

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ



СӘТБАЕВ
УНИВЕРСИТЕТІ

Ә.Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік инженерия институты
Қолданбалы механика және инженерлік графика кафедрасы

Е. Б. Омар

Күн коллекторымен біріккен геотермалды жылу насосының
энергия тиімділігін зерттеу

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

5B071200 – «Машина жасау» мамандығы

Алматы 2019

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ



Ә.Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік инженерия институты
Қолданбалы механика және инженерлік графика кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Кафедра меңгерушісі
физ.-мат. ғыл. д-ры., профессор
А. Калтаев А. Калтаев
« 03 » « 05 » 2019 ж.



ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «Күн коллекторымен біріккен геотермалды жылу насосының
энергия тиімділігін зерттеу»

5B071200 – «Машина жасау» мамандығы бойынша

Орындаған

Е. Б. Омар

Ғылыми жетекші
PhD доктор, ассоц.-проф.
Е. К. Беляев Е. К. Беляев
« 06 » « 05 » 2019 ж.

Алматы 2019

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ



Ә.Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік инженерия институты
Қолданбалы механика және инженерлік графика кафедрасы

5B071200 – «Машина жасау»

БЕКІТЕМІН

Кафедра меңгерушісі
Физ-мат. ғыл. д-ры, профессор
А. Қалтаев
А. Қалтаев
«14» қараша 2018 ж.


Дипломдық жұмысты орындауға
ТАПСЫРМА

Білім алушы Е. Б. Омар
Тақырыбы Күн коллекторымен біріккен геотермалды жылу насосының энергия тиімділігін зерттеу
Университет басшысының 2018 жылғы «б» қараша №452-8 – бұйрығымен бекітілген
Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі 2019 жылғы «б» мамыр
Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері _____
Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі
а. Кіріспе. Дипломдық жұмыстың тақырыбын таңдауға негіз. Қазақстандағы метеорологиялық мәліметтер
б. Жазық күн коллекторлары
в. Негізгі бөлім. Күн және жер жылу энергиясын қолданатын гибриді жылу сорғыларының жылу процестерін сандық модельдеуі
г. Математикалық модель
д. Нәтижелер мен талдау
е. Жұмыстың қорытындысы
Сызба материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс)
Сызбалық материалдар слайдпен көрсетілген
Ұсынылатын негізгі әдебиет _____

Дипломдық жұмысты дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекші мен кеңесшілерге көрсету мерзімдері	Ескерту
Кіріспе. Қазақстандағы метеорологиялық мәліметтер	31.01.2019 - 3.03.19	
Жазық күн коллекторлары. Жер асты жылу алмастырғыштар үшін геотермалды жылу сорғы	3.03.19 - 25.03.19	
Күн және жер жылу энергиясын қолданатын гибридті жылу сорғыларының жылу процестерін сандық модельдеуі	25.03.19 - 2.04.19	

Дипломдық жұмыс бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жұмысқа қойған
қолтаңбалары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер аты, әкесінің аты, тегі, (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Норма бақылау	Е.Т. Бекенов, техн. ғыл. канд.,ассоц.-проф	10.05.2019	

Ғылыми жетекші  Е. К. Беляев

Тапсырманы орындауға алған білім алушы  Е. Б. Омар

Күні “ 14 ” маусым 2019 ж.

АНДАТПА

Бұл жұмыста Қазақстанның қысқы ауа-райында күн-геотермальды гибриді жылу сорғыларының жылу көрсеткіштерін болжау үшін сандық энергия теңгерімінің үлгісі ұсынылған. Сандық модельдеу жыл бойы континенталды климат жағдайында орындалды. Энергия теңгерімінің моделі термодинамиканың бірінші заңы негізінде жасалған. Ұсынылған жылу сорғының конфигурациясы күн сәулесі сағаттарында және күн сәулесінің сағаттарында геотермальды модельде күн режимінде жұмыс істейді. Кәдімгі геотермиялық көздер мен күн-жерге гибриді көзді жылу сорғысы конфигурациялары арасындағы энергия өнімділігін салыстыру жүргізілді. Күн қарқындылығының, қоршаған ортаның температурасының, жылу сорғының жұмыс температурасының әсері талқыланады.

АННОТАЦИЯ

В данной работе была предложена численная модель энергетического баланса для прогнозирования тепловых характеристик солнечно-геотермальных гибридных тепловых насосов-источников в зимнем климате Казахстана. Численное моделирование проводилось для круглогодичных континентальных климатических условий. Модель энергетического баланса была разработана на основе первого закона термодинамики. Предлагаемая конфигурация теплового насоса работает в солнечном режиме в солнечные часы, а геотермальная модель - в отсутствие солнечной радиации. Проведено сравнение энергетических характеристик между традиционными конфигурациями теплового насоса с геотермальным источником и гибридным источником солнечной энергии. Обсуждается влияние интенсивности солнечного излучения, температуры окружающей среды, рабочих температур теплового насоса.

ABSTRACT

A numerical energy balance model has been proposed in this work for predicting the thermal performances of solar-geothermal hybrid source heat pumps in winter climates of Kazakhstan. The numerical simulation was performed for the year round continental climate conditions. The energy balance model has been developed based on first law of thermodynamics. The proposed heat pump configuration is working in solar mode during sunshine hours and geothermal model during off sunshine hours. The energy performance comparison between conventional geothermal source and solar-ground hybrid source heat pump configurations has been made. The influences of solar intensity, ambient temperature, heat pump operating temperatures are discussed.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	6
1 Қазақстандағы метеорологиялық мәліметтер	8
1.1 Күннің түсу қарқындылығы	8
1.2 Қоршаған ортадағы температура	9
2 Геотермалды жылу сорғы	10
2.1 Жазық күн коллекторлары	12
2.2 Жер асты жылу алмастырғыштар үшін геотермалды жылу сорғы	14
2.3 Тік жер асты жылу алмастырғыш	16
2.4 Жылу сорғысының жұмысы	17
3 Күн және жер жылу энергиясын қолданатын гибридті жылу сорғыларының жылу процестерін сандық модельдеуі	18
4 Математикалық модель	19
5 Нәтижелер мен талдау	21
Қорытынды	26
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	27

КІРІСПЕ

Дәстүрлі қазба энергия көздерінің тез сарқылуы салдарынан энергия қорларын үнемдеу қазіргі таңда аса маңызды міндеттердің біріне айналды. Өнеркәсібі дамыған әлемнің барлық мемлекеттерінде энергия үнемдеу шаралары дұрыс жолға қойылған. Өйткені көмірмен және көмірсутегімен жұмыс істейтін жылу электр станциялары түбі бір экологиялық проблемалардың асқынуына әкеп соқтыратыны белгілі. Сондықтан әлем жаңартылған энергия көздерін энергия үнемдеудің басты қайнар көзі ретінде танып отыр. Қазіргі таңда елімізде жаңартылған энергия көздері, мысалы, күн фотоволтаигі, күн жылу энергиясы, жел энергиясы, биоотын сияқты энергия көздерін пайдалану орталықтандырылған энергиямен қамтамасыз ету жүйесіне нақты балама, әсіресе электр энергиясы шалғай аудандарға аса тиімді болып табылады. Қазақстанның климаттық жағдайы күн энергиясын да пайдалануға қолайлы болып табылады. Елімізде күн энергиясын өндіру мүмкіндігі жылына 2,5 млрд кВт/сағатқа бағалануда. Қазақстан солтүстік ендікте орналасқанына қарамастан, республика аумағындағы күн радиациясының қарқындылығы өте жоғары. Сонымен қатар, өңірде күн энергиясы электр қуатын өндіру үшін ғана емес, жылу алу үшін де пайдалануға болады. Ол үшін орталық электр және жылумен қамтамасыз ету жүйелерінен шалғай жатқан аудандарда күн қондырғылары орнатылуы тиіс.

Күнмен қоректенетін су насосы су ресурстары мен электр тогы алшақта орналасқан аймақты сумен қамтуда сенімді және экономикалық тиімді болып табылады, немесе отын шығындары және техникалық қызмет көрсету маңызды болып табылады. Су насосы күн көзінен тікелей қоректену үшін арнайы жасалған, олар өте қиын шарттарда жұмыс істеу үшін оңтайландырылған. Насос қарапайым айнымалы ток электр қозғалтқыштарының қоректенуі үшін тұрақты кернеу және жиілікті талап етеді, күн насостары кернеу мен токтың үлкен диапазонында жұмыс істей алады. Көптеген аймақтар үшін күн сорғылары физикалық күш пен шығын төмендету үшін жақсы тәсіл болып табылады. Осы күн қондырғыларының ерекшелігі, олар өте сенімді, құрылысының қарапайымдылығы, ұтқырлық және кез келген жерде орнату мүмкіндігі бар, дыбыссыз, қоршаған ортаға қауіпсіз әрі экологиялық таза болып табылады. Соңғы уақытта ауыл шаруашылығы бөліктерін сумен жабдықтау үшін күн суының қанықтыру технологиясын қолдануға көптеген зерттеулер жүргізілді.

Қолдану аймақтары:

- Электр көзімен жабдықтау желісі жоқ үйлер немесе ғимараттарды сумен қамтуда қолданылады. Мұндай үйлерде электр қоректендіру автономды жүйесі бар болғанына қарамастан, күнмен жұмыс істейтін сорғы пайдалану экономикалық тұрғыдан қарағанда әлдеқайда тиімді.
- Мал шаруашылығы. Бұл күн сорғы жүйесі үшін кең жайылған қолданыс болып табылады. Бұлар мемлекеттің ынталандыруын қолданбай-ақ өзінің экономикалық тиімділігін дәлелдеді.

- Аквамәдениет. Аквомадениеттерді өсіру- күн шуағының активтілігі мен сорғы қуатының сәйкес келетін облысы.

- Шағын суару телімі. Фотоэлектрлі модульдің бағасының төмендеуінен кейін, шуақты суару тез қалпына келеді. Суару үшін үлкен көлемде су айдауда күн сорғыларын қажет етеді.

Фотовольтаикалық сумен жабдықтау жүйелерінің өнімділігі күннің қарқындылығы, қоршаған ортаның температурасы, қоршаған ортаның салыстырмалы ылғалдылығы және айналадағы желдің жылдамдығы сияқты сыртқы параметрлерге байланысты болады. [1]

Жұмыстың мақсаты. Күнмен жұмыс істейтін су насосының энергия тиімділігін зерттеу.

Осы мақсатқа жету жолында келесі тапсырмалар қойылған:

- Күн – су насосының жылу және электр тиімділігін зерттеу үшін күн фотоволтаикасының математикалық моделін құру;

- Осы математикалық моделді компьютерлік бағдарламада сандық шешімін алу;

- Алынған нәтижелерді талдай отырып, әр түрлі факторлардың күн фотоволтаикасының эффективтілігіне зерттеу.

Зерттеу нысаны: PV панелі, әйнек, тедрлар, күн ұяшығы.

