

Абдлахатова Назым Шохадляевнаның 8D08702 – «Ауыл шаруашылығын энергиямен қамтамасыз ету» білім беру бағдарламасы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін ұсынылған «Автономды тұтынушылардың энергия тиімділігін арттыру үшін бинарлы электр станциясының технологиялық режимін зерттеу және жетілдіру» тақырыбындағы диссертациялық жұмысына

АҢДАТПА

Зерттеу тақырыбының өзектілігі. Геотермалды энергия әлемнің көптеген елдерінің жылумен жабдықтау жүйелерінде маңызды орын алуда. Ол Жер қойнауының табиғи жылуын пайдалануға негізделген және электр мен жылу энергиясын өндіруге мүмкіндік береді. Жаңартылатын энергия көздерінің басқа түрлерімен салыстырғанда геотермалды энергия жоғары тұрақтылығымен, ауа райы жағдайларына, жыл мезгіліне және тәулік уақытына тәуелсіздігімен ерекшеленеді.

Қазіргі уақытта Қазақстандағы геотермалды ресурстар негізінен ауыл шаруашылығында, жылыжайларды жылытуда, ыстық сумен жабдықтауда және тұрғын әрі қоғамдық ғимараттарды жылытуда пайдаланылады. Сонымен қатар, электр энергиясын өндіру әлі де көмірқышқыл газының (CO₂) жоғары шығарындыларымен қатар жүретін жылу электр станцияларына негізделген. Осыған байланысты, елімізде геотермалды электр станцияларының болмауын ескере отырып, геотермалды ресурстарды электр энергиясын өндіру мақсатында пайдалану ерекше өзектілікке ие. Геотермалды энергияны пайдалану парниктік газдар шығарындыларын азайтуға және елдің декарбонизация стратегиясын іске асыруға ықпал ететін маңызды қадам бола алады.

Бүгінгі таңда Қазақстан Республикасында геотермалды ресурстардың елеулі энергетикалық әлеуетіне қарамастан, оларды пайдалану деңгейі шектеулі болып отыр. Әсіресе, электр энергиясын өндіру мақсатында қолдану мүмкіндіктері жеткілікті дәрежеде зерттелмеген. Бұл ғылыми олқылықтың бар екенін көрсетеді және кешенді ғылыми зерттеулер жүргізудің қажеттілігін айқындайды, соның нәтижесінде ұсынылып отырған зерттеудің өзектілігі арта түседі.

Энергетика саласымен қатар, Қазақстанның агроөнеркәсіптік кешені де экономиканың стратегиялық маңызды секторларының бірі болып табылады. Жылыжай шаруашылығы, ауыл шаруашылығы өнімдерін кептіру, мал шаруашылығы және тамақ өнеркәсібі сияқты өндірістік үдерістер жыл бойы тұрақты энергиямен қамтамасыз етуді талап етеді. Қазіргі уақытта бұл қажеттіліктер негізінен қазба отындары мен орталықтандырылған электрмен жабдықтау жүйелері есебінен қамтамасыз етіледі. Бұл пайдалану шығындарының артуына, парниктік газдар шығарындыларының көбеюіне және әсіресе ауылдық және шалғай өңірлердегі өндірістің тұрақтылығының төмендеуіне алып келеді.

Диссертациялық жұмыста төмен температуралы геотермалды ресурстарды органикалық Ренкин циклі (ОРЦ) негізіндегі бинарлы энергетикалық қондырғы арқылы пайдалану және қалған жылуды жылыжай шаруашылығында каскадты түрде қолдану мүмкіндігі қарастырылған. Ұсынылған тұжырымдама электр және жылу энергиясын бір мезгілде өндіруге бағытталған, бұл Қазақстанның климаттық және әлеуметтік-экономикалық жағдайлары тұрғысынан ерекше маңызды. Мұндай тәсіл электр және жылу энергиясын қатар өндіруге мүмкіндік беріп қана қоймай, геотермалды ресурстарды кешенді пайдаланудың тиімділігін арттырады және агроөнеркәсіптік секторды сенімді энергиямен қамтамасыз етуге ықпал етеді.

