтарлықтай азайтуға және парниктік газдардың көлемін азайтуға мүмкіндік береді. Табиғи газға көшу нәтижесінде атмосфераға шығарылатын ластаушы заттардың жалпы саны жылына 80%-ға азаяды.

Энергетикалық қауіпсіздікті зерттеудің негізгі мақсаты энергиямен жабдықтаудың сенімділігі мен тиімділігін төмендетпей, атмосфераға зиянды заттар шығарындыларын азайту үшін ЖЭО жаңғыртудың оңтайлы нұсқасын айқындау, объектінің экологиялық қауіпсіздігін арттыру, Электр және жылу энергиясын өндірудің қазіргі заманғы экологиялық таза технологияларын қолдану, атмосфераға зиянды заттар шығарындыларын азайту есебінен энергия көзінің белгіленген қуатын пайдалануды, энергия көзін пайдаланудың сенімділігі мен қауіпсіздігін ұлғайту, қолданыстағы

жабдықтарды жаңғырту, энергия көзін микропроцессорлық техника негізінде заманауи басқару жүйелерімен жарақтандыру болып табылады.

ЖЭО жаңғыртудың техникалық-экономикалық негіздемесінің негізгі мақсаты энергиямен жабдықтаудың сенімділігі мен тиімділігін төмендетпей, белгіленген қуатты пайдалануды, сенімділікті және пайдалану қауіпсіздігін арттырмай, қоршаған ортаға әсерді азайту үшін ЖЭО жаңғырту нұсқасын іздеу жолымен экологиялық таза технологияларды қолдану есебінен шығарындылардың қоршаған ортаға теріс әсерін азайту болып табылады [1, 29–32–бб.].

Материалдар мен әдістері

Бұл зерттеу қоршаған ортаға әсерді азайту тұрғысынан Алматы жылу электр станциясын (ЖЭО) жаңғырту нұсқаларының салыстырмалы талдауын жүргізуге бағытталған, теориялық, есептеу және аналитикалық зерттеу әдістерінің үйлесімін пайдаланады.

Бастапқы деректер және әдіснамалық негіз

Бастапқы деректерге Алматы ЖЭО-ның негізгі және қосалқы жабдықтарының техникалық сипаттамалары, пайдаланылатын отын түрлері, қондырғының жұмыс режимдері туралы ақпарат және базалық кезеңдегі (2023) ластаушы заттар шығарындыларының көлемі мен құрамы туралы деректер кірді.

Нәтижелердің сенімділігін қамтамасыз ету үшін салыстырмалы талдау әдістері, есептеу және аналитикалық тәсілдер, сондай-ақ атмосферадағы ластаушы заттардың таралу процестерін математикалық модельдеу қолданылды [3, 12–б.].

ЖЭО жаңғырту сценарийлерінің сипаттамасы

Зерттеуде пайдаланылатын отын түрі мен энергетикалық жабдықтың конфигурациясы бойынша ерекшеленетін ЖЭО жаңғыртудың төрт сценарийі қамтылды (2-кесте):

- 1 және 4 нұсқалар – табиғи газды пайдалану;
- 2 нұсқа – қолданыстағы отынды сақтау (Екібастұз көмірі);
- 3 нұсқа – көмір мен табиғи газды бірге жағу.

Қарастырылып отырған жаңғырту нұсқаларының негізгі сипаттамалары 1-кестеде келтірілген.

1-кесте – ЖЭО Жаңғырту нұсқалары бойынша ластаушы заттардың эмиссиялары, мг/нм³

Көрсеткіштер	Ағымдағы жағдай	ҚР талаптары	ЕО талаптары	ТЭН бойынша ТЭЦ-2 жаңғырту нұсқалары				
				1	2	3		4
Отын	көмір	Көмір/газ	Көмір/газ	газ	көмір	көмір	газ	газ
NO _x	650	650/125/50*	200/100/50*	100	200	200	50	50
SO ₂	1500	2000	200	-	200	200	-	-
Күл	400	400	20	-	20	20	-	-

*көмір қазандығы/ газ қазандығы/ газ турбинысы

Осы сценарийлерді таңдау дәстүрлі және аралас жылумен жабдықтау схемаларын қоса алғанда, әртүрлі технологиялық шешімдердің экологиялық тиімділігін салыстырмалы түрде бағалауға, сондай-ақ газ турбиналық қондырғыларды енгізуге мүмкіндік берді.