Күн-су насосын зерттеудің маңыздылығы:

- Қазақстан метеорологиялық жағдайында, оның ішінде күн қарқындылығы, қоршаған ортаның температурасы, жел жылдамдығы ескеріліп, күн PV панелінің электр өнімділігі сандық түрде зерттеу. Сонымен қатар, жылу эффекттерінің PV панелі электр өнімділігіне әсері зерттеу.

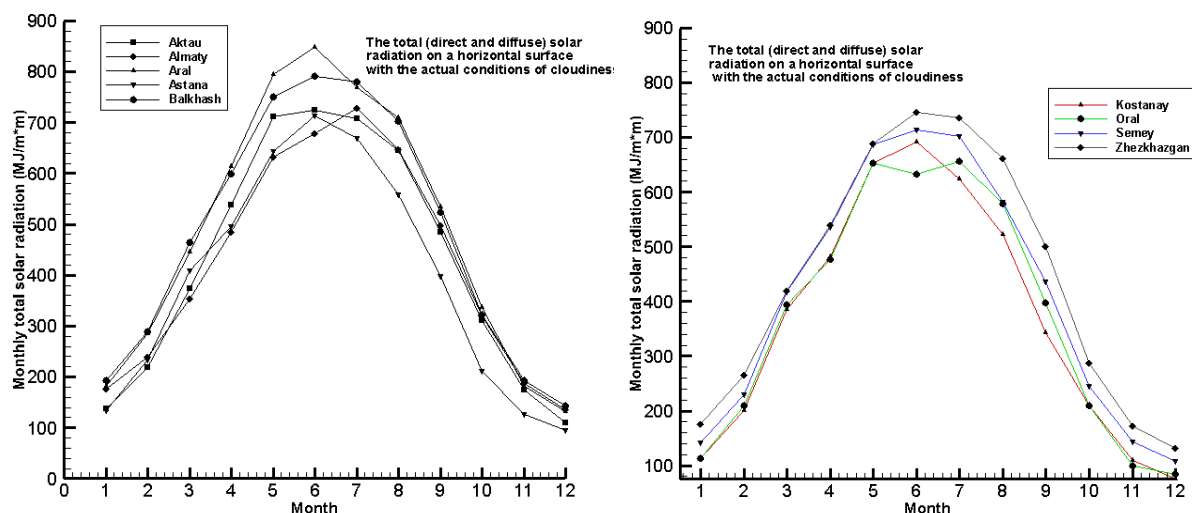
- Болашақта эксперименталды қондырғыны құрастырып, алынған сандық нәтижелермен салыстыру және құрастырылғын математикалық модель мен эксперименталды қондырғы негізінде жүйенің тиімділігін және оптимизация жұмыстарын жасау.

1 Қазақстандағы метеорологиялық мәліметтер

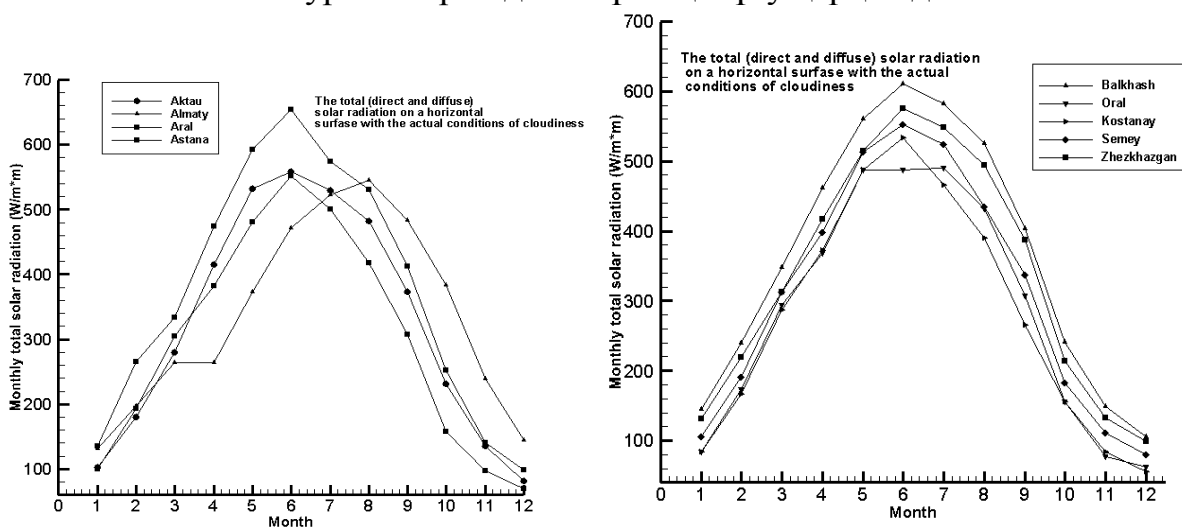
1.1 Күннің түсу қарқындылығы

Күннің түсу ұзақтығы жылына 2000-3000 сағат, күн радиациясының қуаты 1200 Вт/м^2 құрайды. Яғни, бұл бізге күн батареяларына-коллекторларына суды жылытуға, күн модульдеріне, әсіресе портативті фотоэлектрлік жүйелерге пайдалануға үлкен мүмкіндік береді. (1.1 – сурет)

Қазақстан аумағының елеулі бөлігі күн энергиясын пайдалану үшін қолайлы климаттық жағдайларға ие. Оңтүстік өңірлерде күн сәулесінің ұзақтығы жылына 2000-3000 сағат, ал көлденең бетке күн сәулесінің келуі жылына бір шаршы метрге 1280-нен 1870 кВт/сағ-ты құрайды. Ең шуақты күнде, шілдеде, бір шаршы метр көлденең бетке келетін энергия мөлшері орта есеппен 6,4- 7,5 кВт/сағ құрайды. Яғни, күн энергиясын пайдаланудың маңызы орасан зор. Жыл сайын Жер Күннен $1,6 \times 10^{18}$ кВт/сағ энергия алады, бұл энергия тұтынудың ағымдағы деңгейінен 10 мың есе көп (1.2 – сурет). [2]



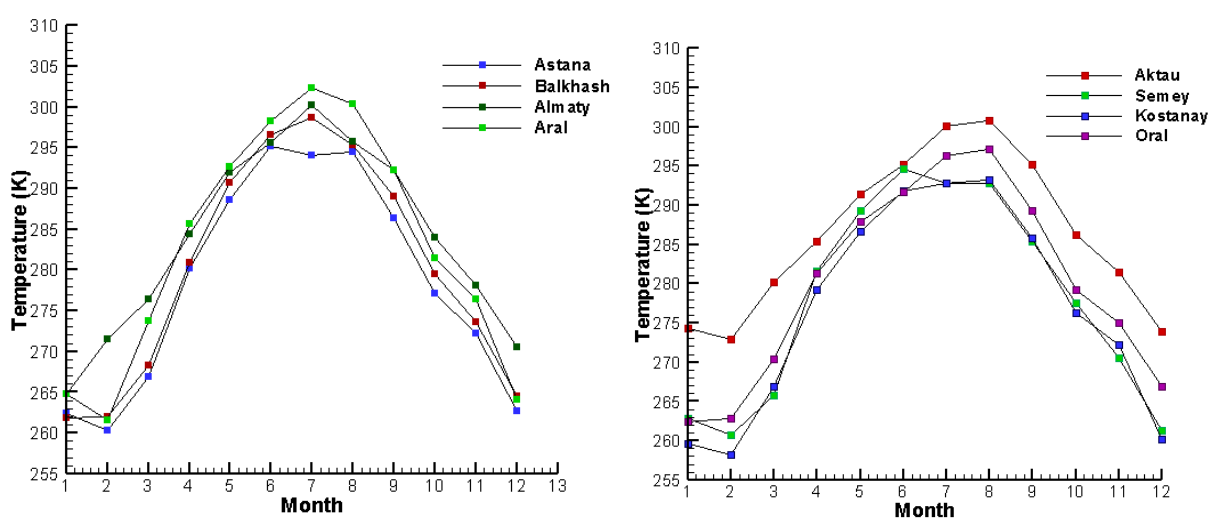
1.1 – сурет – Әр айдағы күннің түсу қарқындылығы



1.2 – сурет – Әр айдағы күннің қарқындылығы

1.2 Қоршаған ортадағы температура

Қазақстанның орналасуы мен жер бедерінің әртүрлі болуына байланысты қоршаған ортаның температурасының таралуы да әр түрлі. Аласа таулы бөктерде орташа температура солтүстіктен оңға қарай өзгереді, ал биік таулы аймақтарда жоғарылаған сайын өзгеріп отырады. Еліміздің жазық, аласа таулы бөктерінде қоршаған ортаның орташа температурасы жылы болып келеді, ал солтүстікте 0.4 градустан оңтүстікте 13.7 градусқа дейін көтеріледі. Бізде ең суық ай- қаңтар айы болып есептеледі. Қаңтар айында орташа температура Қостанайда -15 градусқа, Ақтауда 0 градусқа жеткен. Еліміздің солтүстік шығысында температура өте төмен болуымен ерекшеленеді, тіпті аяз күндері -54 градусқа дейін барады, ал оңтүстікте -30 градустан төмен температура болмайды. Республикамыздың ең жылы айы – шілде. Шілденің орташа температурасы республиканың солтүстігінде, яғни, Қостанайда +20⁰С, ал Аралда +30⁰С. Жазда жылудың таралуына күн сәулесінің түсу бұрышы мен жер бетін қыздыру қарқыны әсерін тигізеді. Сондықтан оңтүстікке барған сайын ыстық арта түседі. Ең жоғарғы температура солтүстікте +41⁰С, ал оңтүстікте +47⁰С-тан аспайды. Биік таулы аймақтарда жоғары көтерілген сайын шілденің орташа температурасы төмендейді. Мысалы, Алматыда ол 22.3 ⁰С, Медеуде 18.5 ⁰С, Күйгенсайда 14.6 ⁰С, Үлкен Алматы көлі ауданында 11.4 ⁰С болады. Жылдық орташа температуралық ауытқуы (амплитуда) республиканың солтүстігінде 38-40 болса, оңтүстікте ол 30-35. Қазақстанның солтүстігінде температураның тәуліктік ауытқуы едәуір. Қаңтар айының орташа тәуліктік ауытқуы -9 ⁰С, ал жазда ол +13 ⁰С-қа дейін көтеріледі. Қазақстанның оңтүстігінде орташа тәуліктік ауытқу қаңтар айында -9 ⁰С, шілде айында +19 ⁰С. Жаздағы ең үлкен тәуліктік ауытқу шөлдерде байқалады, онда 30 ⁰С-қа дейін жетеді (1.3 – сурет). [3]



1.3 – сурет – Әр айдағы қоршаған ортаның температурасы

2 Геотермалды жылу сорғы

Жылытатын геотермалды жылу сорғылары – бұл үйді жылыту үшін жер мен жер асты суларын төмен әлеуетті жылу энергиясын пайдаланатын автономды станциялар. Топырақ энергиясын пайдаланатын жылу сорғыштар Еуропада, Америка және Азия елдерінде бұрыннан қолданылып келеді.