Елімізде төмен температуралы геотермалды ресурстардың мол қорына қарамастан, олардың электр энергиясын өндірудегі әлеуеті іс жүзінде пайдаланылмай келеді. Мұның негізгі себептерінің бірі – төмен температуралы геотермалды көздердің жылу энергиясын органикалық Ренкин циклі негізінде электр энергиясына тиімді түрлендірудің, сондай-ақ пайдаланылғаннан кейінгі қалдық жылуды, мысалы, ауыл шаруашылығында қатар қолданудың ғылыми тұрғыдан негізделген кешенді тәсілінің жеткілікті деңгейде әзірленбеуі.

Диссертациялық зерттеудің мақсаты – органикалық Ренкин циклі негізіндегі бинарлы геотермалды қондырғының технологиялық режимін зерттеу және жетілдіру арқылы автономды тұтынушылардың энергия тиімділігін арттыру.

Қойылған мақсатқа жету үшін келесі **міндеттерді** шешу көзделді:

- геотермалды әлеуеті жоғары аймақтарды анықтау;
- Оңтүстік Қазақстанның геотермалды ресурстарының энергетикалық әлеуетін бағалау;
- органикалық Ренкин циклінің термодинамикалық моделі негізінде геотермалды ресурстарды пайдалана отырып, электр энергиясын өндіру және жылыжайларды каскадты жылумен қамтамасыз ету әлеуетін есептеу;
- қайнау температурасы төмен жұмыс сұйықтықтарының сипаттамаларын зерттеу және оларды таңдау алгоритмін әзірлеу;
- Алматы облысының геотермалды көздерінде органикалық Ренкин циклін қолданудың техникалық-экономикалық негіздемесін жүргізу.

Диссертациялық жұмыстың ғылыми жаңалығы:

- Алматы облысының төмен температуралы геотермалды көздерінің параметрлеріне бейімделген органикалық Ренкин циклі негізіндегі бинарлы геотермалды энергетикалық қондырғының термодинамикалық моделі әзірленіп, электр энергиясын өндіру әлеуетін бағалауға мүмкіндік берілді;
- органикалық Ренкин циклі конденсаторының жылуын каскадты пайдалану тәсілі ұсынылып, қысқы кезеңде жылыжай шаруашылықтарын жылумен қамтамасыз етуге және жазғы кезеңде ауыл шаруашылығы өнімдерін кептіруге қолдану негізделді;
- термодинамикалық тиімділікті, экологиялық сипаттамаларды және өрт-жарылыс қауіпсіздігі талаптарын кешенді бағалау негізінде қайнау температурасы төмен жұмыс сұйықтығын таңдау әдістемесі әзірленді;

– органикалық Ренкин циклі негізіндегі бинарлы геотермалды энергоқондырғыны пайдалану арқылы автономды тұтынушыларды энергиямен қамтамасыз етуге арналған геотермалды ресурстарды каскадты пайдаланудың техникалық-экономикалық тиімділігі негізделді.

Зерттеу нысаны – Қазақстанның геотермалды көздері.

Зерттеу пәні – төмен температуралы геотермалды геожылу көздерінің жылу энергиясын органикалық Ренкин циклі (ОРЦ) негізінде электр энергиясына түрлендіру және қалдық жылу энергиясын каскадты пайдалану үдерісі.

Зерттеу әдістері. Әдебиеттерге талдау жасау және патенттік ізденіс зерттеу тақырыбының ғылыми әзірлену деңгейін бағалауға әрі болашағы бар бағыттарды айқындауға мүмкіндік берді. Жұмыста геотермалды энергия саласындағы отандық және шетелдік ғылыми зерттеу жұмыстары пайдаланылды. Энергияны түрлендіру процестеріне математикалық модельдеу жүргізіліп, оның ішінде геотермалды электр станциясының термодинамикалық моделі құрылды. Есептеулер Excel және ThermoState бағдарламалық құралдарының көмегімен орындалды.