Ластаушы заттардың дисперсиясын модельдеу

ЖЭО шығарындыларының атмосфераға әсері математикалық модельдеу және Қазақстан Республикасы Қоршаған ортаны қорғау министрлігі бекіткен «Ecolog» бағдарламалық пакеті (3.0 нұсқасы) арқылы бағаланды. Есептеулер Қазақстан Республикасы Қоршаған ортаны қорғау министрінің №100 бұйрығымен бекітілген атмосферадағы ластаушы заттардың дисперсиясын есептеу әдістемесіне сәйкес жүргізілді [4, 6-б.].

Зерттеуде тек ЖЭО станциясының түтін шығарындылары қарастырылды, олар зауыттың жалпы шығарындыларының шамамен 99,5%-ын құрайды. Қашқын және қосалқы шығарындылардың көздері есептеуге олардың жалпы ауаның ластануына қосқан үлесінің аздығына байланысты енгізілмеді.

Есептеу сценарийлері және метеорологиялық жағдайлар

Дисперсияны модельдеу ЖЭО-ның екі типтік жұмыс режимі үшін жүргізілді:

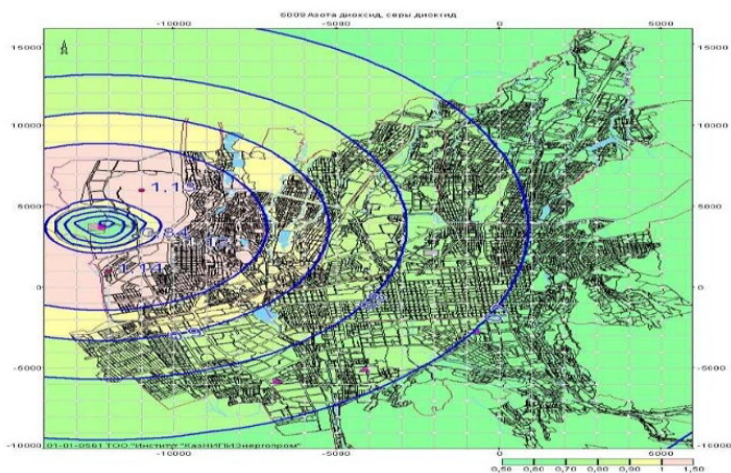
1. Қолайсыз метеорологиялық жағдайлармен біріктірілген зауыттың максималды жүктемесі, атмосфераның жер қабатында ластаушы заттардың жиналуына ықпал етеді. Бұл сценарийде қазандық қуатының 420 т/сағ дейін артуы ескерілді.

2. Зауыттың типтік жұмыс жағдайларын көрсететін орташа жылдық метеорологиялық параметрлер бойынша ЖЭО станциясының орташа жылдық жүктемесі.

Бұл тәсіл бізге шығарындылардың қоршаған ортаға әсерінің максималды және орташа деңгейлерін бағалауға мүмкіндік берді.

Әсер ету аймағын бағалау және өнімділік критерийлері

Есептеу нәтижелеріне сүйене отырып, ЖЭО шығарындыларының әсер ету аймақтарының шекаралары анықталды. Ластаушы заттың түріне байланысты шығарынды түтінінің көзден 15-тен 17 км-ге дейін созылатыны анықталды. Белсенді ластану аймағы шамамен 5 км радиусы бар аумақты қамтиды, онда жер деңгейіндегі ең жоғары концентрациялар тіркеледі және шығарындылардың негізгі бөлігінің 60%-ға дейіні түседі. Ластаушы заттардың концентрациясының кеңістіктікте таралуы 1-суретте көрсетілген.



1-сурет – ЖЭО шығарындыларымен белсенді ластану аймағы

Қарастырылып отырған жаңғырту нұсқаларының тиімділігі келесі критерийлер бойынша бағаланды:

- ластаушы заттардың жалпы шығарындылары;
- бастапқы кезеңмен салыстырғанда шығарындылардың азаю дәрежесі;
- есептелген концентрациялардың белгіленген ауа сапасы стандарттарына сәйкестігі;
- отын тиімділігін қоса алғанда, энергия тиімділігі көрсеткіштері.