Үйлерді жылыту үшін геотермалды жылу сорғыларын қолданудың көпжылдық тәжірибесі – станцияларды одан әрі қолданудың орындылығын көрсетіп қана қоймай, белгілі бір кемшіліктерді көруге және жоюға мүмкіндік берді.

Геотермалды сорғыларды қолдану арқылы жылумен жабдықтау төмен әлеуетті энергияны пайдалануға негізделген. Шын мәнінде, жылу сорғыш, бұл тек қызуға жұмыс істейтін кондиционер. Жылу сорғыларының конструкциясы үй-жайларды салқындатуға қарағанда жылытуға бейімделген.

Ауа жылу сорғыларына қарағанда тиімді жұмыс үшін қажетті жағдай қоршаған ортаның оң температурасы болып табылмайды. Жылу энергиясын жинау жүргізілетін коллектор топырақтың қату деңгейінен төмен орналасқан. Сондықтан, солтүстік ендіктерде жылу сорғысын қолдануға болады.

Күн жылыту және геотермалды сорғының аралас жүйелері ең танымал. Біріге жұмыс істей отырып, жабдықтар үйде жайлы жылыту және үй қажеттілігін қамтамасыз ету үшін жеткілікті энергия алады.

Жұмыс негізінде геотермалды процестер қолданылады. Топырақтың қату деңгейінен төмен, жер тұрақты плюс температурасына ие. Топырақ тұқымының тереңдеуіне қарай температура біртіндеп артады.

Жылу сорғыштары бар геотермалды жылумен жабдықтау жүйесінің жұмыс істеу принципі үйдің жылу тасымалдағышын қыздыру үшін алынған энергияны пайдалану және түрлендіру болып табылады. Бұл келесідей болады:

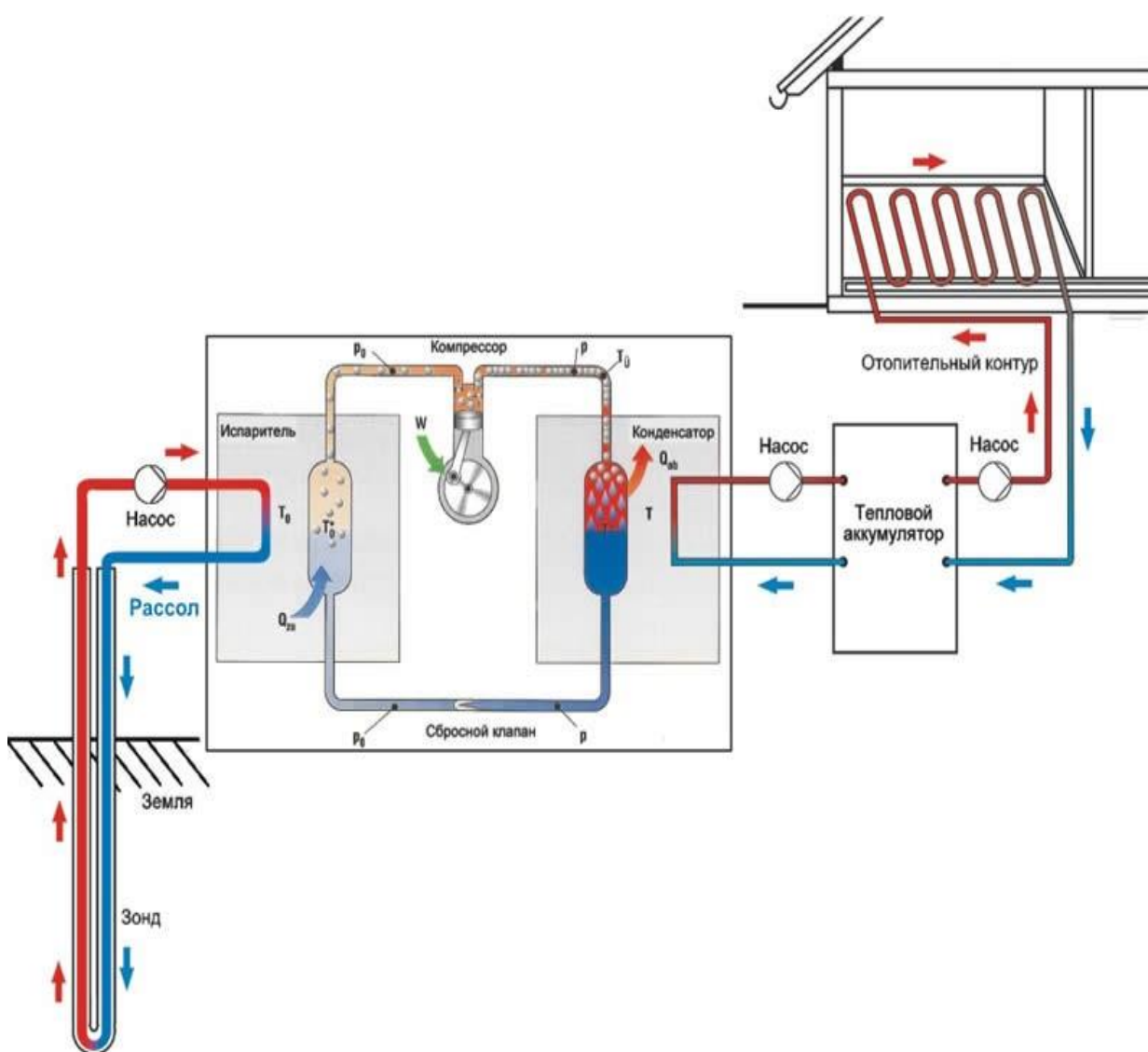
- Рассол (пропиленгликоль) толтырылған геотермалдық контуры орнатылады.
- Контур тереңдігі 60-100 м ұңғымаларға орналастырылған тік геотермалды зондтармен немесе 1 метрден астам тереңдікке салынған көлденең коллектормен жалғанған.
- Контурдағы жұмыс сұйықтығы зондтар арасындағы тұйық шеңбер бойынша айналады және 5-6°C дейін қызады, содан кейін жылу сорғысының қабылдағышына беріледі.

Бұдан әрі жылу сорғысы қоршаған ортадағы жылуды жинақтайтын басқа модельдер сияқты жұмыс істейді. Сорғының келесі құрылғысы бар:

- Тұйық контур-түтіктер бойынша сұйық күйден газ тәрізді күйге өтетін фреон айналады.
- Ыдыстағы фреон буланады, бұл ретте қыздырылған пропиленгликольден жылу жұтылады. Газ тәрізді күйде Фреон сорғының компрессорына беріледі.
- Онда +65°C дейін қыздыратын қысым жасалады және одан әрі оны конденсаторға бүркейді.

- Конденсатор қыздырылған фреонды қайтадан сұйықтыққа айналадырады, бірақ жоғары температураға дейін қыздырылған. Конденсатордың қабырғалары арқылы жылу алмасу жүреді, ол арқылы үйдің сумен жылытатын жылу тасымалдағышы қызады.

Геотермалдық сорғы үй-жайларды жылытудың қолайлы температурасын $+23 +25^{\circ}\text{C}$ қамтамасыз етеді. Геотермалды сорғы төменгі температуралы жылу жүйесіне арналған жылу көзі ретінде құрылған. Жылу сорғысын радиаторлық схемаларға қосуға болатын болса да, өндірушілер жылу тасымалдағышты жылы едендерде қыздыру үшін пайдалануды ұсынады. Геотермалды жылу сорғысының жұмыс істеу принципі жабдықты пайдаланудың абсолютті қауіпсіздігін қамтамасыз етеді. Жылдың жаз мезгілінде станция суыту үшін жұмыс істейді. (2.1 – сурет)



2.1 – сурет – Геотермалды жылу сорғы

2.1 Жазық күн коллекторлары

Жылу және жылу жүйелерінде қолданылатын жазық күн коллекторлары – күн коллекторларының ең көп таралған түрі.

Әдетте бұл абсорбер (жұтқыш) пластинасы орналасқан шыны немесе пластмасса қақпағы бар жылу оқшаулағыш металл жәшіктер. Шыны мөлдір немесе күңгірт болуы мүмкін. Жазық күн коллекторлар әдетте құрамында аз темір бар күңгірт шыны (ол коллекторға түсетін күн сәулесінің едәуір бөлігін өткізеді).

Күн сәулесі жылу қабылдайтын пластинаға түседі, ал шынылаудың арқасында жылу шығыны төмендейді. Коллектордың түбі мен бүйір қабырғалары жылу оқшаулағыш материалмен жабылады, бұл қосымша жылу шығынын төмендетеді. Абсорбер пластинасы әдетте қара түске боялады (қара беттер ашық түсті беттерге қарағанда күн энергиясын көп сіңіреді).

Күн сәулесі шыны арқылы өтеді және жұтатын пластина күн радиациясын жылу энергиясына айналдыра отырып түседі. Бұл жылу құбыр арқылы айналатын ауаға немесе сұйықтыққа беріледі. Қара беттердің көпшілігі 10% - ға жуық радиацияны бейнелейтін болғандықтан, кейбір пластиналар арнайы селективті жабынмен өңделеді, ол жақсы сіңірілген күн сәулесін ұстап тұрады және әдеттегі қара бояудан ұзағырақ қызмет етеді.

Коллекторларда пайдаланылатын селективті жабын металл негізге салынған аморфты жартылай өткізгіштің өте берік жұқа қабатынан тұрады. Селективті жабындар спектрдің көрінетін аймағында жоғары сіңіру қабілеттілігімен және ұзын толқынды инфрақызыл аймақта төмен сәулелену коэффициентімен ерекшеленеді. Жұтатын пластиналар әдетте жылуды жақсы өткізетін металдан жасалады (мысалы, мыс немесе алюминий).