Алынған нәтижелердің практикалық маңыздылығы. Диссертациялық жұмыстың практикалық маңыздылығы органикалық Ренкин циклі (ОРЦ) негізіндегі геотермалды электр станциялары үшін органикалық жұмыс сұйықтықтарын таңдау әдістемесін әзірлеумен анықталады. Есептеулерді орындау барысында:

– энтальпияны, энтропияны, тығыздықты және органикалық Ренкин циклі негізіндегі термодинамикалық модельдеуге қажетті басқа да параметрлерді анықтауға мүмкіндік беретін хладагенттер мен органикалық жұмыс сұйықтықтарының жылуфизикалық қасиеттерін есептеуге арналған CoolProp бағдарламалық кітапханасы пайдаланылды;

– жұмыс сұйықтықтарының қасиеттерін тексеру үшін ThermoState бағдарламалық қамтамасыз ету жүйесі қолданылды.

Бірнеше бағдарламалық кешенді қолдану жұмыс сұйықтықтарының термодинамикалық қасиеттерін есептеу нәтижелерінің дұрыстығын өзара тексеруге мүмкіндік беріп, алынған нәтижелердің сенімділігін арттырды.

Зерттеу жұмысының практикалық құндылығы М.Х. Дулати атындағы Тараз университетінің оқу үдерісіне енгізу актілерімен расталған. Зерттеу нәтижелері «Автоматтандыру және телекоммуникация» кафедрасында 6B07107 – «Цифрлық энергетика» білім беру бағдарламасы бойынша оқытылатын «Баламалы және жаңартылатын энергия көздері» пәнінен зертханалық және практикалық сабақтарды өткізу барысында қолданылады.

Сонымен қатар, зерттеу нәтижелерін Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті мен Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің оқу үдерісіне енгізу актілері алынған. Зерттеу материалдары 6B07128 – «Цифрлық энергетика», 7M07113 – «Электротехника және энергетика», 7M07144 – «Жаңартылатын энергетикадағы инновациялық технологиялар мен жабдықтар» және 6B07117 – «Жылуэнергетика» білім беру

бағдарламалары бойынша оқытылатын «Электр энергиясының баламалы көздері» пәнінің дәрістік және практикалық сабақтарында пайдаланылады.

Қорғауға шығарылатын негізгі нәтижелер:

1. Өзірленген органикалық Ренкин циклінің термодинамикалық моделі негізінде Жаркент кен орнының №5539, 1-РТ және 2-ТП геотермалды ұңғымаларынан электр энергиясын өндірудің жиынтық әлеуеті 11 440,2 МВт·сағ/жыл екені анықталды, оның ішінде 5 905,5 МВт·сағ/жыл №5539 ұңғымасының үлесіне тиесілі.

2. Жылдық жылулық әлеуеті 92,4 ГВт·сағ болатын органикалық Ренкин циклі қондырғысы конденсаторының жылуын каскадты пайдалану қысқы кезеңде жалпы ауданы 17 га-ға дейінгі жылыжай шаруашылықтарын жылумен қамтамасыз етуге немесе жазғы кезеңде 29840 – 44760 т/жыл ауыл шаруашылығы өнімдерін кептіруге мүмкіндік береді.

3. Зерттелген 14 қайнау температурасы төмен жұмыс сұйықтығының ішінде 11-і термодинамикалық тиімділік, экологиялық қауіпсіздік және өрт-жарылыс қауіпсіздігі талаптарына сәйкес келеді. Олардың ішінде R-152a жұмыс сұйықтығы $ODP = 0$ және $GWP = 124$ көрсеткіштері жағдайында электр энергиясының ең жоғары жылдық өндірілуін қамтамасыз етеді.

