








Ғылыми мақала

ҚОРШАҒАН ОРТАҒА ӘСЕРДІ АЗАЙТУ МАҚСАТЫНДА АЛМАТЫ ЖЭС ЖАҢҒЫРТУ НҰСҚАЛАРЫН ЭКОЛОГИЯЛЫҚ БАҒАЛАУ

Айнур С. Бегимбетова* Ph.D, қауымдастырылған профессор , Светлана Е. Мананбаева ,
Жанна К. Мусаева к.б.н. , Куралай А. Сағытаева , Акбота К. Лепесбай 

Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан; a.begimbetova@aes.kz (АСБ), s.mananbaeva@aes.kz (СЕМ), zh.musaeva@aes.kz (ЖКМ), k.sagytayeva@aes.kz (КАС), a.lesbek@aes.kz (АКЛ)

*Автор корреспонденциясы: Айнур С. Бегимбетова, a.begimbetova@aes.kz

ТҮЙІН СӨЗДЕР

шығарындылар, атмосфераның ластануы, жылу электр орталығы, табиғи газ, көмір, азот оксиді, күл, көміртек, парниктік газдар, газ турбиналық қондырғылар

АҢДАТПА

Бүгінгі таңда жылу электр станцияларының қызметі теріс әсермен қарастырылуда, сондықтан оның жұмысын табиғи газға ауыстырудың шұғыл қажеттілігі туындады. Мақалада бұл процесс – жылу электр орталығының (ЖЭО-ның) табиғи газға ауысуының - көмір күлінің, күкірт диоксиді мен мазут күлінің зиянды шығарындыларын азайту арқылы ауа сапасын жақсартудың тиімді әдісі ретінде қарастырылады. Сонымен қатар, азот пен көміртегі тотығы мен парниктік газдар шығарындыларын азайту мәселелері қарастырылуда. Сайып келгенде, бұл ластаушы заттардың жылдық шығарындыларының шамамен 80% - ға төмендеуіне әкеледі. Бұл зерттеудегі модельдеу процесі қаланың энергиямен жабдықтау сенімділігін сақтай отырып, экологиялық залалды барынша азайтатын оңтайлы технологиялық шешімді анықтауға бағытталған көп сатылы процедура болып табылады. Атмосфералық ауаның ластану деңгейіне қолданыстағы ЖЭО шығарындыларының үлесін бағалау атмосферадағы ластаушы заттар шығарындыларын бөлу процесін модельдеу арқылы орындалды. Модельдеу ЖЭО-ның максималды жүктемесі мен қолайсыз метеожағдайларда (атмосфералық ауада қоспалардың жиналуына ықпал ететін жағдайлар) шашырауды есептеу әдістемесі негізінде "Интеграл" фирмасы (С-Петербург қ.) әзірлеген "Эколог" атмосфералық ауаның ластануын есептеудің әмбебап бағдарламасын (3.0 нұсқасы) пайдалана отырып орындалды. Сондықтан біз Алматы жылу электр орталығын жақсартудың қоршаған ортаға тигізетін кері әсерін барынша азайтумен қатар энергетикалық және жылу қуатын арттыруға, сенімділікті, тиімділікті және пайдалану қауіпсіздігін қамтамасыз ететін әдісті таңдауды мақсат етіп қойдық. Зерттеу жылу станцияларының дамуының екі сценарийін қарастырады: көмір және газ. Жаңғыртудың ұсынылатын нұсқасы жаңа энергия көзін – газ турбиналы ЖЭО салу болып табылады. Әр түрлі типтегі заманауи газ турбиналарына негізделген нұсқаларды зерттеу электр және жылу жүктемелерін жабу талаптарына сәйкес келетін оңтайлы шешімді анықтайды.

1. КІРІСПЕ

Салыстырмалы түрде суық қысы бар континенттік климат аймағында орналасқан (жылыту үшін сыртқы ауаның есептік температурасы $-20,1$ °C) Алматы қаласының тұтынушыларын экологиялық қауіпсіз, сенімді және тұрақты жылумен қамтамасыз ету міндеті айқын әлеуметтік аспектіге ие.

Кез келген мемлекеттің басты басымдылықтарының бірі – тұрғын үйлерде жайлы өмір сүру жағдайларын жасау. Қыста ең маңызды әлеуметтік міндеттердің бірі-жылуды қамтамасыз ету болып табылады. Сондықтан ЖЭО-дағы жылу және электр энергиясын орталықтандырылған жылумен жабдықтау жүйесі қазіргі заманғы талаптарға, оның ішінде экологиялық тазалық пен техникалық жетілдіруге, жеткілікті жылу өнімділігі мен желінің өткізу қабілеттілігіне сәйкес келуі тиіс [1-3].

Алматы қаласы үшін экологиялық таза және озық технологиялар негізінде жылумен жабдықтаудың орталықтандырылған жүйесін дамыту маңызды әлеуметтік мәнге ие:

- тұтынушылар жылу мен электр энергиясын аралас өндірудің тиімді жүйесін пайдалана отырып, ЖЭО өндіретін жылумен қамтамасыз етілетін болады;

- орталықтандырылған жылумен жабдықтау жүйесін дамыту атмосфералық ауаны ластанудан қорғау үшін шешуші мәнге ие, биік құрылыс және орталықтандырылмаған жылумен жабдықтау жүйелері бар аудандарда бірнеше тәуелсіз жылу көздерін пайдалану қажеттілігін болдырмауға мүмкіндік береді;

- жаңа энергетикалық объектілерді салу және пайдалану белгілі бір дәрежеде жұмыспен қамту мәселесін шешеді, өйткені ол құрылыс-монтаж және инженерлік-техникалық кадрларға қажеттілік туғызады [2, 5-7].