Мыс қымбат, бірақ жақсы жылу сіңіреді және алюминийге қарағанда аз коррозияға ұшырайды. Күн коллекторының пластина-сіңіргіші энергияны суды жылытуға беру үшін жылуды барынша аз ысыраптауы қажет және жылу тасымалдауы да жоғары болуы тиіс. Жазық күн коллекторлары сұйық және ауа болып бөлінеді. Күн коллекторларының екі түрі де шыныланған немесе шыныланбаған болпы бөлінеді. (2.2 – сурет)

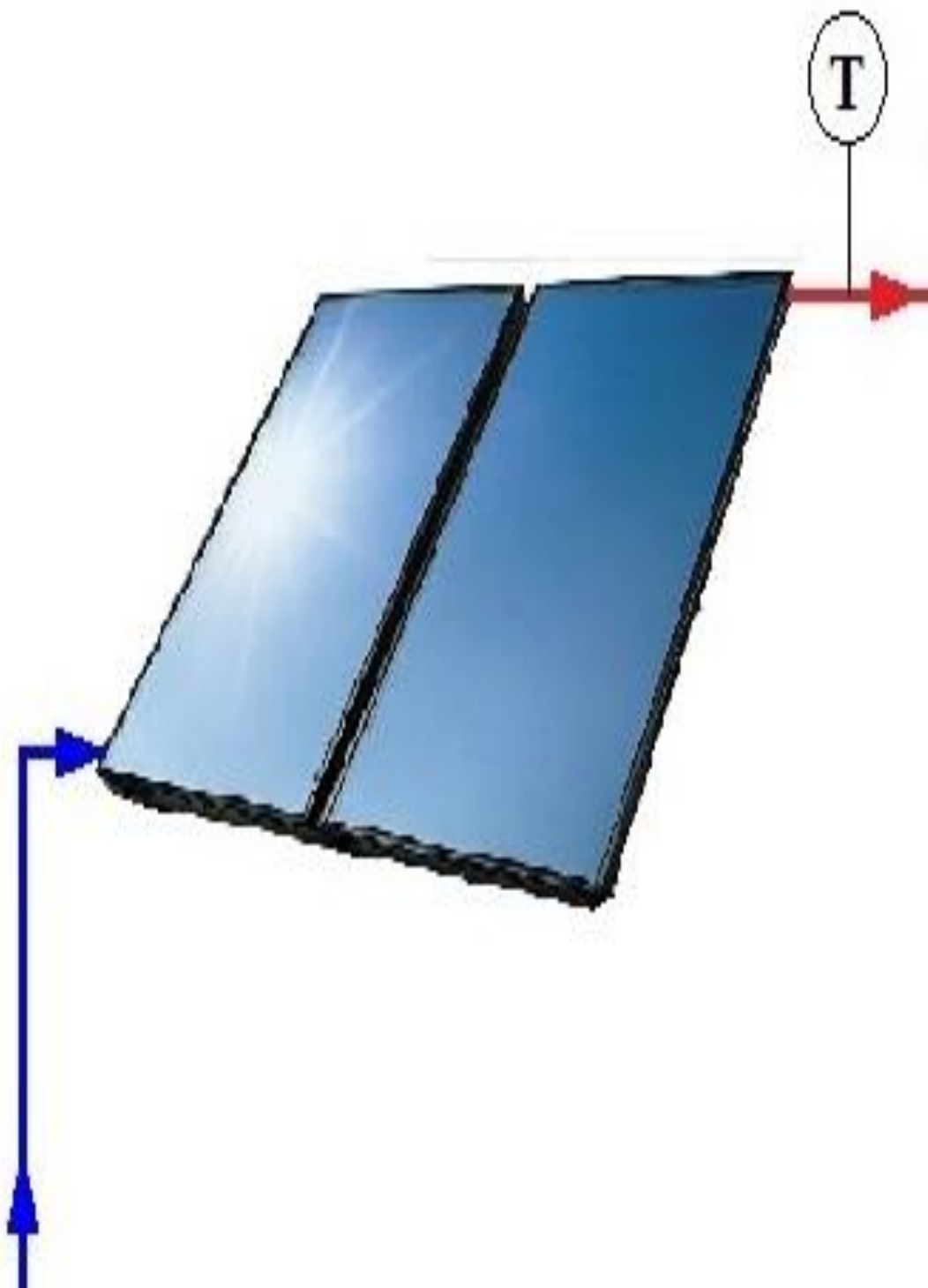
Жылу оқшаулағыш күн коллекторларындағы жылуды жоғалтуды шектейді және олардың тиімділігін арттырады. Модельге байланысты минералды оқшаулаудың қалыңдығы 2-ден 6 см-ге дейін болып келеді.

Жазық күн коллекторлары тұрмыстық қажеттіліктер үшін суды жылыту, бассейнде суды жылыту немесе үйде жылыту үшін пайдаланылады. Коллекторлар күзде және қыста да күн энергиясын тиімді пайдалануға мүмкіндік береді.

Жазық күн коллекторларының артықшылықтары:

- жүйені негізгі (жеткілікті күн белсенділігі бар өңірлер үшін) және жылыту үшін қосымша энергия көзі ретінде пайдалану мүмкіндігі
- 50°C дейінгі температурада жұмыс істейтін және күн радиациясы ағынының төмен қарқындылығы үшін орташа және суық климат үшін тиімді
- түрлі қажеттіліктерді қанағаттандыру үшін көптеген қосылу схемалары

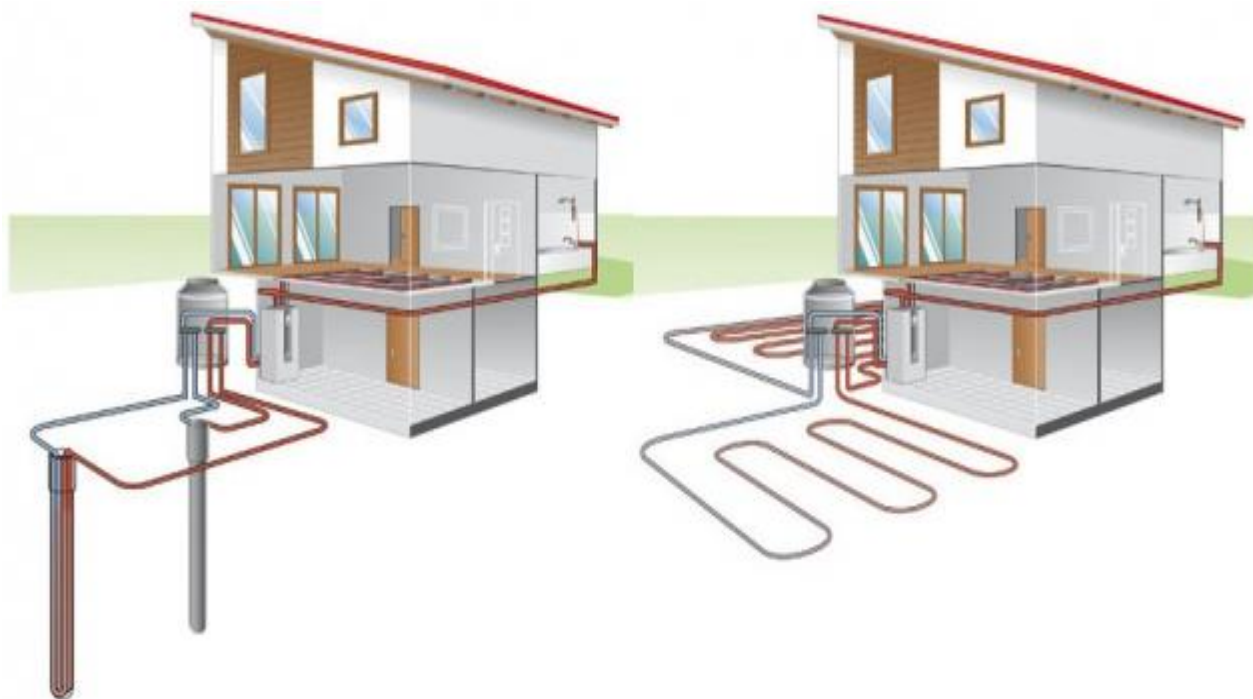
- оларды қолданыстағы ыстық сумен жабдықтау және жылыту жүйелеріне оңай салу
- бақтың және жабдықтың орналасуы үлкен алаңдарды талап етпейді
- жоғары өнімділік



2.2 – сурет – Күн коллекторы

2.2 Жер асты жылу алмастырғыштар үшін геотермалды жылу сорғы

Геотермалды жылу сорғысының негізгі элементтерінің бірі жер асты жылу алмастырғыш болып табылады. Осы элементтің арқасында жылу сорғысы төмен әлеуетті жылу алады. Дұрыс жобаланған және орнатылған жер асты жылу алмастырғыш топырақ жылу сорғысының тиімді және сенімді жұмыс істеу кепілі (2.3 – сурет).



2.3 – сурет – Жер асты жылу алмастырғыштардың орналасуы

Топырақтан және жер асты суларынан жылу алу үшін көптеген жылу алмастырғыштар бар. Олардың барлығының негізгі үш түрі бойынша жіктеуге болады:

- Көлденең жылу алмастырғыштар (коллекторлар)
- "Зондтар" деп аталатын тік жылу алмастырғыштар
- "Себет" және "спираль" типті жылу

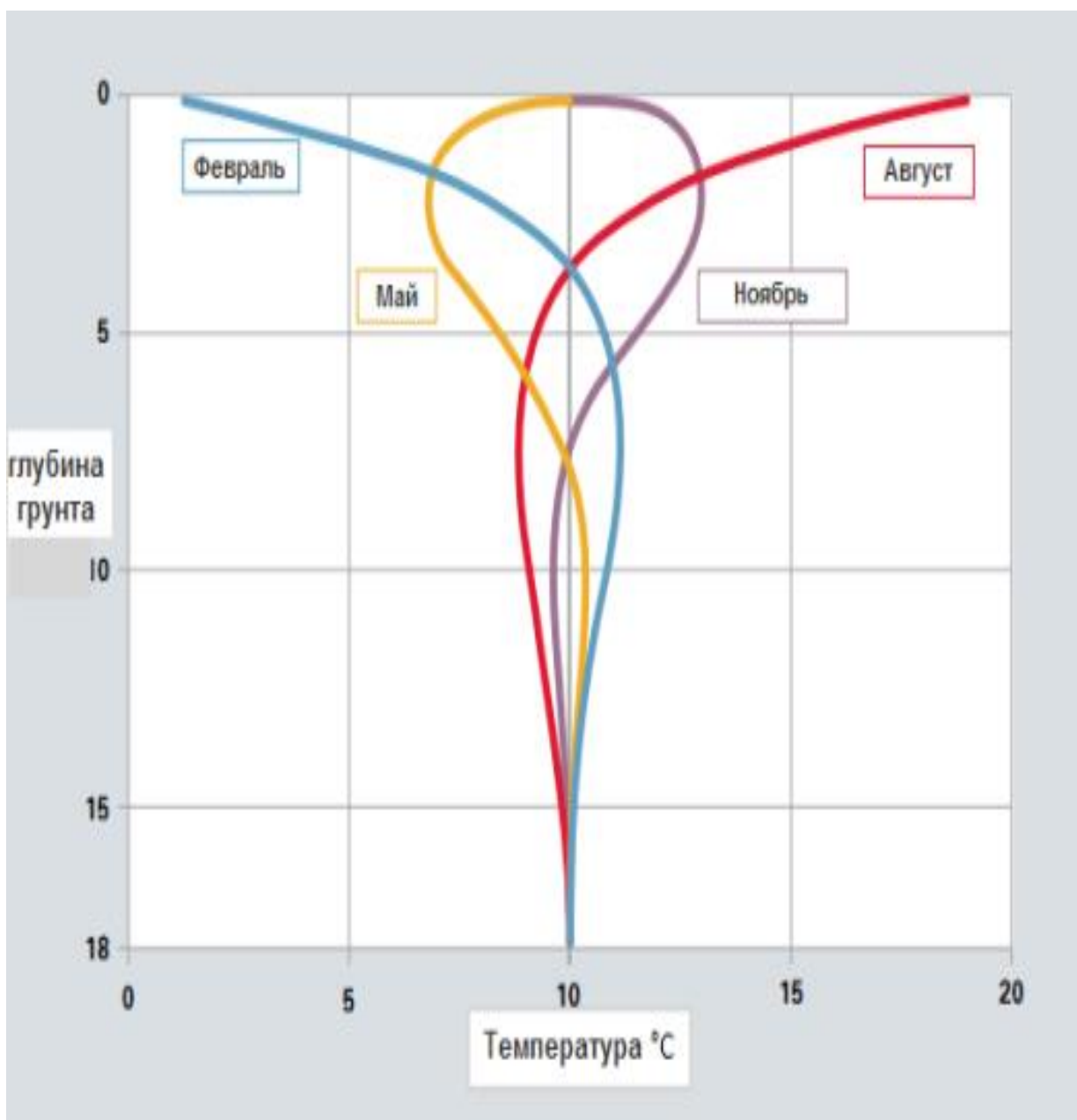
Көлденең жылу алмастырғышты монтаждау өте қарапайым және айтарлықтай ақшалай шығындарды талап етпейді. Алып отырған үлкен алаңда құрылыс пен ағаштар кейіннен болмауы кемшілік болып табылады.