4. Органикалық Ренкин циклі конденсаторының жылуын каскадты пайдалану бинарлы геотермалдық энергоқондырғының өтелу мерзімін тек электр энергиясын өндіру жағдайындағы 7,2 жылдан, жылыжай шаруашылықтарын жылумен қамтамасыз ету кезінде 5,1 жылға, ал ауыл шаруашылығы өнімдерін кептіру үшін жылуды пайдалану кезінде 5,3 жылға дейін қысқартады.

Жұмыстың апробациясы. Диссертациялық зерттеудің негізгі нәтижелері «Тозған суармалы жерлердің өнімділігін жедел қалпына келтірудің инновациялық және практикалық шешімдері» атты халықаралық ғылыми-практикалық конференцияда (Тараз, 2021 ж.), «Ғылым, білім және өндірісті интеграциялау – Ұлт жоспарын іске асырудың негізі» атты халықаралық ғылыми-практикалық онлайн-конференцияда (Сағынов оқулары, Қарағанды, 2021 ж.), сондай-ақ Қазақ ұлттық су шаруашылығы және ирригация университетінің «Энергетика» кафедрасының ғылыми семинарларында баяндалды.

Диссертация жұмысы бойынша жарияланымдар. Диссертациялық зерттеу нәтижелері бойынша халықаралық және республикалық ғылыми басылымдарда 10 ғылыми мақала жарияланып, Қазақстан Республикасының пайдалы модельге арналған 1 патенті алынды. Аталған жарияланымдар диссертацияның негізгі мазмұнын толық қамтиды.

1. Abdlakhatova N., Ribeiro L.F., Savosh L., Orynbayev S., Tokmoldayev A., Zhussip T. Harnessing Geothermal Energy in Kazakhstan: Techno-Economic Assessment of Organic Rankine Cycle Application in the Almaty Region // Results in Engineering. 2025. Vol. 28. Article 107237. pp. 1–16.

2. Tulenbayev Zh., Zhanpeisova A., Omarova A., Tleshova A., Abdlakhatova N. Prospects of using organic Rankine cycle for geothermal power

generation // International Journal of Power Electronics and Drive Systems. 2025. Vol. 16, No. 1. pp. 575–583.

3. Zhanpeisova A., Tleshova A., Abildaeva A., Uzbekova D., Abdlakhatova N. Analysing efficiency and economic aspects in organic Rankine cycle systems // Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal. 2024. Vol. 27, Issue 3. pp. 87–108.

4. Orynbayev S., Tokmoldayev A., Abdlakhatova N., Zhanpeisova A., Tumanov I. Improving power plant technology to increase energy efficiency of autonomous consumers using geothermal sources // Energy Harvesting and Systems. 2024. pp. 1–10.

5. Kozhageldi B.Zh., Tulenbayev Zh.S., Orynbayev S.A., Kuttybaev G., Abdlakhatova N., Minazhova S. Development of integrated solutions for the decentralisation of electricity supply to power-hungry regions // The Electricity Journal. 2022. Vol. 35(4). pp. 1–6.

6. Orynbayev S.A., Tokmoldaev A.B., Abdlakhatova N.Sh., Ribeiro L.F., Zhusup T.S. The potential of geothermal sources in southern Kazakhstan for heat supply to rural consumers: the case of the Zhambyl region // Торайғыров университетінің хабаршысы. Энергетикалық сериясы. 2023. № 2. Павлодар. pp. 261–270.

7. Орынбаев С.А., Абдлахатова Н.Ш., Жүсіп Т.С., Жанпейісова А.О., Тлешова А.С. Оңтүстік Қазақстан геотермалды ресурстары үшін Ренкин органикалық циклын пайдалану // Торайғыров университетінің хабаршысы. Энергетикалық сериясы. 2024. № 4. Павлодар. Б. 297–309.

8. Абдлахатова Н., Орынбаев С.А., Жүсіп Т.С. Жер асты суларын пайдалану перспективасы // Материалы научно-практической конференции Казахского научно-исследовательского института водного хозяйства Министерства экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан. – Тараз, 2022. – С. 97–101.