Оңтайлы нұсқаны таңдау негіздемесі

Есептеу нәтижелері табиғи газға көшу (1 және 4 нұсқалар) күл мен мазут шаңының шығарындыларын толығымен дерлік жоюға, сондай-ақ күкірт диоксиді мен азот оксиді шығарындыларын айтарлықтай азайтуға

мүмкіндік беретінін көрсетті. Табиғи газ сценарийлері бойынша ластаушы заттар шығарындыларының жалпы төмендеуі жылына шамамен 80 %-ға жетеді, ал 2023 жылғы деңгеймен салыстырғанда 91,5–93,5 % құрайды [5, 96–101-бб.]. Жаңғырту нұсқаларының экологиялық көрсеткіштерін бағалау үшін пайдаланылатын атмосферадағы негізгі ластаушы заттардың концентрациясының стандартты шектері 2-кестеде келтірілген.

2-кесте – ЖЭО түгін құбырларынан шығарындылардағы негізгі ластаушы заттардың сипаттамасы

ЗА коды	Заттың атауы	ШРКм.р., мг/м ³	ШРКс.с., мг/м ³	Қауіптілік класы
0301	Азота(IV) диоксиді (Азота диоксид)	0,2	0,04	3
0304	Азот (II) оксиді (Азота оксид)	0,4	0,06	3
0330	Күкірт диоксиді (Күкіртті ангидрид, Күкіртті газ, Күкірт (IV) оксиді)	0,5	0,05	3
0337	Көміртек оксиді (Көміртек тотығы, Көміртекті газ)	5,0	3,0	4
2908	Құрамында кремний қос тотығы бар бейорганикалық тозаң, %-бен: 70–20 (шамот, цемент, цемент өндірісінің тозаңы – саз, көмір күлі)	0,3	0,1	3
4008	қазақстандық кен орындары)	0,30	0,060	
4010	Өлшенген бөлшектер РМ-10	0,16	0,035	

Жаңа ЖЭО ғимаратына газ турбиналық қондырғыларды енгізуді көздейтін 4-нұсқа ең жоғары өнімділікті көрсетті, отын тиімділігі 77–79 % құрады, бұл 1-нұсқадан (шамамен 67 %) айтарлықтай асып түсті.

Модельдеу көрсеткендей, қарастырылып отырған барлық жаңғырту сценарийлері үшін, соның ішінде зауытты газға айналдыру үшін есептелген ластаушы заттардың концентрациясы белгіленген ауа сапасы стандарттарынан аспайды.

Нәтижелер және талқылау

Зерттеу аясында біз ЖЭО-2-дегі ластаушы заттардың атмосфералық таралуын модельдедік, бұл әртүрлі жаңғырту нұсқаларының ауа сапасына әсерін бағалауға мүмкіндік берді. Модельдеу Қазақстан Республикасы

Қоршаған ортаны қорғау министрлігі бекіткен «Ecolog» бағдарламалық пакетін (3.0 нұсқасы) пайдалану арқылы жүргізілді [6]. Есептеулер екі сценарий бойынша жүргізілді:

1. Қазандықтың қуатын 420 т/сағ дейін арттыруды ескере отырып, қолайсыз ауа райы жағдайындағы қондырғының максималды жүктемесі;

2. Орташа жылдық қондырғы жүктемесі және орташа жылдық метеорологиялық параметрлер.

Модельдеу нәтижелері барлық жаңғырту нұсқалары ауа сапасының стандарттарына сәйкес келетінін және орташа жылдық жүктеме кезіндегі ластану деңгейі қолданыстағы көрсеткіштерден аспайтынын көрсетті [7].

Жаңғырту нұсқаларын салыстырмалы бағалау. ЖЭО-ның қоршаған ортаға әсерін азайту үшін отын түрі, өндіріс технологиясы және тазалау әдістері бойынша ерекшеленетін төрт жаңғырту нұсқасы қарастырылды:

1-нұсқа. Қазандықтарды табиғи газға көшіру

Бұл нұсқа қазандық агрегаттары мен жанарғыларын, соның ішінде газды тазарту қондырғыларын (ГТҚ) қайта құру арқылы қолданыстағы жабдықты күтіп ұстауды қамтиды. Экологиялық пайдаға 2019 жылмен салыстырғанда шығарындылардың 90%-ға төмендеуі, күл мен күкірт диоксидін толығымен жою кіреді. Негізгі кемшілігі – жерленген қазандық бөлмесіне (-12 м) байланысты пайдалану тәуекелдерінің артуы.