Осыған байланысты аталған зерттеу деректері өзекті болып табылады, өйткені қазіргі таңда Алматы қаласындағы жылу электр орталықтарын жаңғыртудың негізгі стратегиялық бағыттары ретінде кәсіпорынның қоршаған ортаға тигізетін әсерін барынша азайта отырып, жылу және электр энергиясының қажетті деңгейін сақтау, энергия көзінің орнатылған қуатын арттыру, сондай-ақ зиянды шығарындыларды қысқартуға бағытталған экологиялық қауіпсіз технологияларды қолдану қарастырылуда [4-9].

Зерттеудің негізгі мақсаты – атмосфераға таралатын зиянды заттар шығарындыларын төмендету үшін жылу электр станциясын жаңғыртудың ең тиімді нұсқасын таңдау болып табылады. Осы мақсатқа жету үшін келесі міндеттер қойылды:

- жылу электр орталығын жаңғыртудың барлық ықтимал нұсқаларын қарастыру;

- «ЭКОЛОГ» (атмосфералық ауаның ластануын есептеуге арналған әмбебап бағдарламалық кешен) бағдарламасын пайдалана отырып, әрбір жаңғырту нұсқасы бойынша жылдық шығарындылар көлемін есептеу;

- жылу электр орталығын жаңғыртудың ең тиімді нұсқасын анықтау;

- кәсіпорыннан таралатын ластаушы заттардың атмосферада таралу карталарын құрастыру [3, 6-11].

Бүгінгі таңда Алматы қаласындағы жылу электр орталығында жүйенің шектеулі жүктемесі, күл алаңының құрылысын қажет етуі, күл-қалдықтарды пайдалануға потенциалды тұтынушылардың болмауы сияқты маңызды мәселелер жиналып, қоршаған ортаға зиянды шығарындылардың әсерін туғызатын ең өзекті мәселені қалыптастырып отыр.

Жаңғыртудың мәні қазіргі көмір-тозанды жабдықтарын экологиялық таза заманауи бу-газ қондырғыларымен алмастыруда, сондай-ақ электр және жылу энергиясын бірге өндіру мүмкіндігі бар, маневрлік жұмыс режимі бар, жоғары қуатты жаңа жылу-энергетикалық жүйелерді салуда, негізгі жабдықты консервациялау және инфрақұрылым мен қосымша жүйелерді пайдалану болып табылады.

Әлемдік тәжірибеде жылу және электр энергиясын өндіру мақсатында газ жағуға арналған ең қолжетімді технология ретінде заманауи бу-газ технологиялары танылады, олар қымбат «таза» отынды ең тиімді пайдалану мүмкіндігін береді [12-17].

Көмір отынын газбен алмастыру арқылы кәсіпорынның атмосфералық ауаға тигізетін теріс әсерін азайту, сонымен қатар қолданыстағы инфрақұрылымды барынша сақтау және энергетикалық қуатты қамтамасыз ету мәселесі жылу электр орталығын жаңғырту барысында мамандар алдында тұрған негізгі міндеттердің бірі болып табылады [7, 18].

Мақала жайында:

Жіберілді: 23.10.2025

Қайта қаралды: 28.02.2026

Қабылданды: 27.03.2026

Жарияланды: 01.04.2026

Дәйексөз үшін:

Бегимбетова А.,

Мананбаева С., Иусасва

Ж., Сағытаева А.,

Лепесбай А. Қоршаған

ортаға әсерді азайту

мақсатында Алматы ЖЭС

жаңғырту нұсқаларын

экологиялық бағалау //

Гидрометеорология и

экология, 121 (1), 2026,

124-132.

2. МӘЛІМЕТТЕР МЕН ӘДІСТЕР

ЖЭО жылу магистралін қайта құру жылу мен электр энергиясын өндірудің артуына әкеледі деп күтілуде. Жылу магистралі екі құбырлы режимге ауыстырылады, бұл қолданыстағы жылу желілері арқылы жылу шығынын арттырады. ЖЭО Алматыдағы ең ірі энергия көзі болып табылады [4]. Нысанның күрделілігіне және қолданыстағы инфрақұрылымды кеңінен пайдалануға байланысты ЖЭО жаңғыртудың ықтимал нұсқаларын бағалау және салыстыру бірнеше кезеңдерде қарастырылды. Модернизация нұсқалары дамудың екі сценарийі негізделген: көмір және газ.

Ол үшін төрт нұсқа қарастырылды:

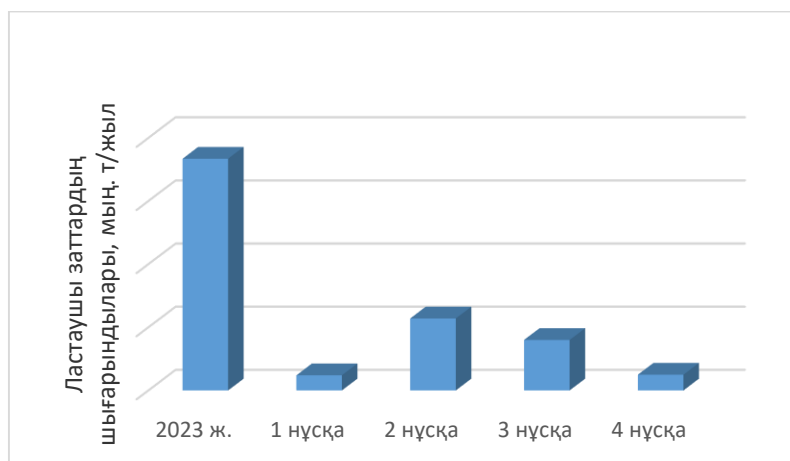
- 1-нұсқа-қазандықты газға ауыстыру арқылы жаңарту;
- 2-нұсқа - газ тазарту жабдығын орнатумен қолданыстағы қазандықтарды қайта құру;
- 3-нұсқа-когенерациялық газ турбиналық қондырғыны (КГТҚ) салумен ЖЭО-ты кеңейту;
- 4-нұсқа-жаңа газ қондырғысын салу.

