

**ИСЛОМ КАРИМОВ НОМИДАГИ ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА  
УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
DSc.03/10.12.2019.Т.03.03 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ФАҢЛАР АКАДЕМИЯСИ  
ЭНЕРГЕТИКА МУАММОЛАРИ ИНСТИТУТИ**

**АНАРБАЕВ АНВАР ИЗАТУЛЛАЕВИЧ**

**ИССИҚЛИК НАСОСИ ВА ҚУЁШ ЭНЕРГИЯСИДАН ФОЙДАЛАНИШ  
АСОСИДА БИНОЛАРНИНГ ИССИҚЛИК ТАЪМИНОТИ  
САМАРАДОРЛИГИНИ ОШИРИШ**

**05.05.04. – Саноат иссиқлик энергетикаси**

**ТЕХНИКА ФАҢЛАРИ ДОКТОРИ (DSc)  
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент - 2025**

**Докторлик (DSc) диссертацияси автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата докторской (DSc) диссертации**

**Content of the Doctoral (DSc) Dissertation Abstract**

**Анарбаев Анвар Изатуллаевич**

Иссиқлик насоси ва қуёш энергиясидан фойдаланиш асосида биноларнинг  
иссиқлик таъминоти самарадорлигини ошириш .....3

**Анарбаев Анвар Изатуллаевич**

Повышение эффективности теплоснабжения зданий на основе использования  
теплового насоса и солнечной энергии .....27

**Anarbaev Anvar Izatullaevich**

Increasing the efficiency of heat supply in buildings based on the use of heat pump  
and solar energy.....51

**Эълон қилинган илмий ишлар рўйхати**

Список опубликованных научных работ

List of published scientific works.....55

**ИСЛОМ КАРИМОВ НОМИДАГИ ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА  
УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
DSc.03/10.12.2019.Т.03.03 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ  
ЭНЕРГЕТИКА МУАММОЛАРИ ИНСТИТУТИ**

**АНАРБАЕВ АНВАР ИЗАТУЛЛАЕВИЧ**

**ИССИҚЛИК НАСОСИ ВА ҚУЁШ ЭНЕРГИЯСИДАН ФОЙДАЛАНИШ  
АСОСИДА БИНОЛАРНИНГ ИССИҚЛИК ТАЪМИНОТИ  
САМАРАДОРЛИГИНИ ОШИРИШ**

**05.05.04. – Саноат иссиқлик энергетикаси**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc)  
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент - 2025**

Техника фанлари бўйича фан доктори (DSc) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Олий таълим, фан ва инновациялар вазирлиги ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида B2022.1.DSc/T89 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Ўзбекистон республикаси фанлар академияси Энергетика муаммолари институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус ва инглиз (резюме)) Илмий кенгашнинг веб-саҳифасида ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) ва “ZiyoNet” Ахборот таълим порталида ([www.ZiyoNet.uz](http://www.ZiyoNet.uz)) жойлаштирилган.

<b>Илмий маслаҳатчи:</b>	<b>Зоҳидов Ромэн Абдуллаевич</b> техника фанлари доктори, профессор, академик
<b>Расмий оппонентлар:</b>	<b>Узоқов Ғуломжон Норбоевич</b> техника фанлари доктори, профессор <b>Ахатов Жасуржон Саидович</b> техника фанлари доктори, профессор <b>Мирзаев Шавкат Мустақимович</b> техника фанлари доктори, профессор
<b>Етакчи ташкилот:</b>	<b>“Иссиқликэлектрлойиха” АЖ</b>

Диссертация ҳимояси Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги DSc.03/10.12.2019.Т.03.03 рақамли Илмий кенгашнинг 2025-йил “\_\_\_” \_\_\_\_\_ соат \_\_\_ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2. Тел.: (+99871) 246-46-00; факс: (+99871) 227-10-32, e-mail: [tstu\\_info@edu.uz](mailto:tstu_info@edu.uz)).

Диссертация билан Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (\_\_\_-рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2. Tel.: (+99871) 207-14-70.

Диссертация автореферати 2025 йил “\_\_\_” \_\_\_\_\_ куни тарқатилди.  
(2025 йил “\_\_\_” \_\_\_\_\_ даги \_\_\_ рақамли реестр баённомаси).

**К.Р.Аллаев**

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси, техника фанлари доктори, профессор, академик

**И.У.Рахмонов**

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби, техника фанлари доктори, профессор

**Р.П.Бабаходжаев**

Илмий кенгаш ҳузуридаги илмий даражалар берувчи илмий семинар раиси, техника фанлари доктори, профессор

## КИРИШ (докторлик (DSc) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва муҳимлиги. Жаҳонда биноларни иссиқлик билан таъминлаш соҳасида хорижий фан ва техниканинг энг сўнгги ютуқлари ҳамда анъанавий, муқобил ва қайта тикланадиган иссиқлик энергияси манбалари асосида иссиқлик таъминот қурилмаларни ишлаб чиқиш масалаларига алоҳида аҳамият берилмоқда. Ҳозирги кунда ривожланган мамлакатларда битта объектга бир юз элик минг квадрат метргача юзаси бўлган гелиомайдонлар ўрнатилади. Улар жаҳон бўйича 542,3 ГВт дан ортиқ иссиқлик энергияси билан таъминлайди<sup>1</sup>. Бу борада, мавжуд иссиқлик манбаларини энергия самарадорлигини ошириш учун қуёш энергиясидан фойдаланиш ҳисобига органик ёқилғи ресурсларини ёқишни камайтиришга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Улар учун энергия сарфи қуёш коллекторининг 1 квадрат метр юзасидан йилига 100÷150 шарт ёқилғи килограммига камаяди.

Жаҳонда биноларни иситишда анъанавий қозонхоналардаги иситиш ускуналарини иссиқлик насос қурилмалари билан самарали алмаштириш масаласини ҳал қилишга қаратилган илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Кўпгина ривожланган мамлакатларда бино иссиқлик таъминотини асосий техник воситалари сифатида иссиқлик насослари бўйича илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Ҳозирда ушбу йўналишда, жумладан ердаги ва илиқ сувдаги паст даражадаги иссиқликда ишлайдиган иссиқлик насосларининг иссиқлик қуввати кўрсаткичлари 15 ГВт дан ошди. Қабул қилинган кўрсатмаларга кўра, жорий ўн йилликнинг охирига қадар Европа Иттифоқи мамлакатларида иссиқлик насосининг иссиқлик таъминоти улуши иссиқлик энергиясини ишлаб чиқариш балансида 32% дан 79% гача кўтарилиши режалаштирилган<sup>2</sup>. Бинолардаги энергия истеъмолини таҳлил қилиш ва иссиқлик таъминот тизимларининг самарадорлигини ошириш учун техник қисмлар ўртасидаги боғлиқликни аниқлашда энергия харажатларини камайтириш бўйича тадқиқотлар устувор ҳисобланмоқда. Шунингдек, ушбу йўналишда йил давомида ишончли паст даражадаги иссиқлик манбасидан, хусусан, қуёш энергиясидан фойдаланиш вазифалари долзарб ҳисобланади.

Республикамизда иқтисодиёт тармоқлари кесимида энергия сиғимдорлигини 2030 йилга қадар бир ярим баробарга камайтириш мақсадида янги технологик ечимларни яратиш ва такомиллаштириш ҳамда жорий этишга доир кенг кўламли чора-тадбирлар амалга оширилмоқда. Охирги йигирма йил давомида йирик шаҳарларида комбинацияланган ёқилғи-қуёш қозонхоналарнинг бир қанча кўргазмали лойиҳалари амалга оширилди. Уларни лойиҳалашда 1980-йилларда ишлаб чиқилган техник ечимлардан, жумладан, икки контурли қуёш иссиқлик таъминот қурилмасидан

<sup>1</sup> Solar heat worldwide: Global market development and trends in 2022. 2023 edition. AEE INTEC. Austria. 2023.

<sup>2</sup> Japan Air Conditioning Heating & Refrigeration News. Иссиқлик насослар. Европа ва жаҳонда фойдаланиш статистикаси. <https://econet.ru/articles/148891> (2020).

фойдаланилган. Бунда гелиомайдоннинг юзаси ҳар бир қозонхона учун тўққиз юз квадрат метрдан ошмайди. Бу йирик иссиқлик манбаларида уларни амалга оширишнинг ижобий таъсирини аниқлаш етарли эмас. Сўнгги вақтларда Ўзбекистонда иссиқлик насосларини кенг жорий этиш дастурини ишлаб чиқиш зарурлиги ва бу масалаларини ечишга қаратилган илмий-тадқиқот ишларини олиб бориш муҳим ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги ПФ-60-сон “2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида”ги Фармони, жумладан мамлакат иқтисодиёти тармоқларида, биринчи навбатда, уй-жой-коммунал хизмат кўрсатиш соҳасида қайта тикланувчи энергия манбаларидан самарали, тезкор ва кенг фойдаланишга қаратилган. 2022 йил 1 январдан давлат органлари ва ташкилотлари бино ва иншоотларида энергия тежамкор технологиялар, иссиқ сув таъминоти учун эса сертификатланган қуёш сув иситиш тизимларидан фойдаланиш мажбурий бўлди. Республикаимизнинг иситиш тизимида қуёш энергияси иситиш тизимларидан фойдаланиш, уни ривожлантириш бўйича давлат томонидан кўрилаётган чора-тадбирлар ҳам рағбатлантирилмоқда. Энергия тежамкор ускуналарни ўрнатиш ва замонавий технологияларни қўллаш орқали табиий газ ва электр энергиясини мавжуд даражадан 10 фоизгача тежаш кўзда тутилган.