2-нұсқа. Газды тазарту жабдықтарымен көмірмен жаңғырту

Екібастұз көмірі сақталады, бірақ қазандықтар номиналды қуатқа дейін жеткізіледі және заманауи газ тазарту жүйелерімен жабдықталады: NO_x шығарындыларын азайту үшін селективті каталитикалық тотықсыздандыру, SO₂ үшін ылғалды/құрғақ/жартылай құрғақ әдістер және бөлшектерге арналған қапшық сүзгілері/электростатикалық шөгінділер. Қоршаған ортаға тигізетін пайдасы – шығарындылардың 70–80%-ға төмендеуі. Кемшілігі – күлді жою алаңын кеңейту қажеттілігі және топыраққа әсер етудің жалғасуы.

3-нұсқа. Көмір мен газды бірлесіп пайдалану

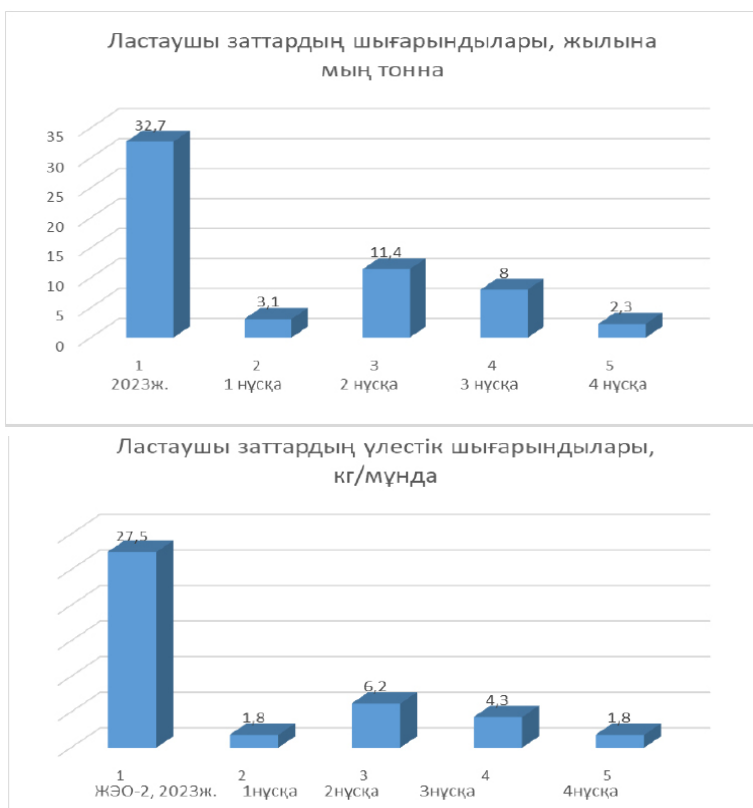
Көмірді жылыту үшін, ал газды ыстық сумен жабдықтау үшін пайдалану. Техникалық шешімдерге жазғы жүктемелер үшін когенерациялық газ турбиналық қондырғыларды (ГТҚ) орнату және қысқы кезеңде көмірмен жұмыс істейтін қазандықтарды газ тазарту жүйелерімен жаңғырту кіреді. Бұл нұсқа электрмен жабдықтаудың сенімділігін және зауыттың икемділігін арттырады.

4-нұсқа. Газ турбиналық технологиясына негізделген жаңа зауыт

Бұл нұсқа көмірмен жұмыс істейтін ЖЭО станциясын толығымен алмастыратын аралас циклді газ турбиналық қондырғылары (ГТҚ) және когенерациялық газ турбиналық қондырғылары (ГТҚ) бар жаңа табиғи

газбен жұмыс істейтін қуат көзін салуды қамтиды. Экологиялық пайдаға шығарындылардың максималды 93,5 %-ға төмендеуі, шығарындылар ізінің 3,5 км-ге дейін төмендеуі және парниктік газдар шығарындыларының минималды үлесі жатады. Отын тиімділігі 79,3 %-ға жетеді, бұл ең үздік әлемдік тәжірибелер мен қолжетімді технологияларға сәйкес келеді [8; 9].