Атмосфералық ластануды модельдеу әдістемесі әр түрлі модернизация сценарийлері үшін атмосферадағы ЖЭО-тың шығарындыларын тарату процестерін бағалауға негізделген. Шығарындыларды бақылау құралдық әдістер арқылы жүзеге асырылды. ЖЭО-дан шығатын ластаушы заттардың атмосфералық ауаның ластану деңгейіне қосатын үлесі Қазақстан Республикасы Қоршаған ортаны қорғау министрлігінің №100 бұйрығымен бекітілген әдістемеге сәйкес «ЭКОЛОГ» бағдарламасын қолдану арқылы ластаушы заттардың атмосферада таралу процесін модельдеу жолымен бағаланды [1, 5-6].

3. НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Модельдеу 2023-2024 жылдар аралығында қоспалар концентрациясына әсерін бағалау үшін екі түрлі метеожағдайлар жиынтығын ескере отырып жүргізілді.

ЖЭО-тың модернизациясының оңтайлы нұсқаларын анықтау кезінде шығарындыларды, ең алдымен күкірт диоксиді мен тоқтатылған бөлшектерді, сондай-ақ азот диоксидін азайту шешімдерін іздеуге баса назар аударылды [4]. Бұл жағдайда 1 және 4 нұсқалары (1-сурет) айқын артықшылықтар көрсетті.



Сурет 1. Қолданыстағы жағдаймен жылу электр орталықтарын жаңғырту кезінде зиянды заттар шығарындыларының салыстырмалы сипаттамасы

1-суретте жылу электр орталығынан (ЖЭО) шығатын ластаушы заттардың жиынтық шығарындылары қолданыстағы деңгей (2023 ж.) және жаңғырту нұсқалары бойынша салыстырмалы түрде көрсетілген. Деректерді талдау қолданыстағы технология жағдайында 2023 жылғы жиынтық шығарындылар көлемі 36,7 мың т/жыл құрайтынын көрсетеді, бұл көмір отынын пайдаланумен және қолданып отырған технологиялардың салыстырмалы түрде төмен экологиялық тиімділігімен түсіндіріледі.

Қарастырылған жаңғырту нұсқалары ластаушы заттар шығарындылары көлемінің едәуір төмендеуімен сипатталады. Атап айтқанда, 1-4 нұсқалар бойынша жиынтық шығарындылар көлемі тиісінше 2,4; 1,4; 8,0 және 2,5 мың т/жыл құрайды.

Алынған нәтижелер ЖЭО-ны жаңғырту бойынша жүргізілетін іс-шаралардың жоғары тиімділігін, әсіресе газ отынына көшу және заманауи энергетикалық технологияларды қолдану жағдайында айқын көрсетеді.

Экологиялық тұрғыдан ең тиімді болып 4-нұсқа саналады, онда газтурбиналық қондырғыларды пайдалану көзделген, бұл қала атмосфералық ауасына түсетін техногендік жүктеменің ең төмен деңгейін қамтамасыз етеді.

Осылайша, шығарындылардың салыстырмалы талдауы ЖЭО-ны жаңғыртудың газ негізіндегі нұсқаларын іске асырудың мақсатқа сай екенін растайды, бұл ластаушы заттардың атмосферада таралуын модельдеу нәтижелерімен және атмосфералық ауаға әсер ету маңыздылығын кешенді бағалаумен сәйкес келеді.

Ұсынылатын отынды жағу технологиялары мен газ тазарту жүйелері ең жақсы қолжетімді технологияларға сәйкес келеді, бұл Еуропалық одақтың талаптары деңгейінде қазандықтарда отынның әртүрлі түрлерін жағу кезінде қоршаған ортаға шығарындыларға қойылатын талаптардан аспайтын тазартудан кейінгі ластаушы заттардың деңгейін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді (1-кесте).