Мұндай жылу алмастырғышты орналастыру топырақтың қату деңгейінен төмен тереңдікте, әдетте географиялық жерге және топырақ түріне байланысты 1-ден 3 м-ге дейін жүзеге асырылады.

Топырақтың жоғарғы қабаттары күн жылуын жинайды және шын мәнінде күн энергиясының аккумуляторы болып табылады. Сондықтан топырақтың жоғарғы қабатының температурасы жыл бойы біркелкі емес және маусымдық ауытқулар болады, бұл өз кезегінде пайдалану мерзімі кезінде жылу сорғысының тиімділігіне әсер етеді. Мысалы, 2 м тереңдікте топырақ

температурасы жыл бойы 7°C -тан 13°C -қа дейін ауытқиды. (2.4 – сурет).

(2.4 – сурет).



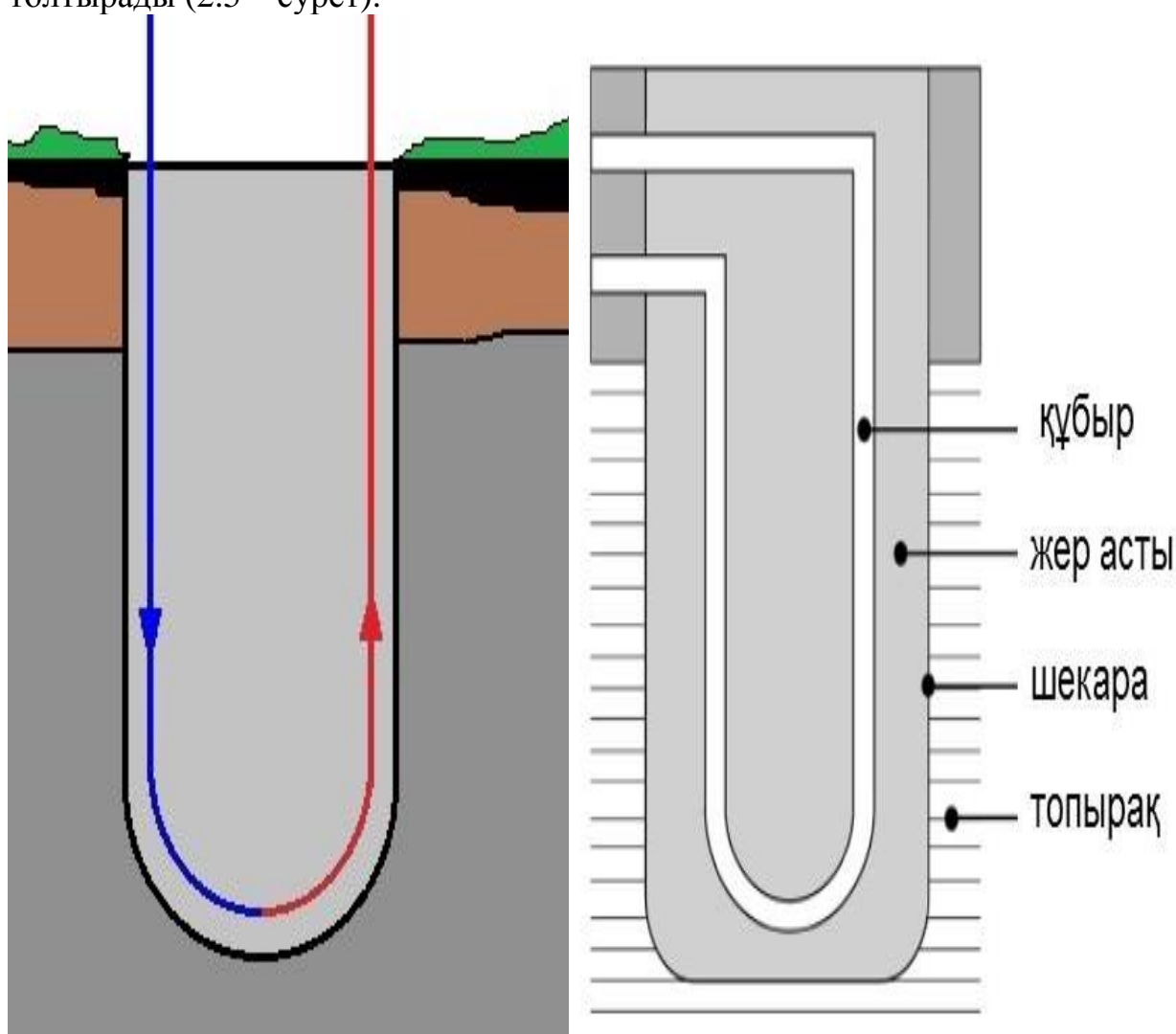
2.4 – сурет – Тереңдікке байланысты топырақ температурасы

Топырақ коллекторының әрбір метрінен жылуды алу көптеген факторларға байланысты. Мысалы: төсеу тереңдігі, топырақтың типі және ылғалдылығы, жылу алмастырғышқа және т.б. алаңшаның көлеңкеленуі. орташа мәні 20 Вт/м құрайды.

Құбырларды төсеу қадамы коллектордың тиімді жұмысы үшін $0,7\text{ м}$ кем болмауы тиіс. Үлкен гидравликалық кедергіден 150 м аспайтын жалпы ұзын контурды пайдалану ұсынылады. Бірнеше контурды қолданған кезде олардың әрқайсысы шамамен бірдей ұзындықта болуы керек.

2.3 Тік жер асты жылу алмастырғыш

Топырақ температурасы 20 метр тереңдікте жыл бойы тұрақты және 8-10 °С-қа тең, ол жер қойнауының геотермалдық энергиясының арқасында сақталады. Бұл энергияны алу үшін тереңдігі 20-300 м және диаметрі 120-200 мм ұңғымаларға "Зонд" деп аталатын тік топырақты жылу алмастырғыштар қолданылады. Әдетте диаметрі 32 мм пластикалық құбыр қолданылады. Ұңғымаға зондтың бір немесе екі ілмегін және топырақ пен құбыр арасындағы кеңістікті бентонитпен немесе жылу өткізгіштігі жоғары басқа ерітіндімен толтырады (2.5 – сурет).



2.5 – сурет – Тік жер асты жылу алмастырғыш

Вертикалды жылу алмастырғыштың жылу шығысы горизонталды жылу алмастырғышқа қарағанда жоғары және орташа 50 Вт/м қабылданады. Алайда, нақты мән өте өзгеше болуы мүмкін және жердің ылғалдылығына және жер асты суларының болуына байланысты.

Тік топырақ жылу алмастырғыштың ұзындығын есептеу көлденең коллекторларға ұқсас жүргізіледі.

2.4 Жылу сорғысының жұмысы

1. Суық фреон бастапқы контурдан алынатын жылудың нәтижесінде зонд түрінде қызады, ол төмен әлеуетті жылу көздері жер асты, суға немесе қоршаған ауаға байланысты істейді. Егер топырақ туралы айтатын болсақ, әдетте жыл бойы оның температурасы 8°C шамасында болады. Әрине, өсіп келе жатқан температура кезінде фреон қайнай бастайды және газ тәрізді күйге ауысады.

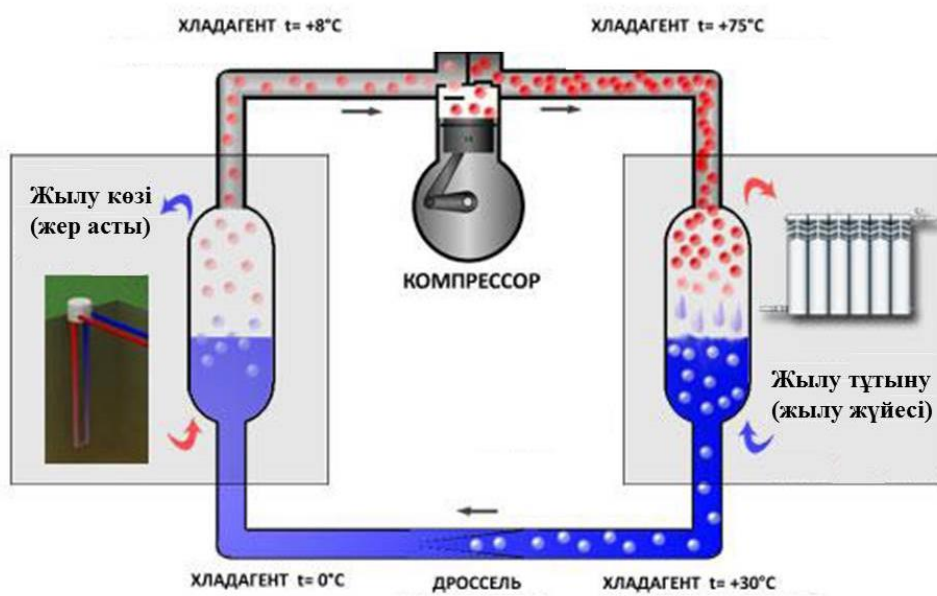
2. Екінші кезеңде фреон компрессормен көмегімен сорылып алынады, онда оның күрт қысылуы орын алады, көп мөлшерде жылу бөлінетін – фреон температурасы 90°C -қа жетуі мүмкін.

3. Одан әрі қыздырылған газ конденсаторға беріледі. Бұл температура жеке үйдің жылу сорғысымен жылыту және ыстық сумен қамтамасыз етуді ұйымдастыру үшін жеткілікті. Конденсаторда хладагент температурасы төмендейді, бұл ретте бөлінетін жылу жылыту жүйесіне беріледі. Фреон газ сұйықтықты қоспаға айнала отырып конденсацияланады.