Республикада қуёш иссиқ сув таъминоти қурилмаларидан амалий фойдаланиш натижалари ва бу борадаги халқаро тажрибани умумлаштириш қайта тикланувчи энергия манбаларига асосланган технологияларни жорий этиш ҳажмини ошириш бўйича стратегик аҳамиятга эга давлат ҳужжатларини тайёрлашга асос бўлди, шунингдек бу истикболда уй-жой коммунал хўжалиги мажмуасида қуёш сув иситиш мосламаларини ўз ичига олади. «Вазирликлар ва идоралар бўйича 6 мингдан ортиқ объектларда энергия истеъмоли ҳажмида муқобил энергия манбаларининг улушини 30 фоизга етказиш бўйича» барча кўрсаткичлар белгиланган<sup>3</sup>. Ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологияларни ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги.** Диссертация иши бўйича тадқиқотлар “Энергетика, энергия ва ресурсларни тежаш” II йўналиши бўйича республика илмий-техник ривожланиш дастурининг вазифаларига жавоб беради.

**Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий тадқиқотлар таҳлили<sup>4</sup>.** Иқтисодий ривожланган мамлакатларда қуёш гелиоқўшимчалари ва иссиқлик

<sup>3</sup> Ўзбекистон Республикаси Президентининг 09.09.2022 йилдаги “Энергия тежовчи технологияларни жорий этиш ва кам қувватли қайта тикланувчи энергия манбаларини ривожлантиришга доир қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида”ги ПФ-220-сон қарори <https://lex.uz/uz/docs/6189043>

<sup>4</sup> Диссертация мавзусига оид хорижий илмий тадқиқотлар таҳлили қуйидаги манбалардан фойдаланган ҳолда амалга оширилади: <http://www.ren21.net>; <http://www.iea-shc.org>; Замонавий саноат ва коммунал инфратузилмада иссиқлик насослари. Ахборот ва услубий нашр. - М.: "Перо" нашриёти, 2016. - Б. 204 ва бошқа манбалар асосида бажарилган.

насосларини анъанавий иссиқлик таъминотига жорий этиш бўйича сезиларли ютуқларга эришилганига қарамай, илмий тадқиқотлар таҳлили, қуёш қурилмалари ва иссиқлик насосларидан фойдаланишга асосланган комбинацияланган иссиқлик таъминоти масалалари, айниқса, йилнинг иситиш мавсумида етарлича ўрганилмаганлигини кўрсатди. Қуёш қурилмалари ва иссиқлик насосларининг параметрларини аниқлаш, шунингдек, иссиқлик таъминотининг умумий самарадорлиги нуқтаи назаридан уларнинг иш ҳолатларини оптималлаштириш учун энг муҳим энергия омиллари таъсирини ҳисобга олиш керак. Мавжуд марказлаштирилган ёқилғи қозонхоналари учун қуёш гелиоқўшимчаларидан фойдаланиш таҳлили уларни ишлатиш жараёнида қуёш коллекторлари ёрдамида сувни олдиндан иситишда уларнинг максимал самарадорлигини таъминлаш учун оптимал ҳолатларни яратиш схемаларини танлаш масалалари кўриб чиқилмаганлигини кўрсатди.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Ҳозирги вақтда жаҳонда иссиқлик манбаларида муқобил энергия манбаларидан фойдаланиш соҳасида катта ҳажмдаги илмий ишлар олиб борилмоқда. Россия Фанлар академиясининг Юқори ҳароратлар тадқиқоти бирлашган институтида, Кубан давлат аграр университетида (Россия), Одесса технология университетида (Украина), Wiskonsin University (АҚШ), University of Central Lancashire (Буюк Британия), Tsinghua University (Пекин, Хитой), Берлин университети (Германия), Тошкент давлат техника университети ва фанлар академияси Энергетика муаммолари институтида (Ўзбекистон) фаол тадқиқотлар олиб борилмоқда. Иссиқлик таъминотида қуёш қурилмалари ва иссиқлик насосларидан фойдаланиш каби масалаларни ҳал қилишда бир қатор таниқли хорижий олимлар катта ҳисса қўшганлар, жумладан Амерханов Р.А., Бутузов В.А., Попель О.С., Морозюк Т., Бекманн Г., Ронгжианг Ма, Цацаронис Д. ва бошқаларнинг илмий ишларида кўриб чиқилган.

Иссиқлик таъминоти тизимларида қайта тикланадиган ва муқобил энергия манбаларидан фойдаланиш масалалари ўзбек олимлари Р.А.Зоҳидов, Р.Р.Авезов, Ғ.Н.Узоқов, Ш.И.Қиличев ва бошқаларнинг тадқиқотларида кўриб чиқилган. Олиб борилган илмий тадқиқотлар натижасида биноларида иссиқлик энергиясининг ишлатилиш самарадорлигини ошириш масалаларини ечишда салмоқли натижаларга эришилди.

Сезиларли муваффақиятларга қарамай, сўнгги йилларда иссиқлик насоси иссиқлик таъминотида аста-секин муқобил усуллар тоифасидан анъанавий усуллар тоифасига ўтмоқда ва паст даражадаги иссиқлик ишлаб чиқариш учун қуёш энергиясидан фойдаланиш услубиятини яратиш билан боғлиқ илмий муаммолар етарли даражада ўрганилмаган. Мазкур диссертация ишида биноларни иссиқ сув таъминоти билан таъминлаш учун ишончли ва энергия тежамкор иссиқлик таъминоти тизимини ишлаб чиқиш ва қуёш гелиоқўшимчаларини лойиҳалашда илмий-услубий асослари таклиф этилган.

**Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассаси илмий-тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги.** Диссертация

тадқиқоти Энергетика муаммолари институтининг илмий тадқиқот ишлари режасига мувофиқ, А-12-058 “Самарали ва ишончилиги ошган электр захирали қуёш иссиқ сув таъминоти тизимларини комплекс ривожлантириш” (2006-2008); ФА-А13-Ф112 “Саноат қозонхоналарини модернизация қилиш учун юқори самарали ёқилғи ва қуёш технологияларини ишлаб чиқиш” (2009-2011); А3-ФА-0-15754 “Ишлаб чиқариш объектларининг иссиқлик ва совук таъминоти тизимларининг янги усуллари ва техник ечимларини ишлаб чиқиш” (2012-2014); ФА-А4-Ф049 “Иссиқлик насослари қўллаш орқали самарали қуёш иссиқлик ва совуқлик таъминоти тизимларини ишлаб чиқиш” (2015-2017) доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** мавжуд қозонхоналар учун гелио қўшимчаларини қўллаш ва иссиқлик таъминоти тизимларининг эксергик-иктисодий мезонлари асосида биноларни иситишда иссиқлик насослари қурилмалари учун паст даражадаги иссиқлик манбаи сифатида фойдаланиш бўйича энергия тежамкор техник ечимларни илмий асослаш.

**Тадқиқот вазифалари:**

иссиқлик таъминоти тизимларида қуёш энергиясидан фойдаланиш ҳолатларининг самарадорлик мезонини аниқлаш учун мавжуд қуёш-ёқилғи қозонхоналарининг ҳолати ва энергия билан ишлашини таҳлил қилиш;

экспериментал тадқиқот натижалари асосида ясси ва қувур-вакуумли коллекторларнинг иш самарадорлигини аниқлаш;

самарали схемани ишлаб чиқишда мавжуд қозонхоналар учун қуёш қўшимчаларини схема-параметрик оптималлаштириш усулини ишлаб чиқиш;

бинонинг иссиқлик таъминоти тизимидаги қуёш қурилмаси иссиқлик ташувчисининг иситиш ҳарорати бўйича иссиқлик насосларининг иш ҳолатларини ўрганиш учун тажриба лаборатория қурилмасини ишлаб чиқиш, яратиш ва қўллаш;

иссиқлик насослари ва қуёш қурилмаларининг оптимал техник кўрсаткичларини топишда эксергик-иктисодий таҳлил усуллари қўллаш;

қиёсий эксергик-иктисодий таҳлил усуллари бўйича мавжуд иссиқлик таъминоти тизимлари билан тавсия этилган қуёш-иссиқлик насоси қурилмасининг самарадорлигини аниқлаш.

**Тадқиқот объекти** сифатида анъанавий иссиқлик манбаларида ёқилғини алмаштириш ва биноларни муқобил иситишда иссиқлик насосларига паст даражадаги иссиқлик манбаи учун қуёш энергиясига асосланган қурилмалардан фойдаланадиган иссиқлик таъминоти тизимлари олинган.