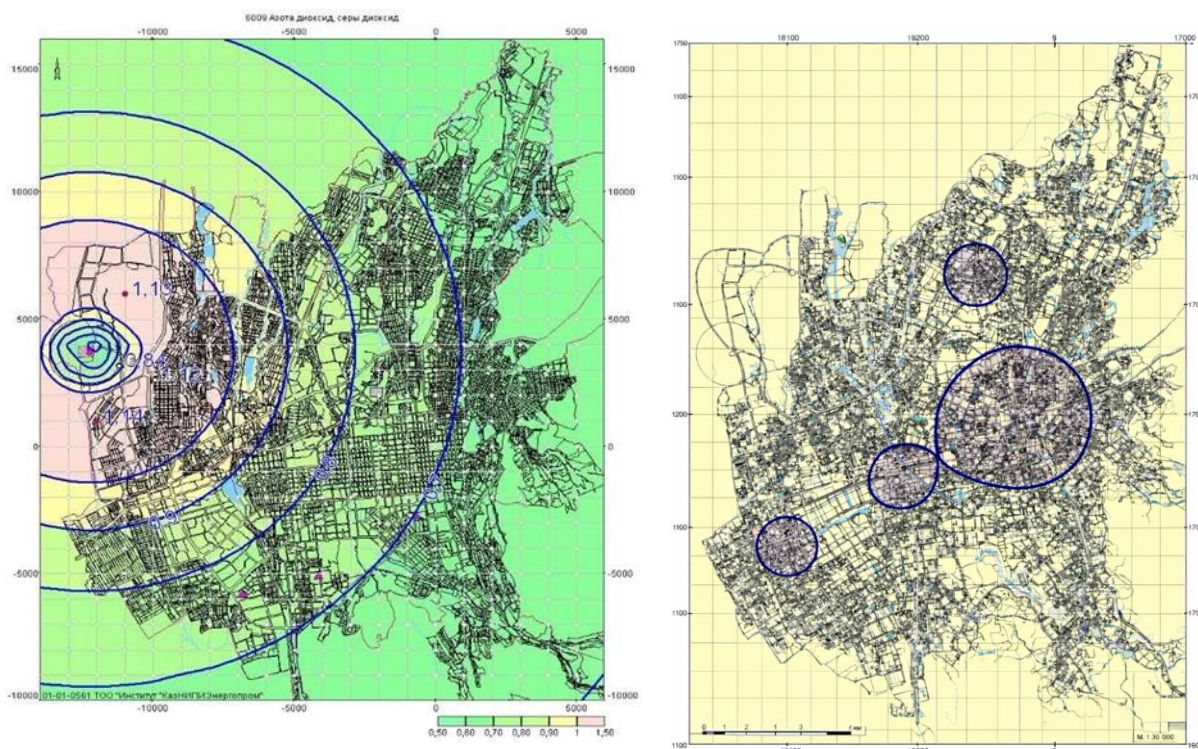
Кесте 1

ЖЭО-ты жаңғырту нұсқалары кезіндегі ластаушы заттардың шығарындылары, мг/нм³

Индикаторлар	Ағымдағы мән	Қазақстан Республикасының талаптары	ЕО талаптары	Жылу электр станцияларын жаңарту нұсқалары			
				1	2	3	4
Жанармай	көмір	көмір/газ	көмір/газ	газ	көмір	көмір	газ
NO _x	650	650/125/50*	200/100/50*	100	200	200	50
SO ₂	1500	2000	200	-	200	200	-
Күл	400	400	20	-	20	20	-

Кестеден көріп отырғанымыздай, барлық нұсқалар бойынша жаңғыртудың нәтижесінде шығарындылар Еуропалық Одақтың түтін газдарындағы ластаушы заттардың нормаларына сәйкес келеді: азот диоксиді, күкірт оксиді және күл (әрқайсысы тиісінше 50 мг/нм³; 200 мг/нм³; 20 мг/нм³ көп емес).

ЖЭО-ның 4-нұсқа жаңғырту әдісі бойынша негізгі ластаушы заттардың таралу карталары (2-сурет) ағымдағы ластану деңгейімен салыстырғанда, қоршаған ортаға әсерді азайту тұрғысынан жоғары тиімділікті көрсетеді.



Жылу электр станциясының ағымдағы жағдайы

Модернизацияның нұсқасы (көмір-газ)

Сурет 2. Атмосфералық ауаның NO₂ ластануын бағалау

Қолайсыз метеорологиялық жағдайлар кезінде шығарындылардың әсер ету аймағы әртүрлі заттар бойынша шамамен 15-17 км құрайды, ал олардың ең үлкен бөлігі (60%-ға дейін) белсенді ластану аймағында, яғни ЖЭО-дан 5 км радиуста шөгеді.

Нақты метеорологиялық жағдайлар мен оңтүстік-шығыс және оңтүстік бағыттағы басым желдер кезінде ЖЭО-2 шығарындыларының әсеріне ең көп ұшырайтын аумақтар ретінде жақын орналасқан Көк-Қайнар, Саялды және Боролдай шағын аудандары айқындалады, мұндағы әсер деңгейі белгіленген нормативтік талаптар шегінде сақталады.

Жылу электр орталығының атмосфералық ауаға әсерінің кешенді бағасы, ағымдағы деңгейде де, жаңғырту нұсқалары бойынша да «күшті маңыздылықтағы әсер» ретінде сипатталады және әсердің кеңістік пен уақыт өлшемдерімен анықталады. Газ нұсқаларында әсердің қарқындылығы көмір нұсқаларымен салыстырғанда төмен (2-ші қауіптілік класы), ал көмір нұсқаларында – жоғары (1-ші қауіптілік класы).

Ағымдағы ЖЭО-ты жаңғыртудың көмірлік нұсқаларының «күшті маңыздылығы әсері» диапазонының жоғарғы шегінде орналасса (28-64 балл), газ нұсқаларында – осы диапазон ортасында орналасқан, бұл олардың басымдылығын көрсетеді.

Шығарындылардың таралуын есептеу нәтижелері максималды жүктеме кезінде ең жоғары үлес күкірт диоксидіне тиесілі екенін көрсетті - 98%. Сонымен қатар фондық ластану деңгейі шекті рұқсат етілген концентрациядан (ШРК) айтарлықтай төмен екенін атап өткен жөн – 0,038 мг/м³ (немесе 0,76 ШРК ең жоғарғы біржолғы мәні). Одан кейін үлесі 57% болатын қалқымалы заттар, азот диоксидінің (азот (IV) оксиді) үлесі 30% құрады, ал көміртек оксидінің әсері байқалмады. Орташа жылдық жүктеме жағдайында барлық ластаушы заттар бойынша ЖЭО-2-нің атмосфералық ауаны ластауға қосатын үлесі 1%-дан аспайды.