Жылдық шығарындылар және ластаушы заттардың құрамы. Нұсқалар бойынша жылдық шығарындылардың салыстырмалы бағасы 2-суретте көрсетілген. Газы бар нұсқалар (1 және 4) күл мен күкірт диоксидін жою және NO_x шығарындыларын азайту есебінен шығарындыларды ең көп азайтуды қамтамасыз етеді. Бұл нұсқалардағы ластаушы заттардың жалпы азаюы 2020 жылмен салыстырғанда 91,5–93,5 % құрайды.



2-сурет – ЖЭО жаңғырту нұсқалары бойынша ластаушы заттардың шығарындылары

Газ турбинасы түрі бойынша шығарындылар (4-нұсқа)

4-нұсқа үшін әртүрлі газ турбиналары үшін шығарындыларды бағалау 3-кестеде көрсетілген. Кішігірім айырмашылықтар ұсынылған барлық газ турбинасы шешімдерінің жоғары тиімділігін көрсетеді.

3-кесте

Газ турбиналарының нұсқалары бойынша шығарындылар, мың. т/жыл		
Нұсқа 4.1 6FA.03GE	Нұсқа 4.2 SG5T- 2000E Siemens	Нұсқа 4.3 H-100 MHPs
1,6	2,3	2,4

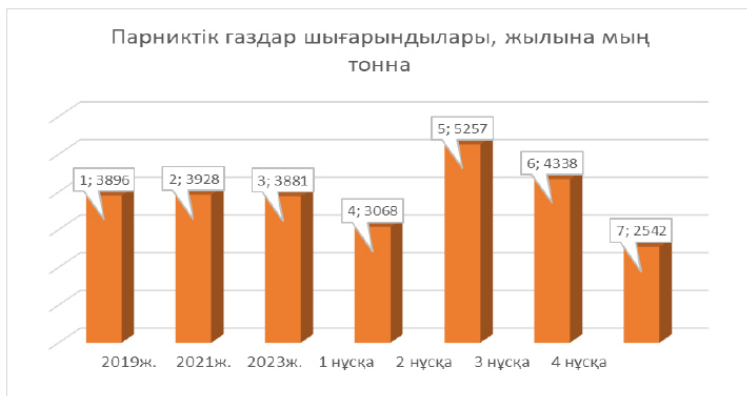
Парниктік газдар шығарындылары

Отынды тиімді пайдалану және энергия тиімділігін арттыру CO₂ шығарындыларын азайтып, зауыттың жалпы қоршаған ортаға тигізетін әсерін азайта алады [10; 11].

Біріктірілген жылу және электр энергиясын өндіру (БЭЖ) - қазандық немесе конденсатты электр станцияларымен салыстырғанда CO₂ шығарындыларын минималды түрде қамтамасыз ететін ең жақсы қолжетімді технология. 4-нұсқада өнім бірлігіне шаққандағы минималды меншікті шығарындылар бар (кг/ГДж), бұл сценарийдің жоғары тиімділігін растайды.

ЖЭО жаңғырту нұсқалары бойынша парниктік газдар шығарындыларын бағалау 3 суретте көрсетілген.





3-сурет – Парниктік газдар шығарындыларын бағалау

Қаржыландыру туралы ақпарат

Бұл мақала «Алматы электр станциялары» АҚ-мен 15.11.19 ж. № 353232/2019/1 (2019-2024жж.) шартына сәйкес әзірленген зерттеулер нәтижелері шеңберінде «АлЭС «АҚ ЖЭО-2 департаменті үшін қоршаған ортаға әсерді барынша азайта отырып, Алматы ЖЭО-2 жаңғырту» техникалық экономикалық негіздемесін әзірлеуге арналған техникалық тапсырмаға сәйкес әзірленді».

Қорытынды

1 Қоршаған орта компоненттеріне және әлеуметтік-экономикалық көрсеткіштерге әсерді кешенді бағалау негізінде ЖЭО жаңғыртудың газбен жұмыс істейтін нұсқалары ең қолайлы болып табылады.

2 Қоршаған ортаға теріс әсерді азайту тұрғысынан ең мүмкін нұсқа - газ турбиналық қондырғылары бар жаңа ғимарат салуды көздейтін 4-нұсқа.