**Тадқиқот предмети** иссиқлик таъминоти тизимларининг самарадорлигини ошириш учун бинолардаги ёқилғи қозонхоналари ва иссиқлик насосларига нисбатан қуёш қурилмаларидан фойдаланишнинг технологик масалаларини илмий ва услубий асослаш ташкил қилади.

**Тадқиқот усуллари.** Тадқиқот жараёнида белгиланган вазифаларни ечимини излашда ёқилғи қозонхонасининг бир қисми сифатида ишлайдиган қуёш тизимларининг энергетик параметрларини оптималлаштирувчи рақамли

усуллар қўлланилди тажрибалар ўтказилди. Қуёш иссиқлик насослари қурилмаларини параметрларини аниқлаш учун иссиқлик таъминоти тизимларини эксергик иқтисодий қиёсий таҳлил қилиш усуллардан фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

иссиқлик юкмасини қуёш энергиясига алмаштириш ва қуёш иссиқлик коллекторларининг самарадорлигини оширишни ҳисобга олиб, термонеутрал ҳолат асосида ёқилғи-қуёш қозонхонасининг комбинацияланган схемаси ишлаб чиқилган;

иссиқлик таъминоти объектидаги маҳаллий иқлим ва технологик шароитларни ҳисобга олган ҳолда қуёш иссиқлик қурилмасининг самарадорлик кўрсаткичлари асосида ёқилғи-қуёш қозонларини схема-параметрик оптималлаштириш усули ишлаб чиқилган;

биринчи марта қуёш қурилмаси томонидан ишлаб чиқарилган паст даражадаги иссиқлик асосида ишлайдиган иссиқлик насосли бино иссиқлик таъминоти тизимининг бирлаштирилган схемаси ишлаб чиқилди;

эксергик-иқтисодий кўрсаткичлар асосида бино иссиқлик таъминоти тизимининг қуёш иссиқлик насоси таркибий қисмлари ўртасида иссиқлик узатиш оптимал ҳарорат ҳолатларини ҳисоблаш усули ишлаб чиқилган;

эксергик-иқтисодий таҳлил усули асосида минимал эксергия харажатларини ҳисобга олган ҳолда иссиқлик насослари ва қуёш иссиқлик коллекторларини комбинацияланган қурилмасининг оптимал параметрларини ҳисоблаш усули тузилган;

эксергик-иқтисодий таҳлил усули асосида қуёш иссиқлик насоси қурилмаси самарадорлик мезонлари қийматлари маълум иссиқлик таъминоти тизимлари билан таққослаш натижаларига кўра асосланади.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

қуёш иссиқлик коллекторлари самарадорлигининг ва улар томонидан термал юкни алмаштириш коэффиенти қуёш нурланишининг келиши нисбати ўзгаришига уларда иссиқлик ташувчининг ҳарорати ва ташқи ҳаво ҳарорати фарқига боғлиқлигилар асосида ушбу кўрсаткичларнинг тўғри чизиқлари орасидаги кесишувда ҳосил бўлган қуёш қўшимчасини қўллашнинг самарали зоналарини аниқлаш учун график боғлиқлиги ишлаб чиқилган;

ёқилғи қозонларининг технологик участкаларининг ҳарорат шароитларига нисбатан қуёш тизимларининг рационал параметрларини дастлабки лойиҳалаш учун методика ишлаб чиқилган;

иссиқлик насосларининг иссиқлик узатиш элементларидаги ҳарорат фарқларининг техник параметрлари методикаси ишлаб чиқилган;

Иссиқлик таъминоти схемасининг ягона эксергия тизими сифатида «бино + иссиқлик насоси + қуёш қурилмаси + атроф-муҳит» мажмуасининг иқтисодий жиҳатдан мақсадга мувофиқ параметрлари аниқланган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги.** Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги ишлаётган қурилмалар бўйича экспериментал маълумотларни

олиш учун компьютер ва ўлчов воситаларидан фойдаланиш ва иссиқлик таъминоти тизимларида қуёш қурилмалари ва иссиқлик насоси параметрларини оптималлаштириш учун замонавий эксерго-иктисодий таҳлил усулларига асосланган ҳисоб-китоблар, шунингдек тадқиқот натижаларини мавжуд техник ечимлар билан таққослаши билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқотнинг илмий аҳамияти ишлаб чиқилган техник ечимлар ва ишлаб чиқилган усуллар, анъанавий ва муқобил иссиқлик таъминоти тизимлари самарадорлигини ошириш учун иссиқлик энергиясини ишлаб чиқаришда қуёш қурилмасидан фойдаланишнинг ҳамда иссиқлик манбаларидан биргаликда фойдаланиш параметрларини оптималлаштириш ҳисоблари мавжуд назариялар ва амалиётларга илмий қўшимчалар асосланганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларнинг амалий аҳамияти совутиш ва иситиш учун қуёш иссиқлик насоси қурилмасидан фойдаланиш схемасини яратишдир. Ишлаб чиқилган усул биноларни иссиқлик таъминоти тизимларининг самарадорлигини ошириш ва ёқилғи сарфини камайтириш имконини беради.

Олинган натижаларнинг амалий аҳамияти анъанавий ва муқобил иссиқлик манбаларига қуёш қўшимчаларини қўллаш схемаларини ва биноларни иссиқлик таъминоти тизимларини дастлабки лойиҳалаш пайтида қурилманинг оқилона параметрлари ва иш ҳолатларини аниқлаш усулларини, уларнинг самарадорлигини сезиларли ошириш ва ёқилғи сарфини камайтириш мақсадида ишлаб чиқишдан иборат. Бугунги кунгача республикадаги биноларни иссиқлик билан таъминлашда фойдаланилмаган қуёш-иссиқлик насоси лаборатория қурилмаси Тошкент давлат техника университетида яратилди ва унинг самарадорлиги иссиқлик насослари бўйича мутахассисларни тайёрлашда ўқув мақсадларида фойдаланиш имконини бериш ҳисобланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Биноларнинг иссиқлик таъминоти самарадорлигини ошириш бўйича иссиқлик насоси ва қуёш энергиясидан фойдаланиш асосида олиб борилган тадқиқотлар натижалари асосида:

қуёш қурилмаси томонидан ишлаб чиқарилган паст даражадаги иссиқлик асосида қувватланадиган иссиқлик насоси схемаси учун FAP 01934-2022 «Автоном иссиқлик ва совуқлик таъминоти тизими» фойдали моделига патенти олинган. Натижада, биноларни ишончли ва самарадорлиги юқори автоном иссиқлик ва совуқлик таъминоти қурилмани ишлаб чиқиш имконияти яратилган;

ёқилғи-қуёш комбинацияланган схемаси ва оптимал параметрларни ҳисоблаш усули «Чукурсой» қозонхонасига жорий этилган («Тошиссиқликэнерго» унитар корхонасининг 2009 йил 18 декабрдаги 4425-07-сон маълумотномаси). Натижада қозонхонанинг иссиқлик юкламасини қуёш энергиясига алмаштириш ҳисобига йилига 122,6 минг куб метр газ миқдорида табиий газ истеъмолини камайтириш имконияти яратилган;

иссиқлик насосли таъминот схемаси ва оптимал параметрларни ҳисоблаш усули Қашқадарё вилояти Қамаши туманидаги “Қамаши Корасув Лалимиси” МЧЖ фермерлик хўжалиги иссиқхонасига жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Энергетика вазирлигининг 2024-йил 17-майдаги 04-11-3406-сонли маълумотномаси). Натижада иссиқхонада электр иситиш қурилмаси ўрнига иссиқлик насосидан фойдаланиш ҳисобига йилига 66384 кВт·соат электр энергияси истеъмолини камайтириш имконияти яратилиб, илмий тадқиқот натижаларини жорий этишнинг умумий йиллик иқтисодий самарадорлиги 329 млн сўмни ташкил этган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Тадқиқот натижалари 3 та халқаро илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтган.

**Тадқиқот натижаларини нашр этиш.** Диссертация мавзуси бўйича жами 32 та илмий ишлар чоп этилган, шулардан, 2 та монография, 1 та ихтиро учун патент, 1 фойдали модел учун патент, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг техника фанлари доктори (DSc) диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш учун тавсия этилган илмий нашрларда 20 та мақолалар, жумладан, 2 та чет эл ва 18 та республика журналларида, 3 та Scopus базасига кирувчи ва 3 та халқаро илмий-амалий анжуманларида тўпламларда нашр этилган, дастурий махсулотга 2 та ЭҲМ учун дастурга гувоҳнома олинган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация таркиби кириш, бешта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 161 бетдан иборат.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

**Кириш қисмида** тадқиқот ишининг долзарблиги ва муҳимлиги асосланган, мақсад ва вазифалар шакллантирилган, тадқиқот объекти ва предмети кўрсатилган, тадқиқотнинг республика фан ва техникасини ривожлантиришнинг устувор йўналишларига мувофиқлиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари, олинган натижаларнинг ишончлилиги асосланган, тадқиқот натижаларининг назарий ва амалий аҳамияти очиқ берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга татбиқ этиш, нашрлар ва диссертация тузилиши ҳақида маълумотлар берилган.