Жылу электр станциясының тұрақты газбен қамтамасыз етілуі жағдайында қаланың экологиялық жағдайына түсетін техногендік жүктемені төмендету тұрғысынан ең ұтымды нұсқа 4-нұсқа болып табылады. 4-нұсқадағы шығарындылар көлемі қолданылатын газтурбиналық қондырғылардың түріне байланысты айтарлықтай өзгермейді.

2-ші және 3-ші нұсқаларда қазандықтар күкіртті газдарды ұстауға арналған газ тазалау қондырғыларымен жабдықталып, көмір отыны пайдаланылған жағдайда, 2023

жылғы қолданыстағы деңгеймен салыстырғанда шығарындылар көлемінің төмендеуі 80%-ды құрайды.

ЖЭО-2-нің қоршаған табиғи ортаның құрамдас бөліктеріне тигізетін жиынтық әсері қолданыстағы деңгейде де, жаңғырту нұсқалары бойынша да «жоғары маңыздылықтағы әсер» ретінде сипатталады (балл саны ≥ 64).

4. ҚОРЫТЫНДЫ

Жүргізілген жұмыстың нәтижелері бойынша келесі негізгі қорытындылар тұжырымдалды. Жылдық шығарындылар көлемі бойынша жаңғырту нұсқаларына салыстырмалы бағалау жүргізілді. Алынған деректерге сәйкес, отын ретінде табиғи газ қолданылатын 1 және 4 нұсқалар жоғары тиімділік көрсетті. Шығарындылардың айтарлықтай қысқаруы (2023 жылмен салыстырғанда 92-94% төмендеу) қалқымалы бөлшектер мен күкірт диоксиді шығарындыларын толықтай жою, сондай-ақ азот диоксиді шығарындыларының едәуір төмендеуі есебінен қамтамасыз етіледі.

1 және 4 нұсқаларды салыстыру барысында 4-нұсқада отынды пайдалану тиімділігі 79% деңгейінде, ал 1-нұсқада бұл көрсеткіш 67% екенін көрсетті.

Сонымен қатар, 4-нұсқаны қолданыстағы ЖЭО аумағындағы жаңа алаңда іске асыру тәуекелі қолданыстағы тереңдетілген негізгі ғимарат шегінде қарастырылатын 1-нұсқамен салыстырғанда едәуір төмен екені анықталды.

Жылу электр орталығының әсер ету маңыздылығы санаты, ең алдымен, әсердің уақытша және кеңістіктік ауқымымен айқындалады. Қоршаған орта компоненттерінің сапасына қойылатын белгіленген нормативтер шегіндегі әсер ету қарқындылығы жағдайында әсер сипаты көмір пайдаланылатын нұсқаларда күшті, ал газ отыны қолданылатын нұсқаларда орташа деп бағаланады. Сонымен қатар, отын ретінде табиғи газ қолданылған жағдайда да, электростанцияның жоғары қуаттылығына байланысты, барлық нұсқалар бойынша әсер ету маңыздылығының санаты қолданыстағы деңгейде – 1-санатта сақталады.

Қоршаған орта компоненттеріне әсер ету көрсеткіштерін салыстырмалы талдау кешенді бағалау барысында шешуші фактор ретінде атмосфералық ауаның ластануына әсер ету алынатынын көрсетеді, себебі бұл әсер кеңістіктік тұрғыдан анағұрлым ауқымды сипатқа ие.

Қолайсыз метеорологиялық жағдайлар кезінде шығарындылардың әсер ету аймағы ластанушы заттардың түріне байланысты шамамен 15-17 км құрайды және қаланың дерлік бүкіл аумағын қамтиды. Шығарындылар ЖЭО-2-ден қашықтаған сайын әртүрлі қарқынмен шөгеді, олардың ең үлкен үлесі (60%-ға дейін) белсенді ластану аймағында, яғни қолайсыз метеорологиялық жағдайлар кезінде ЖЭО-2-ден шамамен 5 км радиуста байқалады.

Атмосфералық ауаға әсер ету тұрғысынан газ негізіндегі нұсқалардың артықшылығы ағын суларды бұру үшін осы нұсқаларда қарастырылған булану алаңдарының жер асты суларына тигізетін әсерімен едәуір дәрежеде теңестіріледі. Дегенмен, газ нұсқалары бойынша кешенді әсер ету көрсеткіші төмен деңгейде сақталады, бұл олардың басымдылығын айғақтайды.

Отын ретінде табиғи газды пайдалануға біртіндеп көшу көмір күлінен, күкірт диоксидінен және мазут күлінен туындайтын ауаның ластануын жоюға, сондай-ақ азот оксидтері, көміртек оксиді және парниктік газдар шығарындыларын атмосфераға таралуын азайтуға мүмкіндік береді.

Газтурбиналық жылу электр орталығын салу арқылы ЖЭО-ны газдандыру қолданыстағы сумен жабдықтау және су бұру инфрақұрылымын тиімді пайдалануға жағдай жасайды.

ДЕРЕКТЕРДІҢ ҚОЛ ЖЕТІМДІЛІГІ

Осы зерттеуде пайдаланылған деректерді авторлар "Алматы электр станциялары" АҚ қызметінің жылдық есептерінен алды.