3 4-нұсқаның 1-нұсқадан артықшылықтары:

– ЕО газ жағу талаптарына сәйкес келетін тиімді газ турбиналық қондырғыларды пайдалану;

– 1-нұсқадан (67 %) асып түсетін және ең жақсы қолжетімді технологиялардың талаптарына толық сәйкес келетін (ЕКТ, 65–95%) отын тиімділігі 77–79 % болатын газ отынын тиімдірек пайдалану;

– Жанып жатқан отын бірлігіне шаққандағы минималды меншікті ластаушы заттар шығарындылары;

– ЖЭО-2-нің қолданыстағы, жерленген ғимаратымен салыстырғанда, жабдықты жаңа ғимаратқа орналастыруға байланысты пайдалану қаупінің төмендеуі

4 Табиғи газдың тұрақты жеткізілімімен 4-нұсқа ресурстарды барынша тиімді пайдалануды және қоршаған ортаға минималды әсерді қамтамасыз етеді.

5 Жаңа ғимарат үшін әртүрлі жеткізушілерден газ турбиналық қондырғыларды таңдау қоршаған ортаның жағдайына аз әсер етеді, себебі барлық қондырғылар еуропалық стандарттар мен ең жақсы қолжетімді технологиялар талаптарына сәйкес келеді.

Ұсыныс: Қаланың энергетикалық жүйесінің тұрақты дамуы және атмосфераға түсетін экологиялық жүктемені азайту үшін 4-нұсқаны жаңа ғимаратта газ турбиналық қондырғыларымен жүзеге асыру тиімдірек, бұл жоғары энергия тиімділігін және экологиялық стандарттарға сәйкестікті қамтамасыз етеді.

Пайдаланылған деректер тізімі

1 ҚР Энергетика министрінің «ең үздік қолжетімді технологиялар тізбесін бекіту туралы» 2014 жылғы 28 қарашадағы №155 бұйрығы. [Мәтін] (11.01.2021 ж. өзгертілген).

2 Экологиялық бағалауды ұйымдастыру және жүргізу жөніндегі Нұсқаулық, Қазақстан Республикасы Экология, Геология және табиғи ресурстар министрінің 2021 жылғы 30 шілдедегі № 280 бұйрығымен бекітілген [Мәтін].

3 Ірі отын жағатын қондырғылар үшін ең жақсы қолжетімді технологиялар (НТ) бойынша анықтамалық құжат. Өнеркәсіптік шығарындылар жөніндегі Директива 2010/75 / ЕУ (ластанудың кешенді алдын алу және бақылау) [Мәтін]. 2010 ж.

4 «Салық және бюджетке төленетін басқа да міндетті төлемдер туралы» Қазақстан Республикасының 2017 жылғы 25 желтоқсандағы № 120-VI кодексі (Салық кодексі) [Мәтін], (26.02.2021 ж. жағдай бойынша өзгерістермен және толықтырулармен).

5 Эмиссиялары экологиялық нормалауға жататын ластаушы заттардың тізбесі. Қазақстан Республикасы Экология, Геология және табиғи ресурстар министрінің 2021 жылғы 25 маусымдағы № 212 бұйрығы [Мәтін].

6 Кәсіпорындардың шығарындыларынан атмосфералық ауадағы зиянды заттардың шоғырлануын есептеу әдістемесі (Қазақстан Республикасы Қоршаған орта және су ресурстары министрінің 2014 жылғы 12 маусымдағы № 221 бұйрығына № 12 қосымша).

7 ҚР Экологиялық кодексі, 2007 ж. (02.01.2021 ж. жағдай бойынша өзгертулер мен толықтырулармен), [Мәтін].

8 **Marriott, J., Matthews, H. S., Hendrickson, C. T.** Impact of Power Generation Mix on Life Cycle Assessment and Carbon Footprint Greenhouse Gas Results [Мәтін] // J. Ind. Ecol. – 2010, 14, 919–928.

9 **Калверт, С. және т.б.** «Атмосфераны өнеркәсіптік ластанудан қорғау» [Мәтін]. – М.: Металлургия, 1988. – Т. 1, 760-б.; Т. 2, 71-б.

10 **Рихтер, Л. А., Волков, Э. П., Покровский, В. Н.** «Су және ауа бассейндерін жылу электр станцияларының шығарындыларынан қорғау», [Мәтін]. – М., 1981. – 291-б.