9. Абдлахатова Н., Жанпейісова А.О. Бинарлы геотермалды электр станциясындағы бу турбиналық қондырғы. Научный журнал «Механика и технологии» № 2 2022 г. С. 73-78.

10. Абдлахатова Н., Токмодаев А.Б. Қазақстанның гидрогеотермалдық және гидрогеоминералдық ресурстарының даму болашағы. Научный журнал «Механика и технологии» № 1 (75) 2022 г. С. 45-54.

11. Орынбаев С.А., Ribeiro L.F., Токмодаев А.Б., Абдлахатова Н. Ренкин Органикалық циклын қолданумен геотермалды сулар энергиясын қолдану әдісі. Пайдалы модельге патент № 10678 бюл. №23 от 05.06.2025 ж.

Жұмыстың басқа ғылыми-зерттеу жұмыстарымен және мемлекеттік, халықаралық бағдарламалармен байланысы.

Зерттеу жұмыстары докторант білім алған Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университетінің «Энергетика және электротехника» кафедрасының ғылыми-зерттеу жұмыстарының жоспарына сәйкес орындалды. Сонымен қатар зерттеу М.Х. Дулати атындағы Тараз университетінде орындалған мемлекеттік бюджеттік «Қазақстанның су шаруашылығы мен қайта өңдеу өнеркәсібін дамыту және басқару үшін ресурсты үнемдейтін технологияларды әзірлеу, инновациялық инжинирингтік орталық құру» тақырыбындағы

ғылыми жоба (№ BR24992867) аясында жүзеге асырылды. Сондай-ақ зерттеу FCT – Fundação para a Ciência (Portuguese Science Foundation) қолдауымен іске асырылатын «Энергетика, қоршаған орта және басқару» (D512-5276-78CF) халықаралық жобасы шеңберінде жүргізілді. Аталған жобада диссертация авторы кіші ғылыми қызметкер ретінде жұмыс атқарады. Сонымен қатар бірлескен ғылыми зерттеулер GICoS зертханасымен, Instituto Politécnico de Bragança (Браганса, Португалия) базасында жүргізілді.

Докторанттың жеке үлесі.

Органикалық Ренкин циклін (ОРЦ) қолдануға негізделген термодинамикалық модель арқылы Алматы облысының геотермалды ресурстарынан электр энергиясын өндіру әлеуетіне есептеулер жүргізілді. Алынған нәтижелерді өңдеу, талдау және ғылыми тұрғыдан түсіндіру жұмыстары автор тарапынан ғылыми кеңесшілері – техника ғылымдарының докторы, профессор-координатор Luis Frólén Ribeiro, PhD, қауымдастырылған профессор С.А. Орынбаев және техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор А.Б. Токмолдаевпен бірлесіп орындалды.

Зерттеу барысында органикалық Ренкин циклі үшін жұмыс сұйықтықтарын таңдаудың ғылыми негізделген критерийлері айқындалып, геотермалды энергияны пайдаланудың тиімділік көрсеткіштері анықталды. Сонымен қатар жылыжай шаруашылығын қоса алғанда, ауыл шаруашылығы нысандарын жылумен қамтамасыз ету үшін геотермалды сулардың қалдық жылу энергиясын пайдалануға негізделген каскадты тәсіл ұсынылды. Бұдан басқа, Қазақстан жағдайында геотермалды энергияны кешенді пайдаланудың экологиялық және экономикалық тиімділігін бағалау әдістемесі әзірленді.

Диссертацияның құрылымы мен көлемі

Диссертациялық жұмыс нормативтік сілтемелерден, анықтамалардан, белгілеулер мен қысқартулардан, кіріспеден, бес бөлімнен, қорытындыдан, пайдаланылған әдебиеттер тізімінен және қосымшалардан тұрады. Диссертацияда 30 кесте, 25 сурет және 5 қосымша қамтылған. Диссертацияның негізгі көлемі 111 бетті, ал қосымшаларымен бірге 138 бетті құрайды. Диссертациялық жұмысты дайындау барысында 100 әдеби дереккөз пайдаланылып, зерделенді.