АВТОРЛАРДЫҢ ҚОСҚАН ҮЛЕСІ

Тұжырымдамалау – АСБ; деректерді басқару- СЕМ; Ресми талдау – АСБ, СЕМ; Әдістеме – ЖКМ, КАС; бағдарламалық қамтамасыз ету - КАС; бақылау – КАС, АҚЛ; визуализация – ЖКМ, АҚЛ; бастапқы жобаны жазу – АСБ, СЕМ; шолуды жазу және өңдеу – ЖКМ, КАС.

АЛҒЫС

Біз "Алматы электр станциялары" Акционерлік қоғамына осы жұмысты орындау кезінде деректерге қолдау көрсеткені үшін алғыс білдіреміз.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. «ЖЭО үшін ПЭК программасы» 2022-2032 жж. – 4 б. [Электрондық ресурс]. – 2022. – URL: <https://ecportal.kz/Public/PubHearings/LoadFile/60191> (жүгінген күні: 09.09.2024).
2. В. А. Мунц, Е. Ю. Павлюк, А. С. Прошин. Мунц, В. А. Котельные установки и парогенераторы [Электронный ресурс]. – 2020. - <https://ibooks.ru/products/382154> (дата обращения 09.09.2-24).
3. Mohammadjavad Soleimani, Fatemeh Negar Irani, Meysam Yadegar, Nader Meskin (2025). Comprehensive review of gas turbine fault diagnostic strategiesю Journal of Applied Energy. Vol. 401, Part C. P. 35-44. DOI: 10.1016/j.apenergy.2025.126801
4. Yavorskiy O, Tarakhtii O., Zhukovskiy V., Panin V. (2024). Analysis of the distribution of gas turbine unit operation modes as a tool for improving the stability of the power system. Technology audit and production reserves. Vol. 6 No. 2(80). P. 50-57. DOI: 10.15587/2706-5448.2024.320229
5. Қазақстан Республикасының экология кодексі. Қазақстан Республикасының 2021 жылғы 2 қаңтардағы № 400-VI ҚРЗ Кодексі [Электрон. ресурс]. – 2021. – URL: <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/K2100000400> (жүгінген күні: 04.06.2025).
6. Атмосфералық ауаға жол берілетін антропогендік әсер етудің нормативтерін айқындау қағидаларын бекіту туралы. Қазақстан Республикасы Экология, геология және табиғи ресурстар министрінің 2021 жылғы 14 қыркүйектегі № 375 бұйрығы [Электрон. ресурс]. – 2021. – URL: <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V2100024462> (жүгінген күні: 04.06.2024).
7. Ең үздік қолжетімді техникалар бойынша «Энергия өндіру мақсатында ірі қондырғыларда отын жағу» анықтамалығын бекіту туралы. Қазақстан Республикасы Үкіметінің 2024 жылғы 23 қаңтардағы № 23 қаулысы [Электрон. ресурс]. – 2024. – URL: <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/P2400000023/compare> (жүгінген күні: 04.06.2024).
8. Chen K., Liang Sh., Zhang Sh., Shen Zh., Wang, B. (2024). Zero carbon emission and cold energy recovery: Thermodynamic evaluation of a combined ammonia gas turbine and transcritical CO₂ cycle. Energy. Vol. 313. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.133714>
9. Yazdani A., Salimi M., Amidpour M., Yilmaz M. (2024). Techno-economic study of gas turbines with hydrogen, ammonia, and their mixture fuels. Heliyon. Vol. 10, Issue 23. P. 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40727>
10. I-Fang Su, Yu-Chi Chung, Chiang Lee, Pin-Man Huang (2023). Effective PM_{2.5} concentration forecasting based on multiple spatial-temporal GNN for areas without monitoring stations. Expert Systems with Applications. Vol. 234. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121074>
11. Puliang Du, Xiaomin Gong, Bei Han, Xuemei Zhao (2023). Carbon-neutral potential analysis of urban power grid: A multi-stage decision model based on RF-DEMATEL and RF-MARCOS. Expert Systems with Applications. Vol. 234. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121026>
12. Lima R., Carvalho M., Glauber L. (2023). Analysis of Air Quality in the Metropolitan Region of Recife, Pernambuco. Revista Brasileira de Geografia Física Vol.16, n.6. P. 3168-3188. DOI: 10.26848/rbgf.v16.6.p3168-3188
13. Ceglinski, L. de V., Tavella, R. A., Boninfácio, A. da S., Santos, J. E. K., & Silva Júnior, F. M. R. (2022). Weekend effect on air pollutant levels in southernmost cities of Brazil with different economic activities. Environmental Monitoring and Assessment, 194(834). P. 1-12. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10518-6>.
14. Chen, S. P., Wang, C. H., Lin, W. D., Tong, Y. H., Chen, Y. C., Chiu, C. J., Chiang, H. C., Fan, C. L., Wang, J. L., & Chang, J. S. (2018). Air quality impacted by local pollution sources and beyond – Using a prominent petro-industrial complex as a study case. Environmental Pollution, Vol. 236. P. 699-705. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.091>.
15. Deng, J., Wang, X., Wei, Z., Wang, L., Wang, C., & Chen, Z. (2021). A review of NO_x and SO_x emission reduction technologies for marine diesel engines and the potential evaluation of liquefied natural gas fueled vessels. Science of the Total Environment. Vol. 766. P. 144319-144337. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144319>.
16. Han, L., Zhou, W., Li, W., & Qian, Y. (2022). Challenges in continuous air quality improvement: An insight from the contribution of the recent clean air actions in China. Urban Climate. Vol. 46. P. 101328-101338. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101328>.
17. Hu, M., Wang, Y., Wang, S., Jiao, M., Huang, G., & Xia, B. (2021). Spatial-temporal heterogeneity of air pollution and its relationship with meteorological factors in the Pearl River Delta, China. Atmospheric Environment. Vol. 254. P. 118415-118428. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118415>.
18. Lin, Y. C., Lai, C. Y., & Chu, C. P. (2021). Air pollution diffusion simulation and seasonal spatial risk analysis for industrial areas. Environmental Research. Vol. 194. P. 110693-110718. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110693>