4. Бұл жағдайда қоспа дроссельді вентильге келіп түседі – арнайы клапан, онда 0°C жететін фреон қысымы мен температурасының күрт төмендеуі болады, содан кейін сұйықтыққа айналдырылған хладагент қалпына келетін табиғи көзден жылу алу үшін буландырғыштан қайтадан түседі – цикл тұйықталады.

Жылу сорғысының жұмысын басқару термореттегішпен жүзеге асырылады. Үй-жайда алдын ала берілген температураға жеткен кезде ол жүйенің жұмысын тоқтатып, компрессорға электр энергиясын беруді тоқтатады, ал температура төмендеген кезде оны қосады.

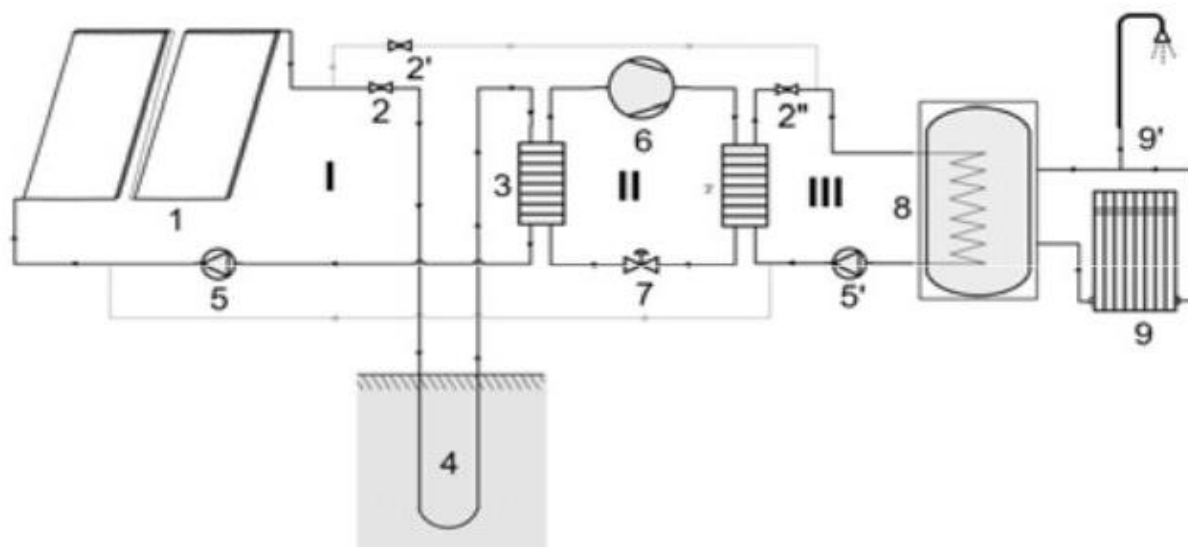
Бүгінгі күні жұмыс істеу принципі жер астынан жылу алуға негізделген геотермальды агрегаттар кеңінен таралған. Олар ең тиімді, сенімді, берік және ауа райы мен жыл мезгіліне қарамастан тұрақты сипаттамаларды қамтамасыз етеді (2.6 – сурет).



2.6 – сурет – Жылу сорғысының жұмысы

3 Күн және жер жылу энергиясын қолданатын гибриді жылу сорғыларының жылу процестерін сандық модельдеуі

Кеңістікті жылыту және тұрмыстық ыстық суды қолдану үшін қолданылатын күн-геотермалдық көзі гибриді жылу сорғысының (КГКГЖС) схемалық көрінісі суретте (3.1 – сурет) көрсетілген. КГКГЖС үш тізбектен тұрады, атап айтқанда, күн және геотермалды гибриді көз тізбегі I, жылу сорғысы II және суды жылыту III. Жылу сорғысының II тізбегі барлық компоненттерден тұрады, мысалы, компрессор (6), конденсатор (3), кеңейту клапаны (7) және пластинаның түріндегі буландырғыш (3'). Бұдан басқа, бақылау әйнегі, сұйықтықты қабылдағыш, фильтр-құрғақтағыш жүйенің жұмысын жақсарту үшін қолданады. Жүйенің жұмыс параметрлерін бақылау үшін қысым мен температура өлшеуіш элементтері пайдаланылды. Күн-геотермалды тізбек I екі күн термиялық коллекторлардан, геотермиялық жылу алмастырғыштардан (4), екі центрифугалы сорғылардан (5), (5') және соленоидті ағындарды басқару клапандарынан (2), (2'), (2'') тұрады. Ыстық су схемасы III сорғы (5'), ыстық су сақтау резервуары (8), пластина түріндегі жылу алмастырғыш (3'), бөлме радиаторлары (9) және ыстық суды (9') құрайды.



3.1 – сурет – Күн-геотермалды гибриді көздің жылу сорғысы

Жүйе келесі екі режимде жұмыс істейді: (I) күн жылу режимі және (II) жерасты гибриді жылу сорғысы режимі. Күннің жылу режимінде күн жинағыштары арқылы жиналған күн энергиясын тікелей ауысады және ыстық су сақтау қоймасында тұрмыстық су жылыту және этиленгликольді қолдану арқылы жылыту үшін сақталады. Жылу сорғысы режимінде этиленгликоль күн энергиясын жинау үшін күн энергиясын жинаушылар арқылы таратылады және геотермалдық энергияны алу үшін геотермалдық жылу алмастырғыштар арқылы таратылады. Біріктірілген күн-геотермалды гибриді көз жылу сорғысының буландырғышында қолданылады. [4]

4 Математикалық модель

Математикалық модельде үш негізгі теңдеулер бар: күн панелінің термалды коллекторы үшін екі өлшемді жылу беру теңдеуі (1), негізгі тақтаны және мыс катушканы қамтиды; күн коллекторының түтігінде (8) жылу тасымалдағыш сұйықтығы (антифриз) және тігінен геотермальды көзді жылу алмастырғышта (9) жылу энергиясын сақтау теңдеулері.

Жылу жинағыштың екі өлшемді жылу теңдеуі. Жылу қорытқышы екі элементтен тұрады: мыс катушкасы, мыс пластинасы. Байланыс бетіндегі жылу кедергісін елемей, осы екі элементтің температурасы кез келген анықтамалық көлемде бірдей деп есептеледі. Әрбір бақылау көлемінің жылу өткізгіштік теңдеуі концентрацияланған массасы m_c ерекше жылу C_c және жылу өткізгіштік λ_c түрінде жазылады:

$$m_c C_c \frac{\partial T_c}{\partial t} = G(\tau\beta)_c A_c + \alpha_{a-c} A_c (T_a - T_c) + \alpha_{r,a-c} A_c (T_{sky} - T_c) + \alpha_f A_f (T_f - T_c) + A_c \frac{T_a - T_c}{R_b} + \lambda_{c,y} l_{c,y} A_c \frac{\partial^2 T_c}{\partial y^2} + \lambda_{c,z} l_{c,z} A_c \frac{\partial^2 T_c}{\partial z^2} \quad (1)$$

мұнда, G – күн радиациясы; $(\tau\beta)$ – термалды коллектордың тиімді сіңірілуі; α_{a-c} және $\alpha_{r,a-c}$ – коллектор мен қоршаған орта арасындағы жылулық конвективтік және радиациялық жылу коэффициенттері; R_b – жылу коллекторының және қоршаған орта арасындағы артқы жағы арасындағы жылу кедергісі; $l_{c,y}$ және $l_{c,z}$ – тиісінше Y және Z бағыттары бойынша тиімді қалыңдығы.

Жоғарыда келтірілген параметрлер:

$$(\tau\beta)_c = \frac{\tau_c \beta_c}{1 - (1 - \beta_c) \cdot r} \quad (2)$$

$$\alpha_{a-c} = 2.8 + 3.0 \cdot u_{wind} \quad (3)$$

$$\alpha_{r,a-c} = \varepsilon_c \sigma (T_c^2 + T_{sky}^2) (T_c + T_{sky}) \quad (4)$$

мұндағы, $(\tau\beta)_c$ – күн коллекторының абсорберді сіңіргіштігі; τ_c және r – абсорбердің өткізгіштігі мен көрсететін қабілетін; u_{wind} – желдің жылдамдығы; T_{sky} – аспан температурасы, ол анықталды:

$$T_{sky} = 0.0552 T_a^{1.5} \quad (5)$$

$$\tau_c = \frac{1 - r}{1 + r} \quad (6)$$

$$r = \frac{\sin^2(\theta_1 - \theta_2)}{\sin^2(\theta_1 + \theta_2)} + \frac{\tan^2(\theta_1 - \theta_2)}{\tan^2(\theta_1 + \theta_2)} \quad (7)$$

мұндағы, θ_1 және θ_2 – күн сәулелерінің жиіліктері мен сынуы бұрыштары.

Жұмысшы сұйықтықты буландырғыштың және геотермалды жылу алмастырғыштың түтікшелерінде беру процесі сұйықтықтың энергиясын сақтау заңдарына негізделген жартылай дифференциалдық теңдеулердің математикалық жүйесімен сипатталуы мүмкін. Мынадай болжамдар жасалды:

- жұмыс сұйықтық ағымы бір өлшемді және сығылмайтын
- энергия теңдеуіндегі кинетикалық және потенциалды энергияның өзгеруі ескерілмейді

Жоғарыда келтірілген болжамдарға сәйкес, жұмыс сұйықтығының ағынын оңайлатылған үлгі ретінде келесідей жазуға болады:

$$m_f C_f \frac{\partial T_f}{\partial t} + m_f C_f u \frac{\partial T_f}{\partial z} = A_f \alpha_f (T_c - T_f) \quad (8)$$

$$m_f C_f \frac{\partial T_f}{\partial t} + m_f C_f u \frac{\partial T_f}{\partial z} = A_f \frac{(T_g - T_f)}{R_{g-f}} \quad (9)$$

мұндағы, m_f – сұйықтықтың массасы, C_f – тән жылу, күн коллекторының түтігінде түтіндік коэффициенті, R_{g-f} – жұмыс сұйықтығы мен қоршаған ортаға (жерге) жылу кедергісі.

$$R_{g-f} = \frac{l_{u-pipe}}{\lambda_{u-pipe}} \quad (10)$$

мұнда, l_{u-pipe} – құбыр қабырғасының қалыңдығы, λ_{u-pipe} – құбыр қабырғасының жылулық өткізгіштік. жылу алмастырғыштың жұмыс сұйықтығы мен жердегі температурасы өзгереді. Құбыр қабырғасының жылу балансының теңдеуін бөлек есептеудің орнына, құбыр қабырғасының топырақ пен жұмыс сұйықтығы арасындағы жылу алмасуына әсері термиялық кедергі коэффициенті (10) арқылы ескерілді. [4]

5 Нәтижелер мен талдау

Жоғарыда келтірілген (1) - (10) теңдеулер жүйесін шешу үшін жылу коллекторларының бастапқы температурасын беру қажет. Бұдан басқа, күн сәулесінің инсоляциясы, қоршаған ортаның температурасы, қолданылған материалдардың физикалық қасиеттері және жұмыс сұйықтық ағыны үшін деректерді енгізу қажет. Жылу буландырғыштың және жұмыс сұйықтығының динамикалық өзгерісін зерттеу үшін C++ бағдарламасында компьютерлік коды әзірленді.