Диссертациясининг **“Иссиқлик таъминотида ёқилғи-қуёш қурилмалари ва иссиқлик насосларидан фойдаланиш масалалари”** деб номланган биринчи бобида коммунал қозонхоналарида қуёш гелиоқўшимчалари билан сувни олдиндан иситиш технологиясидан фойдаланиш учун энг кенг тарқалган схема ечимлари муҳокама қилинган. Мавжуд қуёш-ёқилғи қозонхоналарининг афзалликлари ва камчиликлари ва улардан фойдаланишнинг мавсумий давомийлиги таҳлил қилинган. Ўзбекистонда ҳозирда ўрнатилган қуёш иссиқлик қурилмаларининг тузилиши уларнинг иш ҳолатидан келиб чиқиб кўрсатилган. Энг кўп қуёш қурилмалари

4756 м<sup>2</sup> (28,9%) қуёш-ёқилғи қозонхоналарида ўрнатилган. Афзаллиги - иссиқлик манбасида мавжуд бўлган қозонхона ускунасида фойдаланиш ва қуёш қурилмасини тўғри ишлашини таъминлайдиган ходимларнинг мавжудлиги ҳисобланади.

Таҳлил жараёнида 2002 йилда Тошкент шаҳрининг Бектемир туманидаги “Сувсоз” қозонхонасида кўрғазмали лойиҳада қабул қилинган қуёш қурилмасининг эксплуатацион тавсифлари жорий қилинган техник ечимлар билан уларнинг иссиқлик самарадорлиги ва фойдаланиш қулайлиги нуқтаи назаридан баҳоланди. У қуёш ёқилғи тизимларининг соф қуёш тизимларига нисбатан қуёш сув иситкичларида энг совуқ муҳитда ҳам иситиш ва шунга мос равишда қуёш энергиясидан фойдаланишнинг энг юқори самарадорлигига эришиш ва узоқ мавсум ишлаш каби афзалликларига эга. Ўтказилган таҳлиллар қозонхонага қуёш қўшимчасининг иш ҳолатларини янада такомиллаштириш ва унинг энергия хусусиятларини ошириш имкониятини кўрсатди.

Европа иссиқлик насослари бозоридаги тенденциялар таҳлил қилинган ва мавжуд биналарда сегмент ўрнатишининг улушини оширишга қаратилган, бу эса ушбу турдаги иссиқлик таъминотида бўлган эҳтиёжнинг ортиб бораётганлигини кўрсатади. Шу билан бирга, ўртача энергия истеъмол қиладиган объектлар учун электр иситиш ва қозонхона ускуналарини иссиқлик билан таъминлашда фойдаланишни алмаштириш учун мўлжалланган иссиқлик насосларининг бирлик қуввати ортади. Юқоридагилардан келиб чиққан ҳолда, конденсация ҳарорати 100°C бўлган иссиқлик энергиясини ишлаб чиқаришда иссиқлик насосининг иссиқлик электр марказ (ИЭМ) параметрлари билан қиёсий таҳлилни ўтказиш мақсадга мувофиқ.

Республиканинг марказлашган иссиқлик таъминоти паст энергия самарадорлиги билан ажралиб туради. Йиллик даврда маҳаллий қозонхонанинг ишлаши пайтида иссиқлик насос агрегатларида иссиқликни трансформация қилиш учун ишлатилиши мумкин бўлган паст даражадаги иссиқлик чиқиндиларининг ҳажми таҳлил қилинди. Юқоридаги ҳисоблар шуни кўрсатадики, иссиқлик насосининг қурилмаси очик турдаги иссиқлик таъминоти схемасига киритилиши қозонхонада энергия ресурсларини тежаш имконини беради. Қайтиш қувуридаги тармоқ суви ҳароратининг 39 °C дан 34 °C гача ўзгариши тежалган ёқилғи ҳажмини 251,68 дан 245,16 кг/соатгача пасайишига олиб келади.

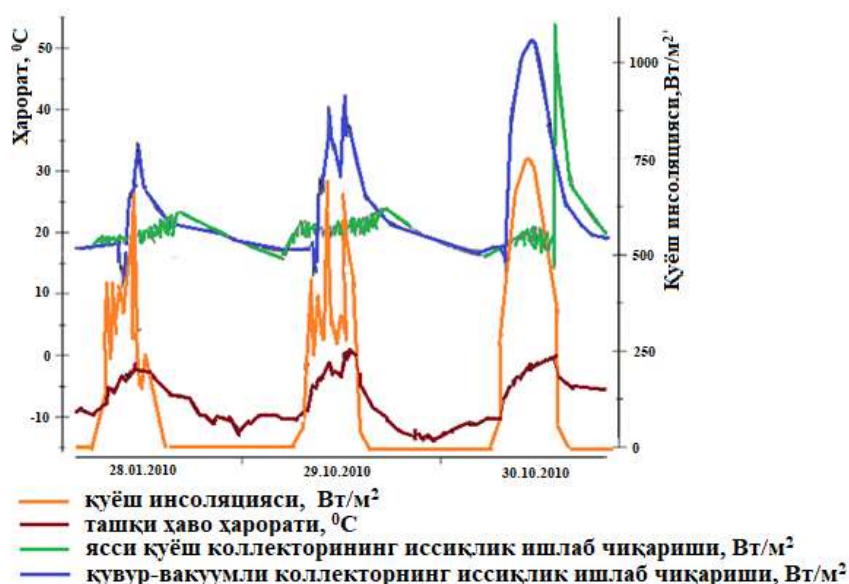
Ушбу бобда тақдим этилган таҳлилдан сўнг, комбинацияланган қуёш иссиқлик насослари тизимининг турли технологияларни янада самарали лойиҳалаш, тадқиқ қилиш ва жорий этишни таъминлаш учун бир қатор асосий тадқиқот эҳтиёжлари аниқланди:

- ҳар хил турдаги қуёш коллекторлари ва иссиқлик насослари асосида қуёш коллектор ва иссиқлик насоси (кетма-кет, параллел, гибрид) ўртасидаги энг қулай улаш схемасини аниқлаш;

• иш ҳолатини яхшилаш ва иссиқлик узатиш кечикишлари камайтириш учун мавжуд қуёш иссиқлик насоси тизимининг схема ечимларини оптималаштириш.

Диссертациянинг иккинчи “Қуёш гелиоқўшимчаларининг самарадорлиги, ҳолатлари ва иссиқлик таъминоти тизимларига улаш схемаларини экспериментал тадқиқотлари” номли бобида комбинацияланган иссиқлик таъминоти тизимларининг ҳолатлари таҳлил қилинган. Ёқилғи қозонхонаси учун қуёш гелиоқўшимчаларини дастлабки лойиҳалашда иссиқлик манбасининг жойлашуви, иссиқлик энергиясига бўлган эҳтиёж ва очиқ майдонларнинг мавжудлиги кўрсатилган.

Иссиқ сувга бўлган эҳтиёж ва биноларни иситиш ўртасидаги мавжуд муносабатни ҳисобга олган ҳолда, қозонхонанинг иссиқлик юкмасини қуёш қурилмаси ва унинг уланиш схемаси билан оқилона алмаштиришни аниқлаш керак. Лойиҳалашда, энг кўп иссиқлик ва энг кам ҳаражатларни ишлаб чиқариш шароитида қуёш иссиқлик коллекторларини ўрнатиш майдонини оптималаштиришнинг кўп қиррали муаммоси ҳал қилинади.

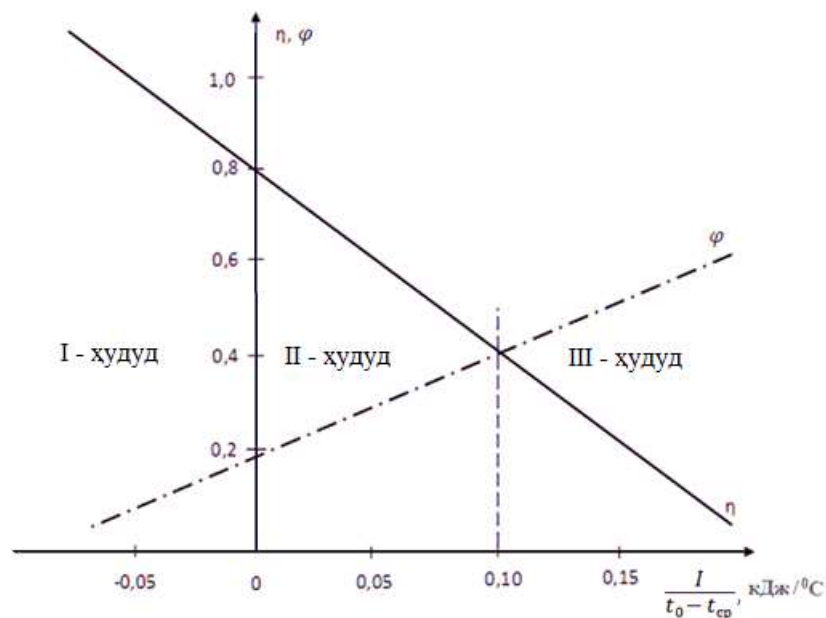


**1-расм. Йилнинг совуқ мавсумида қувур-вакуумли ва ясси қуёш коллекторларининг кунлик иссиқлик ишлаб чиқариши таҳлили**

Қуёш коллекторларидан иссиқлик киритишнинг юқори самарадорлигини таъминлаш орқали қуёш гелиоқўшимчасини ўрнатиш майдонини кичикроқ лойиҳалаш ва шу билан харид қилиш ҳаражатларини ва қурилиш-монтаж ишларини камайтириш мумкин. Қуёш иссиқлик қабул қилувчининг самарадорлиги, эҳтимол, қуёш коллекторининг ютиш қурилмасининг ички каналлари юзасида иссиқлик узатиш келтирган коэффиценти  $K_{кел}$  билан белгиланади, бу тўғридан-тўғри иссиқлик ташувчи ҳаракат тезлигига ва унинг сарфига боғлиқ. Ушбу тизимларнинг ишлаш тажрибасига кўра, бир-бирига

кетма-кет уланган коллекторлар учун иссиқлик ташувчи оқимининг энг яхши тезлиги соатига 0,03 дан 0,07 м<sup>3</sup> гача бўлади.