REFERENCES

1. «ЖЭО үшін ПЭК программасы» 2022-2032 жж. – 4 б. [Электрондық ресурс]. – 2022. – URL: <https://ecportal.kz/Public/PubHearings/LoadFile/60191> (жүгінген күні 09.09.2024).
2. В. А. Мунц, Е. Ю. Павлюк, А. С. Прошин. Мунц, В. А. Котельные установки и парогенераторы [Электронный ресурс]. – 2020. - <https://ibooks.ru/products/382154> (дата обращения 09.09.2-24).
3. Mohammadjavad Soleimani, Fatemeh Negar Irani, Meysam Yadegar, Nader Meskin (2025). Comprehensive review of gas turbine fault diagnostic strategiesю Journal of Applied Energy. Vol. 401, Part C. P. 35-44. DOI: 10.1016/j.apenergy.2025.126801
4. Yavorskiy O, Tarakhtii O., Zhukovskiy V., Panin V. (2024). Analysis of the distribution of gas turbine unit operation modes as a tool for improving the stability of the power system. Technology audit and production reserves. Vol. 6 No. 2(80). P. 50-57. DOI: 10.15587/2706-5448.2024.320229
5. Qazaqstan Respublikasynyñ ekologiya kodeksı. Qazaqstan Respublikasynyñ 2021 jylgy 2 qañtardaygy № 400-VI QRZ Kodeksı [Elektron. resurs]. – 2021. – URL: <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/K2100000400> (jügingen küni: 04.06.2025).
6. Atmosferalyq auaga jol beriletin antropogendik әser etudıñ normativterin aiqyndau qağidalaryn bekitu turaly. Qazaqstan Respublikasy Ekologiya, geologiya және табиғи ресурстар министрінің 2021 jylgy 14 qyrküiektegi № 375 büirygy [Elektron. resurs]. – 2021. – URL: <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V2100024462> (jügingen küni: 04.06.2024).
7. Eñ üzdik qoljetimdi tehnikalar boıynsa «Energiya öndiru maqsatynda ırı qondyrğylarda otyñ jaғu» anyqtamalyğyn bekitu turaly. Qazaqstan Respublikasy Ükimetniñ 2024 jylgy 23 qañtardaygy № 23 qaulysy [Elektron. resurs]. – 2024. – URL: <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/P2400000023/compare> (jügingen küni: 04.06.2024).

8. Chen K., Liang Sh., Zhang Sh., Shen Zh., Wang, B. (2024). Zero carbon emission and cold energy recovery: Thermodynamic evaluation of a combined ammonia gas turbine and transcritical CO₂ cycle. *Energy*. Vol. 313. <https://doi.org/10.1016/j.energ.2024.133714>
9. Yazdani A., Salimi M., Amidpour M., Yilmaz M. (2024). Techno-economic study of gas turbines with hydrogen, ammonia, and their mixture fuels. *Heliyon*. Vol. 10, Issue 23. P. 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40727>
10. I-Fang Su, Yu-Chi Chung, Chiang Lee, Pin-Man Huang (2023). Effective PM_{2.5} concentration forecasting based on multiple spatial-temporal GNN for areas without monitoring stations. *Expert Systems with Applications*. Vol. 234. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121074>
11. Puliang Du, Xiaomin Gong, Bei Han, Xuemei Zhao (2023). Carbon-neutral potential analysis of urban power grid: A multi-stage decision model based on RF-DEMATEL and RF-MARCOS. *Expert Systems with Applications*. Vol. 234. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121026>
12. Lima R., Carvalho M., Glauber L. (2023). Analysis of Air Quality in the Metropolitan Region of Recife, Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física* Vol.16, n.6. P. 3168-3188. DOI: 10.26848/rbgf.v16.6.p3168-3188
13. Ceglinski, L. de V., Tavella, R. A., Boninfácio, A. da S., Santos, J. E. K., & Silva Júnior, F. M. R. (2022). Weekend effect on air pollutant levels in southernmost cities of Brazil with different economic activities. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(834). P. 1-12. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10518-6>.
14. Chen, S. P., Wang, C. H., Lin, W. D., Tong, Y. H., Chen, Y. C., Chiu, C. J., Chiang, H. C., Fan, C. L., Wang, J. L., & Chang, J. S. (2018). Air quality impacted by local pollution sources and beyond – Using a prominent petro-industrial complex as a study case. *Environmental Pollution*, Vol. 236. P. 699-705. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.091>.
15. Deng, J., Wang, X., Wei, Z., Wang, L., Wang, C., & Chen, Z. (2021). A review of NO_x and SO_x emission reduction technologies for marine diesel engines and the potential evaluation of liquefied natural gas fueled vessels. *Science of the Total Environment*. Vol. 766. P. 144319-144337. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144319>.
16. Han, L., Zhou, W., Li, W., & Qian, Y. (2022). Challenges in continuous air quality improvement: An insight from the contribution of the recent clean air actions in China. *Urban Climate*. Vol. 46. P. 101328-101338. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101328>.
17. Hu, M., Wang, Y., Wang, S., Jiao, M., Huang, G., & Xia, B. (2021). Spatial-temporal heterogeneity of air pollution and its relationship with meteorological factors in the Pearl River Delta, China. *Atmospheric Environment*. Vol. 254. P. 118415-118428. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118415>.
18. Lin, Y. C., Lai, C. Y., & Chu, C. P. (2021). Air pollution diffusion simulation and seasonal spatial risk analysis for industrial areas. *Environmental Research*. Vol. 194. P. 110693-110718. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110693>