References

1 Prikaz Ministra Jenergetiki RK “Ob utverzhdenii perechnja nailuchshih dostupnyh tehnologij” ot 28 nojabrja 2014 goda №155. (s izmenenijami ot 11.01.2021 g.) [Order of the Minister of Energy of the Republic of Kazakhstan “On approval of the list of best available technologies” dated November 28, 2014 №155. (as amended on January 11, 2021)] [Text].

2 Instrukcii po organizacii i provedeniju jekologicheskoy ocenki, utverzhdena Prikazom Ministra jekologii, geologii i prirodnyh resursov Respubliki Kazahstan ot 30 ijulja 2021, № 280 [Instructions for organizing and conducting an environmental assessment, approved by the Order of the Minister of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan dated July 30, 2021 №280.] [Text].

3 Spravochnyj dokument po nailuchshim dostupnym tehnologijam (NDT) dlja krupnyh toplivoszhigajushhij ustanovok. Direktiva po promyshlennym vybrosam 2010/75/EU (Kompleksnoe predotvrashhenie i kontrol' zagrzaznenija) [Reference document on best available techniques (BAT) for large combustion plants. Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control)] [Text]. – 2010.

4 Kodeks Respubliki Kazahstan ot 25 dekabrja 2017 goda №120-VI «O nalogah i drugih objazatel'nyh platezhah v bjudzhet (Nalogovyj kodeks)» (s izmenenijami i dopolnenijami po sostojaniju na 26.02.2021). [Code of the Republic of Kazakhstan dated December 25, 2017 №120-VI «On taxes and other mandatory payments to the budget (Tax Code)» (as amended and supplemented as of 02/26/2021).] [Text]

5 Perechen' zagrzjaznjajushhij veshhestv, jemissii kotoryh podlezhat jekologicheskomu normirovaniju. Prikaz Ministra jekologii, geologii i prirodnyh resursov Respubliki Kazahstan ot 25 ijunja 2021, №212, [List of pollutants whose emissions are subject to environmental regulation. Order of the Minister of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan dated June 25, 2021, №212.] [Text].

6 Metodika rascheta koncentracij vrednyh veshhestv v atmosfernom vozduhe ot vybrosov predpriyatij (prilozhenie № 12 k prikazu Ministra okruzhajushhej srede i vodnyh resursov Respubliki Kazahstan ot 12 ijunja 2014 goda №221, [Methodology for calculating concentrations of harmful substances in the atmospheric air from emissions of enterprises (Appendix №12 to the Order of the Minister of Environment and Water Resources of the Republic of Kazakhstan dated June 12, 2014, №221)] [Text].

7 Jekologicheskij kodeks RK, 2007 g. (s izmenenijami i dopolnenijami po sostojaniju na 02.01.2021 g.) [Environmental Code of the Republic of Kazakhstan, 2007 (as amended and supplemented as of January 2, 2021)] [Text].

8 **Marriott, J., Matthews, H. S., Hendrickson, C. T.** Impact of Power Generation Mix on Life Cycle Assessment and Carbon Footprint Greenhouse Gas Results [Мәтін] // J. Ind. Ecol. – 2010, 14, 919–928.

9 **Kalvert, S. i dr.** «Zashhita atmosfery ot promyshlennyh zagrjaznenij». – М. : Metallurgija– Tom. 1, str. 760, tom. 2, str. 71, 1988. [«Protection of the atmosphere from industrial pollution».] [Text] – М. : Metallurgy, 1988. – Vol. 1, p. 760; Vol. 2, p. 71.

10 **Rihter, L. A., Volkov, Je. P., Pokrovskij, V. N.** «Ohrana vodnogo i vozdušnogo bassejnov ot vybrosov teplovyh jelektrostantsij» [“Protection of water and air basins from emissions from thermal power plants”] [Text]. – М., 1981. – p. 291.

04.09.25 ж. баспаға түсті.

05.11.25 ж. түзетулерімен түсті.

02.03.26 ж. басып шығаруға қабылданды.

*Ж. А. Айдымбаева¹, *Ж. С. Дүйсенбек²*

А. С. Бегимбетова³, К. А. Сағытаева⁴, С. Н. Камарова⁵

^{1,2,3,4}Алматынський университет

энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева,

Республика Казахстан, г. Алматы;

⁵Карагандинский индустриальный университет,

Республика Казахстан, г. Темиртау.