Бағдарлама физикалық параметрлерге қажетті бастапқы шарттарды орнатудан басталады (5.1 – кесте).

5.1 – кесте – Жүйенің параметрлері

Абсорбер тығыздығы	ρ_c	8920 кг/м ³
Абсорбер жылу сыйымдылығы	C_c	385 Дж/кг·К
Абсорбер жылу өткізгіштігі	λ_c	401 Вт/м·К
Абсорбер сәулелену коэффициенті	ε_c	0.05
Абсорбер сәуле жұту коэффициенті	β_c	0.95
Стэфан-Больцман коэффициенті	σ	$5.67 \cdot 10^{-8}$ КТ/м ² ·К ⁴
Жылу тасымалдағыш сұйықтығының жылу тасымал коэффициенті	α_f	5.6 Вт/м ² ·К
Жылу тасымалдағыш сұйықтықтың тығыздығы	ρ_f	1055 кг/м ³
Жылу тасымалдағыш сұйықтықтың жылу сыйымдылығы	C_f	3620 Дж/Кг·К
U-тәрізді құбырдың жылу өткізгіштігі	λ_{U-pipe}	2.5 Вт/м·К

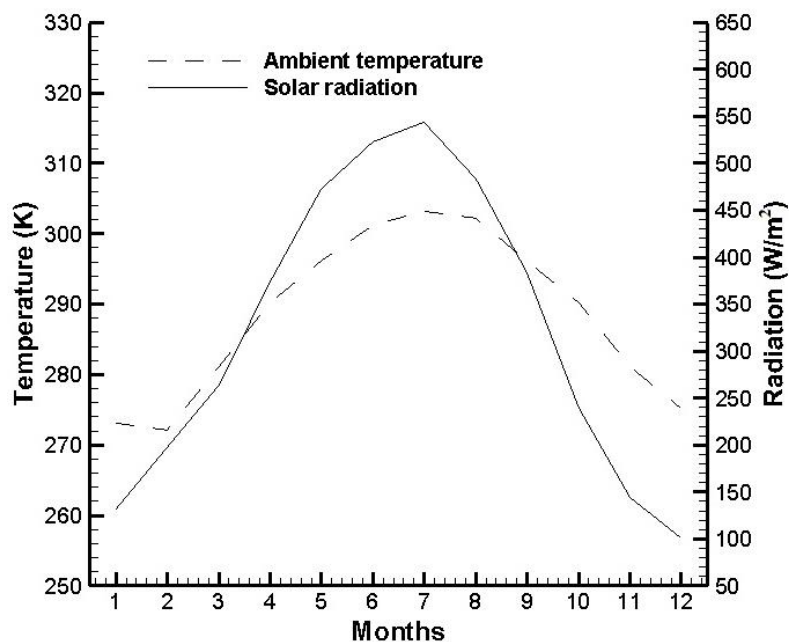
Күн коллекторының температурасы T_c үшін және жылу тасымалдағыш сұйықтың температурасы T_f үшін бастапқы шарт ретінде қоршаған ауа температурасы алынады. Жер бетінде топырақ температурасы қоршаған ортаның температурасына тең. Жер бетінің температурасы қоршаған ортаның температурасына байланысты топырақтың температурасы 10 метрге дейін өзгереді. 10 метр тереңдіктен кейін жердің температурасы 10 °С деп есептеледі.

Содан кейін күн коллекторының абсорберін және жұмыс сұйықтығы температурасын бөлу, жылу коэффициенттері мен физикалық қасиеттерін есептеу үшін кіші бағдарламалар жасалады. Бұл үрдіс итерация орнатылғанша қайталанады.

Жоғарыда келтірілген алгоритмді қолдану арқылы жылу коллекторының температурасы және жұмыс сұйықтығы Алматы қаласының климаттық жағдайы үшін есептелген. Есептеулерде күн радиациясы және қоршаған ортаның температурасы туралы тиісті деректер ескерілді.

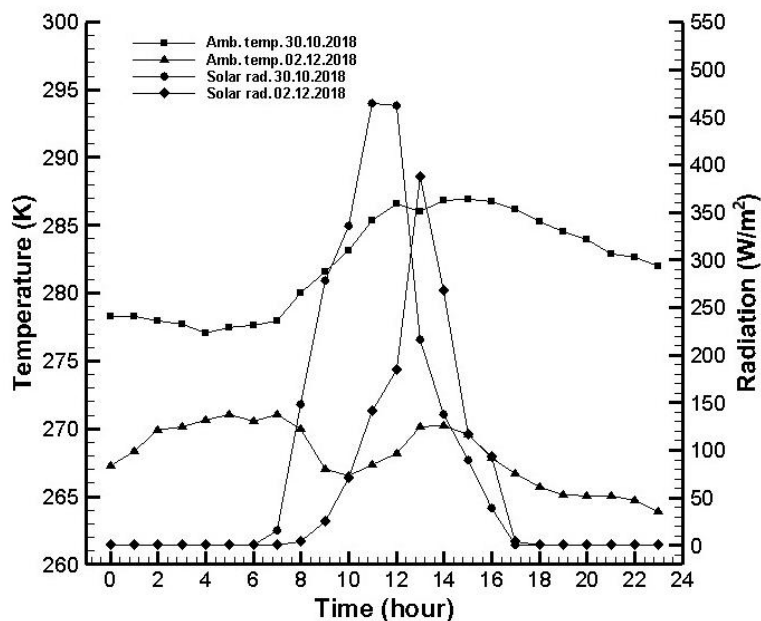
Суретте (5.1 – сурет) орташа айлық сәулелену және қоршаған ортаның температурасы көрсетіледі. Суретте келтірілген мәліметтер бойынша, Алматыдағы орташа температура қаңтар айындағы 273,15 К-ге жетті және

шілдеде максималды мәні 303,15 К-ге дейін жетеді. Күндізгі орташа күн қарқындылығы маусым айында 101,55 Вт / м² маусымда 544,35 Вт / м² дейін өзгереді.



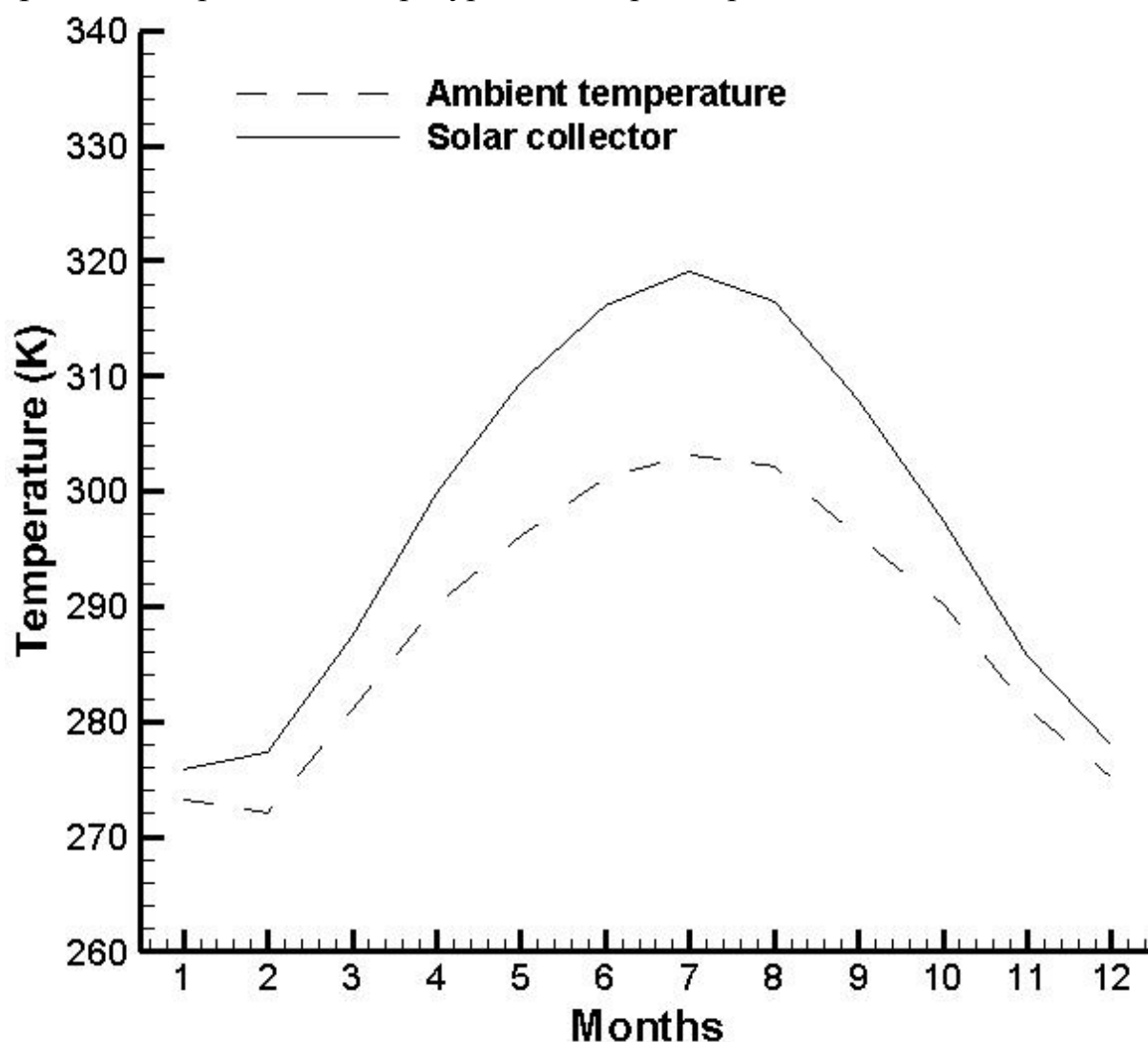
5.1 – сурет – Маусымды күн сәулесі және қоршаған ортаның температурасы туралы деректер

Зерттеудің авторлары метеорологиялық деректерді (жел жылдамдығы, желдің бағыты, ауа температурасы, ылғалдылық, барометрлік қысым, жауын-шашын, жауын-шашын қарқындылығы, УК, күн радиациясы) қамтамасыз ететін Vantage Pro2 Plus 6162С метеостанциясын орнатқан. 3-суретте күнделікті күн радиациясы және әртүрлі күндердегі қоршаған ортаның температурасы өзгеруі көрсетілген (5.2 – сурет).