Ҳар хил турдаги коллекторларнинг иссиқлик ишлаб чиқариш кўрсаткичлари тадқиқ қилинди. Аввало, совуқ қиш даврида сувни иситиш эҳтиёжлари учун замонавий қувур-вакуумли ва ясси пластинкали қуёш коллекторининг ишлашини таққослашга алоҳида эътибор қаратилди (1-расм).



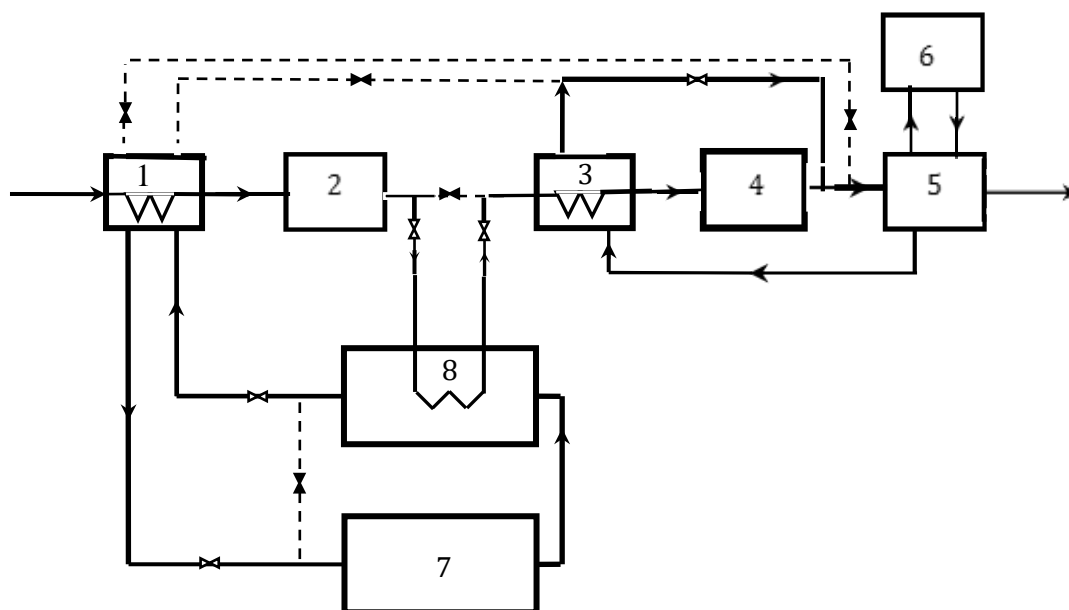
**2-расм. Самарадорлик  $\eta$  ва йиллик ёқилғини алмаштириш коэффициенти  $\varphi$  га боғлиқ иш параметрларига қараб қуёш гелиоқўшимчаси билан ишлайдиган ёқилғи қозонхона тизимининг ишлаш соҳалари: I ҳудуд - термонейтрал; II ҳудуд - автоном; III ҳудуд - йил давомида фойдаланиладиган.**

Қуёш иссиқлик таъминоти тизимларида ишлаш жараёнларини ўрганиш қуёш коллекторларининг кириш қисмида иссиқлик ташувчи ҳароратини пасайтириш орқали уларнинг иш самарадорлигини ошириш имкониятини кўрсатади (2-расм).

Энергия самарадорлиги даражасига кўра комбинацияланган қуёш ёқилғи қозонхона тизимининг иш ҳолатларини аниқлашда аниқловчи параметрлар тизимнинг самарадорлиги  $\eta$  ва йиллик ёқилғини алмаштириш коэффициенти  $\varphi$  бўлиб, қуёш энергиясининг иситиш тизимининг умумий иссиқлик юкласини қоплашдаги улушини белгилайди.

Ушбу қийматлар қуёш иситиш тизимининг иш параметрларига қарама-қарши боғлиқликка эга, улардан асосийси коллектор текислиги  $I$  ҳудудидаги қуёш нурланиши зичлигига қуёш коллекторларидаги иссиқлик ташувчисининг ўртача ҳарорати  $t_{\text{урт}}$  ва атроф-муҳит ҳаво ҳарорати  $t_0$  ўртасидаги ҳарорат фарқининг нисбати ҳисобланади.

Белгиланган иш параметри нолга тенг бўлганда, яъни  $t_{ypm} = t_0$  (I худуд), қуёш коллекторларидан атроф-муҳитга конвектив иссиқлик йўқотишлари бўлмайди. Ушбу иш ҳолати термонеутрал деб аталади.



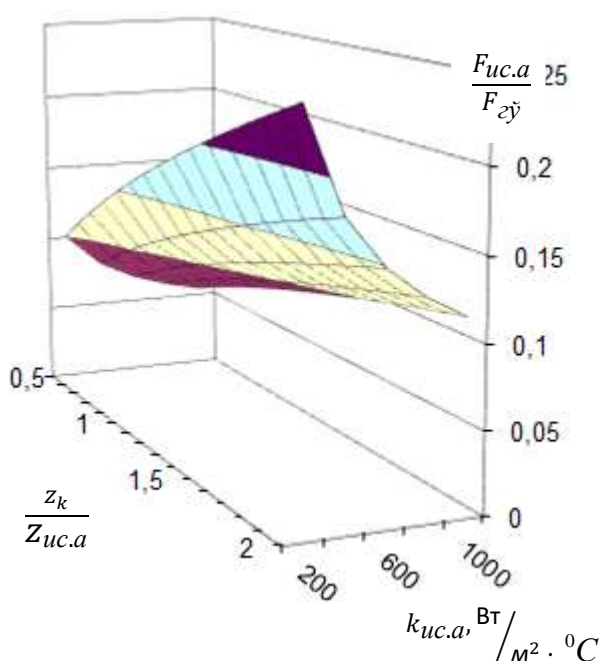
**3-расм. Икки занжирли гелиоқўшимча билан қуёш-ёқилғи қозонхона схемасини такомиллаштирилган варианты:** 1- дастлабки манба суви учун иссиқлик алмаштиргич; 2- кимёвий сув тозалаш қурилмаси; 3- совуқ ишлов беришдан кейин иссиқлик алмаштиргич; 4 - деаэратор; 5- иссиқ сув идиш; 6- қозонхона; 7-гелиомайдон; 8- истеъмолчига етказиб беришдан олдин иситиш учун иссиқлик алмаштиргич.

Ўзбекистондаги ёқилғи қозонхоналарида қўлланиладиган мавжуд схемада иссиқлик манбаи технологик линияси иссиқ сувни тайёрлашда қуйидаги иситиш босқичларини ўз ичига олади: “хом (дастлабки) сув” иссиқлик алмаштиргич 1 даги манба суви  $5 \div 10^\circ\text{C}$  дан  $20^\circ\text{C}$  гача Na-катионит филтрларидан кимёвий сув тозалаш (КСТ) қурилмаси 2 га юбориш; уни КСТ иссиқлик алмаштиргич вакуум қурилмалари 3 да деаэрация 4 қилишдан олдин  $56^\circ\text{C}$  гача қиздириш; қозонхоналар 6 томонидан  $65^\circ\text{C}$  ҳароратгача қиздирилгандан сўнг аккумуляция бакларида (АБ) 5 тўпланиши ва кейин истеъмолчига, яъни иссиқлик тармоғига етказиб берилиши таъминланади. Гелиоқўшимча кимёвий тозаланган сувни қайтган сув билан аралаштириб, АБ 5 га юборади. Технологик линияда кимёвий сувни тозалаш қурилмаси 2 ва КСТ иссиқлик алмаштиргич 3 ўртасида ёзда  $20^\circ\text{C}$  дан  $30 \div 40^\circ\text{C}$  гача иситишни таъминлаш учун қуёш занжирининг иссиқлик алмаштиргичи 8 орқали гелиомайдон 7 дан киритиш амалга оширилади.