Поступило в редакцию 04.09.25.

Поступило с исправлениями 05.11.25.

Принято в печать 02.03.26.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ МОДЕРНИЗАЦИИ ТЭЦ С ЦЕЛЬЮ МИНИМИЗАЦИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

В статье представлен сравнительный анализ различных методологий усовершенствования установок комбинированного производства тепла и электроэнергии (ТЭЦ) с акцентом на необходимость смягчения последствий для окружающей среды. Современные достижения, направленные на повышение энергоэффективности, сокращение выбросов парниковых газов и сокращение вредных веществ, таких как оксиды азота и серы, а также твердых частиц, подлежат тщательному изучению. Была проведена всесторонняя оценка экономической целесообразности внедрения этих технологий, включая переход на возобновляемые источники энергии, внедрение газовых турбин, создание систем улавливания углекислого газа и модернизацию очистного оборудования. Кроме того, рассматриваются новаторские стратегии интеграции систем ТЭЦ в системы устойчивого городского энергоснабжения, отражающие растущие потребности в энергии и необходимость соблюдения экологических норм. Выяснились достоинства и недостатки каждой альтернативы с точки зрения экологической безопасности, экономической целесообразности и технологического соответствия.

Особое внимание уделялось разработке рекомендаций, направленных на смягчение неблагоприятных атмосферных воздействий и повышение качества воздуха и водных ресурсов. Результаты этого исследования могут послужить основой для разработки стратегии, направленной на устойчивое развитие энергетической инфраструктуры Алматы и других крупных городских центров с целью обеспечения экологически устойчивого и социально ответственного энергоснабжения в быстро урбанизирующихся районах.

Ключевые слова: ТЭЦ, модернизация, снижения выбросов, природный газ, минимизация, окружающая среда.

Zh. A. Aidymbayeva¹, *Zh. S. Duissembek², A. S. Begimbetova³,
K. A. Sagytayeva⁴, S. N. Kamarova⁵

^{1,2,3,4}Almaty University of Power Engineering

and Telecommunications named after Gumarbek Daukeev,

Republic of Kazakhstan, Almaty;

⁵Karaganda Industrial University,

Republic of Kazakhstan, Temirtau.

Received 04.09.25.

Received in revised form 05.11.25.

Accepted for publication 02.03.26.

COMPARATIVE ANALYSIS OF OPTIONS FOR MODERNIZATION OF THERMAL POWER PLANTS IN ORDER TO MINIMIZE THE IMPACT ON THE ENVIRONMENT

The article presents a comparative analysis of various methodologies for improving combined heat and power generation (CHP) plants, with an emphasis on the need to mitigate environmental impacts. Modern achievements aimed at improving energy efficiency, reducing greenhouse gas emissions and reducing harmful substances such as nitrogen and sulfur oxides, as well as particulate matter, are subject to careful study. A comprehensive assessment of the economic feasibility of implementing these technologies was carried out, including the transition to renewable energy sources, the introduction of gas turbines, the creation of carbon dioxide capture systems and the modernization of treatment equipment. In addition, innovative strategies for integrating CHP systems into sustainable urban energy supply systems are being considered, reflecting the growing energy needs and the need to comply with environmental regulations. The advantages and disadvantages of each alternative in terms of environmental safety, economic feasibility and technological compliance were clarified.

Special attention was paid to the development of recommendations aimed at mitigating adverse atmospheric effects and improving the quality of air and water resources. The results of this study can serve as a basis for developing a strategy aimed at the sustainable development of the energy infrastructure of Almaty and other large urban centers in order to ensure environmentally sustainable and socially responsible energy supply in rapidly urbanizing areas.

Keywords: CHP, modernization, emission reduction, natural gas, minimization, environment.

Теруге 13.03.2026 ж. жіберілді. Басуға 31.03.2026 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

28.54 Мб RAM

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

Компьютерде беттеген: З. Ж. Шокубаева

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4523

Сдано в набор 13.03.2026 г. Подписано в печать 31.03.2023 г.

Электронное издание

28.54 Мб RAM

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

Компьютерная верстка: З. Ж. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4523

«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