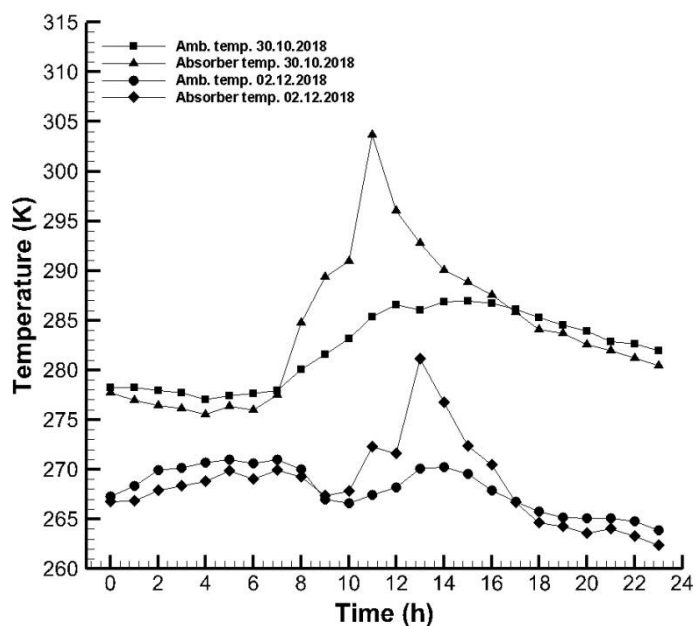
5.2 – сурет – Күнделікті күн сәулесі және қоршаған ортаның температурасы туралы деректер

Суретте (5.3 – сурет) (1) теңдеуге сәйкес күндердің функциясы ретінде күн коллекторының температуралық өзгерісі көрсетілген.



5.3 – сурет – Күн коллекторындағы маусымдық температура өзгеруі

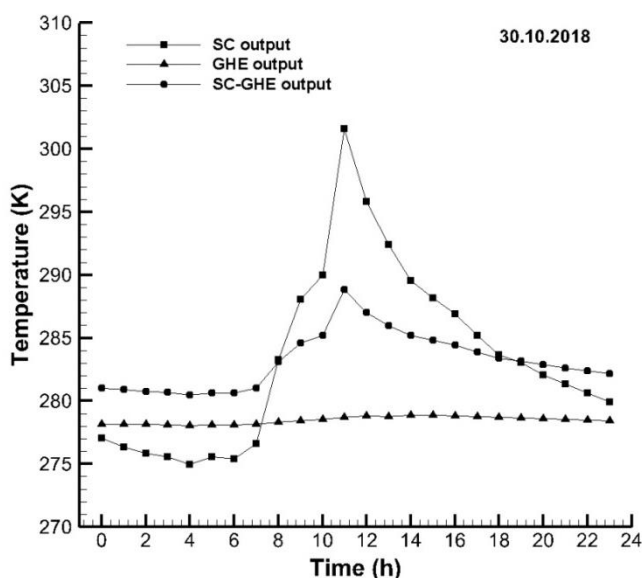
Суретте (5.4 – сурет) көрсетілген сандық нәтижелерден күн сәулесінің жылу жинағышының ең жоғарғы температурасы жазғы маусымда қол жеткізіледі. Температура профильдерінің – өзгерісі күн радиациясының өзгерісіне ұқсас, 2-суретте көрсетілген. Суретте жылу коллектордың температурасы жазда 319,06 К шілденің ең жоғарғы мәніне жететіндігін көрсетеді. Жұмыс сұйықтығының температурасы мен қоршаған орта арасындағы айырмашылық қаңтар айындағы 2,77 К және маусым айындағы 15,91 К. Бұл әсер әртүрлі маусымда күн радиациясының түрлі мәндеріне байланысты.



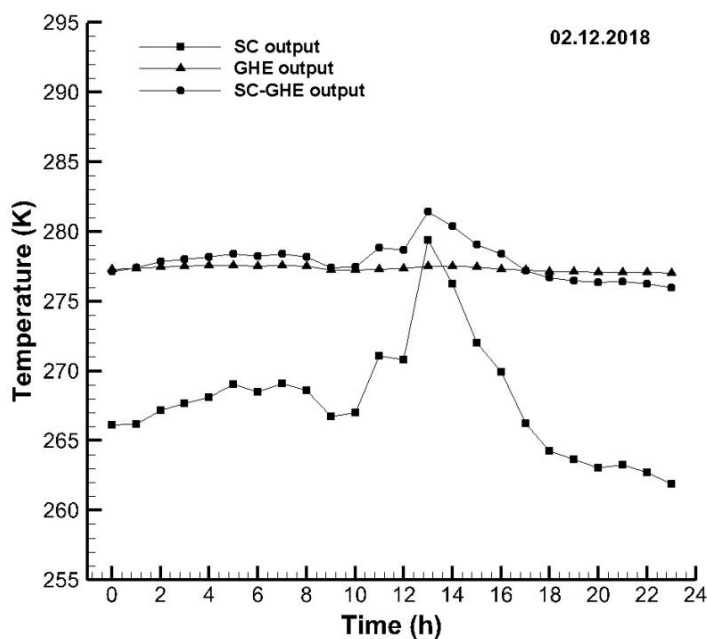
5.4 – сурет – Күн коллекторындағы күнделікті температураның өзгеруі

Суреттегідей (5.5–сурет), күнделікті абсорбер пластинаның температуралық ауытқуына маусымдық жағдайда сияқты өзгеріс байқалады. Түнгі уақытта, күн сәулесіз және суық аспанның температурасы болмаса, абсорбердің температурасы қоршаған ортаның температурасынан 1-2% төмен. Бұл күн сәулесінің болмауы кезінде күн коллекторынан жылу шығыны аз болған көрсеткіш.

Суретте (5.6 – сурет) 30.10.2018 ж. үшін (8) - (9) теңдеулер жүйесіне сәйкес күн коллекторының түтікшесінің шығысындағы жұмыс сұйықтығы мен геотермалды жылу алмастырғыштағы күнделікті температураның өзгеруі көрсетілген.



5.5 – сурет – Күн және геотермиялық коллекторлардағы жұмыс сұйықтығының температурасы (30.10.2018)



5.6 – сурет – Күнделікті температураның өзгеруі 02.12.2018 көрсетілген

Суреттерден күн коллекторының шығысындағы жұмыс сұйықтығының температурасы қоршаған ортаның температурасына және күн радиациясына байланысты екенін көруге болады. Сонымен қатар, жұмыс істейтін сұйықтық температурасы геотермалдық көздің жылу алмастырғыштарындағы шығысындағы температурасы тәуелді емес. Жер коллекторы мен күн коллекторын дәйектілікпен пайдалану күндізгі уақытта күн энергиясын шектен тыс жерге жібереді, күн энергиясының жоқ (түнгі уақытта) кезде, осы энергияны жылу сорғышының буландырғышына пайдаланылады. Хладагент булануы температурасы $+5 - +10$ °C болған кезде, жоғары конденсация температурасын алуға болады, яғни жоғары COP және $+50 - +60$ °C кеңістікті жылыту және ыстық сумен қамтамасыз етуге болады. Сондықтан континенталды климаттық жағдайларда жылу сорғышына төменгі әлеуетті жылу көздерінің екі түрін – күн және жерге қосуға арналған жиынтықтарды пайдалану ұсынылады. Ұсынылған жүйе конфигурациясында жылу сорғысының жер бетіндегі жылу әлеуеті күн коллекторларымен үнемі жұмыс жасайды. Сондай-ақ, жүйе конфигурациясына сәйкес энергияны үнемдейтін режимде жұмыс істей алады, мұнда жеткілікті күн радиациясы бар кезде, жылу сорғы схемасы өшірілуі мүмкін және жүйе тікелей күн жылыту жүйесі ретінде жұмыс істейді. [5]

ҚОРЫТЫНДЫ

Осы жұмыста гибридті күн коллекторы мен геотермалды жылу насосының Қазақстан метеорологиялық жағдайы үшін сандық түрде зерттелінді. Күн коллекторы ретінде жазық тектес коллекторы қолданылды. Жер асты жылу алмастырғыш ретінде U-тектес вертикалды жылу алмастырғыш қолданылды. Жылу тасымалдағыш сұйық ретінде күн коллекторы мен жер асты жылу алмастырғышта этиленгликоль негізінде антифриз сұйығы қолданылды. Жылу насосы ретінде «Су-су» тектес бір контурлы бу компрессорлы циклі қолданылды. Суық тасымалдағыш (хладагент) ретінде R134a қолданылады. Жылу насосы мен күн коллекторларынан алынатын пайдалы жылу ыстық су жинақтайтын багінде сақталынады.

Бір контурлы ауа жылу сорғылары қоршаған ортаның температурасы-7-10°C төмен болған кезде тиімсіз болып табылады, бұл ретте COP 1-ге жақын. Сондықтан, пайдаланылатын сыртқы ауа температурасының диапазонын, яғни қоршаған орта температурасын (- 7-10° C төмен) және жылыту контурын (+60° C төмен емес) кеңейту үшін топырақ және геотермальды жылу сорғылары пайдаланылады. Жер асты коллекторлары топырақтың жылуын немесе судың жылуын (көлдер, жер асты сулары және т.б.) пайдаланады. Ауа жылу сорғыларына қарағанда топырақ жылу көзі тұрақты оң температураға ие. Алайда, бұл жағдайда жүйе едәуір қымбатқа түседі, өйткені олар үшін ұңғыманы бұрғылау немесе көлденең Құбырларды төсеу бойынша жұмыстар талап етіледі.

Топырақ жылу алмастырғыштар көлденең және тік болады. Орташа алғанда, құбырларды көлденең салу кезінде топырақтың жылу берілуі 15-35 Вт / м² тең, бұл едәуір аумақты қажет етеді. Тік ұңғыма үшін жылу 50 Вт/м, яғни 1 метр тереңдікке 50 Вт құрайды. 15-20 метр тереңдікте топырақ температурасы жыл уақытына байланысты емес және +7-10° c тұрақты температурасы бар. Сондықтан, энергетикалық тиімділікті арттыру және топырақты жылу сорғыларының өтелу мерзімін азайту үшін күн коллекторлары қосымша пайдаланылады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Gopal C., Investigation on solar photovoltaic water pumping systems, India, 2015, pp.47-123.
- 4 A. Azimbayev, A. Yerkinbek, A. Aliuly, Ye. Shakir, Ye. Belyayev, M. Mohanraj Numerical modelling of solar PV thermal effects in solar water pumping // International Conference on Thermal Analysis and Energy Systems (ICTAES-2018). – India, April 12th& 13th 2018, - P.119
- 3 Danayev E. ,Feasibility of Wind Energy Development in Kazakhstan Technical-Economical Analysis of Wind Farm Construction in the Almaty Region, Almaty, 2008,pp.52-56.
- 4 Омар Е. Б., Е. Беляев, Б.Ж.Кожаягельдиев. Қазақстандағы климаттық күн жылу энергетикалық гибриді жылу сорғыларының сандық жылу модельдеуі. Сәтбаев оқулары, 2019.
- 5 G. Saktashova1, A. Aliuly, Ye. Belyayev, M. Mohanraj , Rao Martand Singh. Numerical heat transfer simulation of solar-geothermal hybrid source heat pump in Kazakhstan climates. Bulgarian Chemical Communications, Volume 50, Special Issue G (pp. 7- 13), 2018.