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВАРИАНТОВ МОДЕРНИЗАЦИИ АЛМАТИНСКОЙ ТЭЦ С ЦЕЛЬЮ МИНИМИЗАЦИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Айнур С. Бегимбетова* Ph.D, ассоциированный профессор, Светлана Е. Мананбаева, Жанна К. Мусаева к.б.н., Куралай А. Сагытаева, Акбота К. Лепесбай

Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, Алматы, Қазақстан; a.begimbetova@aes.kz, s.mananbaeva@aes.kz, zh.musaeva@aes.kz, k.sagytayeva@aes.kz, a.lesbek@aes.kz

*Автор корреспонденции: Айнур С. Бегимбетова, a.begimbetova@aes.kz

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

выбросы, загрязнение атмосферы, теплоэлектроцентраль, природный газ, уголь, оксид азота, зола, углерод, парниковые газы, газотурбинные установки

АБСТРАКТ

Переход деятельности тепловых электрических станций на природный газ является эффективным способом снижения вредных выбросов и улучшения качества воздуха в зоне влияния выбросов станций. Сжигание природного газа практически исключает загрязнение воздуха угольной золой, диоксидом серы и мазутной золой. Снижаются выбросы азота и оксида углерода, а также парниковых газов, сокращаются годовые выбросы загрязняющих веществ примерно на 80%. Процесс моделирования в данном исследовании представляет собой многоэтапную процедуру, направленную на определение оптимального технологического решения, которое минимизирует экологический ущерб при сохранении надежности энергоснабжения города. Оценка вклада существующих выбросов ТЭЦ в уровень загрязнения атмосферного воздуха выполнена путем моделирования процесса распределения выбросов загрязняющих веществ в атмосфере. Моделирование выполнено с использованием универсальной программы расчета загрязнения атмосферного воздуха "Эколог" (версия 3.0), разработанной фирмой "Интеграл" (г. С-Петербург) на основе Методики расчета рассеяния при максимальной нагрузке ТЭЦ и неблагоприятных метеорологических условиях,

По статье:

Получено: 23.10.2025

Пересмотрено: 28.02.2026

Принято: 27.03.2026

Опубликовано: 01.04.2026

способствующих накоплению примесей в атмосферном воздухе). Основная цель исследования заключалась в определении варианта модернизации Алматинской ТЭЦ, который позволит минимизировать воздействие на окружающую среду без ущерба обеспечения надежности и эффективности теплоснабжения и обеспечения энергоснабжения, при одновременном повышении мощности, надежности и безопасности эксплуатации. В исследовании рассматриваются два сценария развития деятельности тепловых станций: угольный и газовый. Предлагаемым вариантом модернизации является строительство нового источника энергии – газотурбинной ТЭЦ. Исследование вариантов на базе современных газовых турбин различных типов позволит выявить оптимальное решение, отвечающее требованиям покрытия электрической и тепловой нагрузок.

ECOLOGICAL ASSESSMENT OF OPTIONS FOR MODERNIZATION OF THE ALMATY THERMAL POWER PLANT WITH THE AIM OF MINIMIZING THE ENVIRONMENTAL IMPACT

Ainur S. Begimbetova* Ph.D, Associate Professor, Svetlana E. Mananbaeva, Zhanna K. Musaeva Ph.D, Kuralai A. Sagytayeva, Akbota K. Lepesbay

Almaty University of Energy and Communications named after Gumarbek Daukeev, Almaty, Kazakhstan; a.begimbetova@aes.kz, s.mananbaeva@aes.kz, zh.musaeva@aes.kz, k.sagytayeva@aes.kz, a.lesbek@aes.kz

*Author correspondent: Ainur Begimbetova, a.begimbetova@aes.kz

KEY WORDS

emissions, air pollution, combined heat and power plant, natural gas, coal, nitrogen oxide, ash, carbon, greenhouse gases, gas turbine units

About article:

Received: 23.10.2025

Revised: 28.02.2026

Accepted: 27.03.2026

Published: 01.04.2026

ABSTRACT

Converting combined heat and power plants (CHPs) to natural gas combustion is an effective way to reduce harmful emissions and improve air quality in the plant's footprint. Conversion to natural gas virtually eliminates air pollution from coal ash, sulfur dioxide, and fuel oil ash. It also reduces nitrogen and carbon oxide pollution, and lowers greenhouse gas emissions. Converting CHPs to natural gas combustion will reduce annual pollutant emissions by approximately 80%. The main objective of the study is to identify a modernization option for the Almaty CHP that minimizes environmental impact without compromising the reliability and efficiency of energy supply, while increasing installed capacity utilization, reliability, and operational safety. The study examines two CHP development scenarios: coal-fired and gas-fired. The recommended option for modernizing the combined heat and power plant is the construction of a new source - a gas turbine combined heat and power plant - with a variant study based on modern gas turbine units (GTU) of various types in order to determine the optimal option that will meet the requirements for covering electrical and thermal loads.

Баспагердің ескертпесі: барлық жарияланымдардағы мәлімдемелер, пікірлер мен деректер «Гидрометеорология и экология» журналына және/немесе редакторға(ларға) емес, тек авторға(ларға) тиесілі.