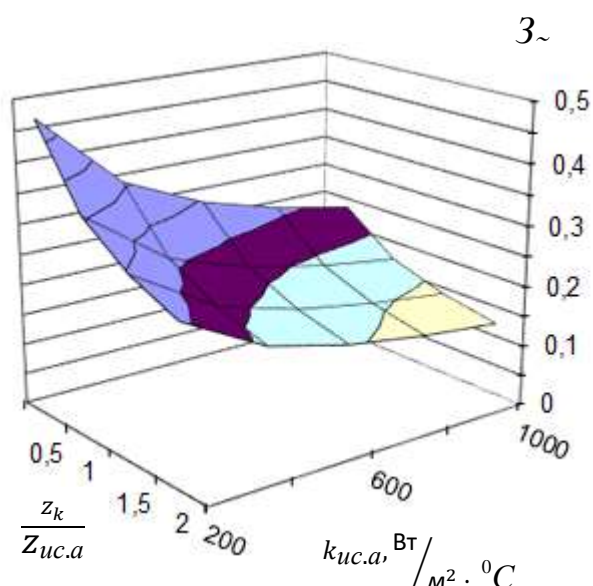
Ушбу схемада таклиф қилинган такомиллаштириш унинг самарадорлигини ошириш имконини беради. Шундай қилиб, агар иссиқлик алмаштиргич 1 гелиомайдони 7 га кетма-кет уланган бўлса ва иссиқлик

ташувчи қозонхона суви ўрнига қуёш занжиридаги иссиқлик алмаштиргич 8 дан иситилса, гелиоқўшимчадан фойдаланганда қозонхонадаги ёқилғи ресурсларини қўшимча тежаш таъминланади. Ушбу схема (3-расм) атроф-муҳитга нисбатан қуёш гелиоқўшимчасини ишлатиш термонеутрал иш ҳолатини ҳисобга олади.

Диссертациянинг учинчи “Комбинацияланган иссиқлик таъминоти тизимлари ёқилғи қозонхоналари учун қуёш қурилмасининг оптимал параметрларини техник-иқтисодий ҳисоблаш методикаси” номли бобида қозонхона учун икки занжирли қуёш қўшимчаларининг параметрларини моделлаштириш учун олинган математик ифодалар тақдим этилган. (1) ифода оралик иссиқлик алмаштиргичнинг иситиш юзаси ва гелиомайдони (4-расм) нисбатини оптималлаштиришни ўз ичига олади.



**4- расм. Икки контурли қуёш коллектори тизим ва оралик иссиқлик алмашинувчиси майдонларининг иссиқлик-техник хусусиятлари ва келтирилган харажатларга нисбати боғлиқлиги.**



**5- расм. Харажатларнинг ўзгарувчан қисмининг иссиқлик хусусиятларига боғлиқлиги ва икки занжирли тизимнинг харажатларини камайтириш.**

$$\left( \frac{F_{гў}}{F_{ис.а}} \right)_{\text{оптимал}} = \sqrt{\eta_{ис.к} \cdot \frac{K_{кел}}{k_{ис.а}} \cdot \frac{z_k}{z_{ис.а}} - \eta_{ис.к} \cdot \frac{K_{кел}}{k_{ис.к}}} \quad (1)$$

бу ерда  $\eta_{ис.к}$  - гелиоқўшимчани иссиқлик манбаига улашда ишлатиладиган қуёш абсорберларининг иссиқлик самарадорлиги коэффициенти.

Олинган характеристикалар учун гелиомайдоннинг келтирилган иссиқлик-техник хусусиятларининг оралиқ иссиқлик алмашинувчининг иссиқлик узатиш коэффициентига нисбати қиймати  $K_{кел}/k_{ис.а}$  иссиқлик алмаштиргичнинг иситиш сиртининг оптимал қийматини танлашга сезиларли таъсир кўрсатади. Иссиқлик қурилмасининг иссиқлик узатиш коэффициентига  $k_{ис.а}$  асосан тизимда ишлатиладиган антифризнинг зичлиги ва иссиқлик алмаштиргич учун ишлатиладиган материалнинг иссиқлик-техник хусусиятлари таъсир кўрсатади.

Комбинацияланган қурилмани қуёш гелиоқўшимчасига улаш харажатларининг ўзгарувчан қисми учун қийматларни ҳисобга олган ҳолда математик ифода олинди.

$$Z_{\sim} = z_{ис.а} \cdot F_{ис.а} + z_k \cdot F_{з\ddot{y}} \cdot \frac{\eta_{ис.к} \cdot K_{кел} \cdot F_{з\ddot{y}}}{K_{ис.а} \cdot F_{ис.а} + \eta_{ис.к} \cdot K_{кел} \cdot F_{з\ddot{y}}} \quad (2)$$

5- расмда  $Z_{\sim}$  нинг иссиқлик алмаштиргич  $z_{ис.а}$  ва қуёш коллекторининг  $z_k$  солиштирма харажатлари нисбатига боғлиқлиги, шунингдек, оралиқ иссиқлик алмашинувчининг иссиқлик узатиш коэффициенти ўзгариши кўрсатилган. Қуёш энергиясидан фойдаланиш билан боғлиқ энергетик ускунасининг характеристикаси, хусусан, иссиқлик манбаларидаги қуёш қўшимчалари учун инсоляция ва ташқи ҳарорат шароитида ўзгарувчанлик шароитида ишлайди.

Бу иссиқ сув таъминоти тизимларида иссиқлик манбаи юкламаси учун қуёш энергиясини алмаштириш коэффициентини ҳисоблаш ифодасини олиш вазифасини ўз ичига олади. Бу атроф-муҳит параметрларининг таъсирини, гелиоускуналари ва санитар-техник ускуналарининг оптик-конвектив хусусиятларини, схема ечимларининг технологик параметрларини, қозонхоналар учун мўлжалланган қуёш қўшимчаларини ҳисобга олади.

$$\varphi = \frac{\eta_{исит} [\eta_{онт} q_{туш}^{\Sigma} + K_{кел} (t_o - t_{к.м})]}{(G_{сол} c_p + 0.5 \eta_{ист} K_{пр}) (t_{ис.с}^{улик} - t_{с.с})} \quad (3)$$

ифода олинган.

(3) ифода қуёш панели ва санитария-техник ускуналарнинг ( $\eta_{исит}$ ), ўзига хос оптик-техник ( $\eta_{онт}$ ,  $K_{кел}$ ) ва иссиқлик-техник хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда ёқилғи иссиқлик манбалари билан комбинацияланган қуёш техник қисмининг иссиқлик юкламасини алмаштириш коэффициентини солиштирма сарфлар ( $G_{сол}$ ), совуқ сув ҳарорати ( $t_{с.с}$ ), кимёвий тайёрланган сув ҳарорати ( $t_{к.м}$ ) ва иссиқ ( $t_{ис.с}^{улик}$ ), ҳар қандай ўзгаришлар учун иссиқлик манбаи технологик линияси бўйлаб ташқи ҳаво ҳарорати ( $t_o$ ) ва жами қуёш радиацияси ( $q_{туш}^{\Sigma}$ ) келишини ҳисоблаш йўли билан аниқлаш имконини беради.

Оптималлаштиришнинг навбатдаги вазифаси автоном қуёш иситиш тизимларидан фарқли ўлароқ, қуёш қўшимчасида сувни иситишнинг ҳарорат ҳолати бўйича иссиқ сув таъминоти ( $\overline{\Delta t_{ил.с}^{з\ddot{y}}}$ ) учун икки занжирли

гелиоқўшимчалари майдони ( $F_{\text{э}^y}^1$ , м<sup>2</sup>/одам) ни боғлиқлигини ифодалаш ҳисобланади.

$$F_{\text{э}^y}^1 = \frac{\left(\frac{1}{\eta_{\text{и.к}}} + \frac{K_{\text{кел}}}{K_{\text{ис.а}}} f_{\text{онм}}\right) G_{\text{кун}}^1 \rho c_p \overline{\Delta t_{\text{ил.с}}^{\text{э}^y}}}{\left(\bar{\eta}_0 - K_{\text{кел}} \frac{0.5 \overline{\Delta t_{\text{ил.с}}^{\text{э}^y}} + t_{\text{кмс}} - t_{\text{мх}}}{\bar{q}_{\text{нур}}^{\Sigma}}\right) \bar{q}_{\text{нур}}^{\Sigma} Z_{\text{кун}}} \quad (4)$$

бу ерда  $G_{\text{кун}}^1 = 100$  литр/одам/кун - бир киши учун иссиқ сув истеъмолнинг кунлик меёри;  $\rho$  ва  $c_p$  - мос равишда иситиладиган сувнинг зичлиги ва изобар иссиқлик сифими;  $Z_{\text{кун}} = 8$  соат - инсоляциянинг бир кунда келиш даври.

Такдим этилган схема-параметрик оптималлаштириш усули такомиллаштирилган (3-расм) ва икки занжирли гелио қўшимчанинг анъанавий схемаларининг энергия хусусиятларини солиштиришга имкон берди:

- оралиқ иссиқлик алмаштиргичнинг иситиш юзаси ва гелиомайдоннинг оптимал нисбати 0,1;

- иссиқлик юкласини қуёш энергияси билан алмаштириш коэффициентини  $\varphi$  0,4 дан 0,6 гача кўтарилди;

- ёз кунда гелиоқўшимча билан жиҳозланган ёқилғи қозонхонасининг таклиф қилинган схемаси учун қуёш коллекторининг иссиқлик самарадорлиги 0,654 дан 0,702 гача кўтарилди;

- гелиомайдоннинг ҳисобланган солиштирма қиймати унинг самарадорлигини оширишга мутаносиб равишда ҳар бир аҳоли учун 0,665 м<sup>2</sup> дан камайди ва ҳар бир аҳоли учун 0,619 м<sup>2</sup> га тенг қабул қилинади.

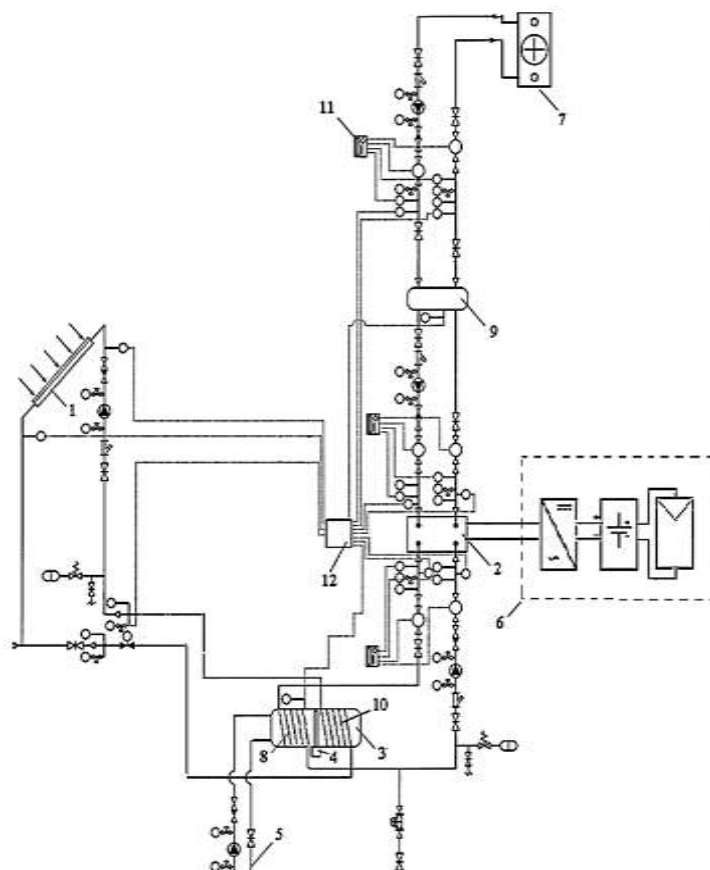
Диссертациянинг тўртинчи **“Қуёш-иссиқлик насос станцияси тажриба қурилмаси бўйича экспериментал тадқиқотлар”** номли бобида ТДТУ лабораториясида ўрнатилган қурилмаларда ўтказилган тадқиқотлар келтирилган (6-расм). Иссиқлик насоси учун ерга тупроқ грунтотка занжирини ётқизишда катта сармойани талаб қилинишини алмаштириш қурилманинг афзаллиги ҳисобланади. Бунга гелиоқурилмага нисбатан арзон паст потенциалли манбадан фойдаланиш орқали эришилади. Йилнинг совуқ даврида аккумуляция бакларида қуёш инсоляцияси энергиясининг тўпланиши туфайли сувни камида +7°C ҳароратгача қиздириш мумкин бўлади.

Қуёш иссиқлик насоси тизими (7-расм) мос равишда қуйидагиларга: сувни иситувчи қуёш қурилмаси 1, шу жумладан, аккумуляция баки 3 ва иссиқлик насоси 2 га эга. Ҳар иккиси ҳам бино ичида жойлашган. Занжирлар ўртасида узлуксиз иссиқлик алмашинувини яратиш учун уларда иссиқлик ташувчи айланиши учун насослар жойлашган. Иситилган сувни сақлайдиган идиш аккумуляция баки 3, параллел равишда иситиш элементи 4 дан сувни иситиш учун энергия олиши ва иссиқ сувни истеъмолчи 5 нинг иссиқ сув тизимига ўтказиши мумкин. Иссиқлик насосининг компрессори 2 қуёш фото-электр станция 6 томонидан ишлаб чиқарилган электр энергиясида ишлайди.

Бундан ташқари, иссиқлик насосининг занжири 2 суюқликли ҳаво иситгичи 7 га уланиш билан конденсатор орқали чиқишга эга. Иссиқлик насоси блокининг 2 буғлантиргичи оралиқ иссиқлик алмаштиргич 8 орқали иссиқлик аккумулятори 3 га уланади.



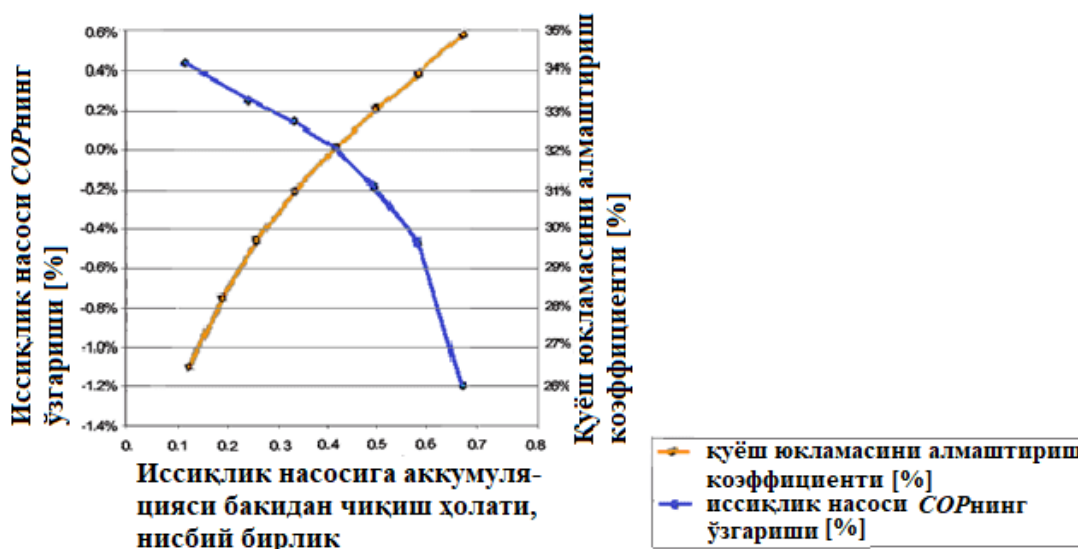
**6- расм. Қуёш энергияси ҳосил қиладиган иссиқликдан фойдаланадиган лаборатория иссиқлик насоси элементлари**



**7- расм. Қуёш иссиқлигидан фойдаланадиган комбинацияланган лаборатория иссиқлик насоси қурилмаси схемаси.**

Иссиқлик насоси блоки 2 нинг чиқиш занжирида ишчи суюқликни иссиқлик кенгайишидан ҳимоя қилиш учун қўшимча равишда гидравлик буфер баки 9 билан жиҳозланган. Қуёш сув иситиш тизимининг схемаси иссиқлик алмашувчиси 10 орқали умумий иссиқлик энергиясини аккумуляция баки 3 да ёпилади. Схемаларда иссиқлик ташувчининг айланиш жараёни автоматлаштириш ёки ўта оғир ҳолларда оператив ходимларни

бошқариш орқали назорат қилинади. Иссиқлик узатиш жараёнларини автоматик назорат қилиш ва назорат қилиш тизими сув оқими ҳисоблагичларини ўз ичига олади. Бундан ташқари, иссиқлик ташувчи сарфи ҳақида маълумот оладиган иссиқлик ҳисоблагичлари 11 га уланган иссиқлик занжирларнинг етказиб бериш ва қайтариш қувурларига бириктирилган қаршилиқ терможуфтлари кўринишидаги ҳарорат датчиклари ҳам мавжуд.



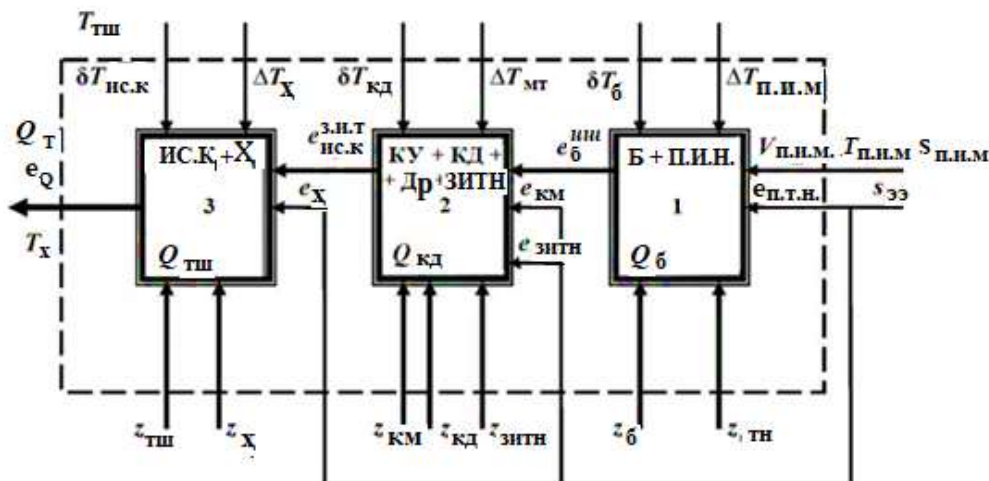
**8-расм. Аккумуляция бакидан чиқиш жойларининг баландлигига қараб қуёш гелиоқушимчаси билан иссиқлик юкласини алмаштириш коэффициентини ва иссиқлик насосининг айланмиш коэффициентининг ўзгариши.**

Қуёш иссиқлик насосини қурилмасини оптималлаштиришда гелиоқушимча қурилмаси самарадорлиги ва иссиқлик насосининг айланмиш коэффициентини билан боғлиқ ҳолда аккумуляция бакидан иссиқлик насоси занжирига ўтказгичларнинг рационал ҳолатини аниқлаш тавсия этилади. Бу иссиқлик энергиясини паст ҳароратда олганидан кейин сув уларнинг занжирларига кирганда содир бўлади. Бу 8-расмда акс эттирилган бўлиб, иссиқлик насосининг (*COP*) айланмиш коэффициентини ва қуёш юкласини қоплаш коэффициентини ўзгаришини % да кўрсатади. Чиқиш жойлари юқориқ жойлашганда, иссиқлик насосининг айланмиш коэффициентини ортади.

Пастки қисмдан масофа ортгани сайин, қуёш қурилмасининг самарадорлиги, аксинча, ошади. Натижада, ушбу энергия кўрсаткичларининг кесиммасида аккумуляция бакидан иссиқлик насоси занжирига қадар чиқишларнинг энг рационал ҳолатини аниқлаш мумкин. Энг оқилона нуқта аккумуляция бакининг 0,4 нисбий баландлигида жойлашди.

Бешинчи “Иссиқлик насосли иссиқлик таъминоти тизимлари қуёш иссиқлик қурилмалари схемаларини эксергик-иктисодий оптималлаштириш” номли бобда 4 чи бобда келтирилган эксергия

тушунчаси асосида таҳлил қилишнинг техник-иқтисодий масалалари кўриб чиқилади. Эксергия ҳар қандай турдаги энергиянинг бир қисми бўлиб, мавжуд атроф-муҳит шароитида  $e_Q$  ишни бажариш учун ўзгариш қобилиятини кўрсатишга имкон беради. Қайтар термодинамик циклда ташқи шароитларни, хусусан, ҳароратнинг ортиқчилигини ҳисобга олган ҳолда, иш бажаришга  $T$  ҳароратга эга бўлган иссиқлик ташувчининг иссиқлик энергияси  $Q$  сарфланади.



**9- расм. Иссиқлик насосининг эксергик-иқтисодий моделининг топологик схемаси**

Иссиқлик насосининг ишлашида (9-расм) асосан иссиқлик алмашинувлари содир бўлади. Шунинг учун оптимал параметрларни топишда паст потенциал иссиқлик ташувчидан буғланиш иссиқлик алмашинувчиси  $\delta T_b$  ҳамда конденсатор иссиқлик алмашинувчиси  $\delta T_{қд}$  орқали кетма-кет ҳарорат ўзгаришига ва иситиш қурилмаси  $\delta T_{им}$ , шунингдек, буғланиш иссиқлик алмаштиргичидаги паст потенциал иссиқлик ташувчи  $\Delta T_{пит}$ , иссиқлик алмаштиргичдаги занжирлараро совутгич  $\Delta T_{зс}$  ва иситиш қурилмасидаги ҳавонинг ҳарорат йўқотишлари  $\Delta T_x$ га эътибор қаратилади.

Тақдим этилган қийматлар иситиладиган хонанинг  $T_x$  белгиланган ҳароратида, ташқи шароитда  $T_{тш}$  ва паст потенциал иссиқлик манбаида  $T_{п.и.м}$  иссиқлик насосидаги жараёнлар ўртасида боғловчи алоқа вазифасини бажаради.

Иссиқлик қурилмасининг иссиқлик алмашинувчисига занжирлараро иссиқлик ташувчи томонидан этказиб бериладиган эксергия миқдори ҳаво оқимининг эксергияси  $e_{ис.қ}^x$  ва бу ҳолда эксергия йўқотишларининг йиғиндисига  $d_{ис.қ}$  тенг.

$$e_{ис.қ}^{з.и.т} = e_{ис.қ}^x + d_{ис.қ} = Q_{ис.қ} \cdot \left(1 - \frac{T_{тш}}{T_x}\right) + Q_{ис.қ} \cdot \left(\frac{T_{тш}}{T_{ис.қ}} - \frac{T_{тш}}{T_{з.и.т}}\right) = Q_{ис.қ} \cdot \left(1 - \frac{T_{тш}}{T_{з.и.т}}\right) \quad (5)$$

$\bar{T}_x^{\text{ис.к}}$  - хонадаги ҳаво ҳароратининг ўртача қийматлари;  $\bar{T}_{\text{з.и.т}}^{\text{ис.к}}$  - иситиш қурилмасидаги занжираро иссиқлик ташувчи ҳароратининг ўртача қийматлари.

Иситиш қурилмасидаги занжирлараро иссиқлик ташувчи ҳароратининг ўртача қиймати

$$\bar{T}_{\text{з.и.т}}^{\text{ис.к}} = \bar{T}_x^{\text{ис.к}} + \delta T_{\text{ис.к}} = T_{\text{п}} + \frac{H_x}{\rho_x^{\text{вент}} \cdot c_x^{\text{вент}} \cdot \eta_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{дв}}} + \frac{\Delta T_x}{2} + \delta T_{\text{ис.к}} \quad (6)$$

бу ерда  $H_x$  - иситиш қурилмасининг вентиляторидан ҳаво босими,  $\text{Н/м}^2$ ;  $\rho_x^{\text{вент}}$  - иситиш қурилмасининг вентиляторидан иситиладиган ҳаво оқимининг зичлиги,  $\text{кг/м}^3$ ;  $c_x^{\text{вент}}$  - иситиш қурилмасининг вентиляторидан ҳавонинг изобар иссиқлик сифими,  $\text{кЖ}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{С})$ ;  $\eta_{\text{в}}$  - иситиш қурилмаси вентиляторининг самарадорлик коэффициенти;  $\eta_{\text{дв}}$  - вентилятор электр юритмасининг самарадорлик коэффициенти, шу жумладан узатиш ФИК.

Тенглама (5) ўзгартирилади

$$e_{\text{ис.к}}^{\text{мт}} = \frac{e_Q}{\left(1 - \frac{T_{\text{тш}}}{T_x}\right)} \cdot \left(1 - \frac{T_{\text{тш}}}{T_x + \frac{H_x}{\rho_x^{\text{вент}} \cdot c_x^{\text{вент}} \cdot \eta_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{дв}}}} + \frac{\Delta T_x}{2} + \delta T_{\text{ис.к}}\right) \cdot \left[1 - \frac{H_x}{\rho_x \cdot c_x \cdot \Delta T_x \cdot \eta_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{дв}} + H_x}\right] \quad (7)$$

бу ерда  $\rho_x$  - иситиш қурилмасидаги ҳаво зичлиги,  $\text{кг/м}^3$ ;  $c_x$  - иситиш қурилмасидаги ҳаво оқимининг изобарик иссиқлик сифими,  $\text{кЖ}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ .

Иссиқлик қурилмаси вентиляторининг нархидан чегирмаларнинг солиштирма умумий ставкалари

$$z_{\text{в}} = \frac{(k_{\text{чм}} + k_{\text{тм}})}{\tau} \left( C_{\text{в}}^{\text{т}} + C_{\text{в}}^{\text{сол}} \frac{e_Q \cdot \eta_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{дв}}}{\left(1 - \frac{T_{\text{тш}}}{T_x}\right) (\rho_x \cdot c_x \cdot \Delta T_x \cdot \eta_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{дв}} + H_x)} \right) \quad (8)$$

бу ерда  $k_{\text{чм}}$  - иситиш қурилмасининг вентиляторининг нархидан чегирма меёри;  $k_{\text{тм}}$  - иситиш қурилмаси вентилятори нархидан эскириш ва таъмирлаш учун чегирма меёри;  $C_{\text{в}}^{\text{т}}$  - иситиш қурилмаси вентилятори таянч нархи, минг сўм/ $(\text{м}^3/\text{соат})$ ;  $C_{\text{в}}^{\text{сол}}$  - иситиш қурилмаси вентилятори солиштирма нархи, минг сўм/ $(\text{м}^3/\text{соат})$ .

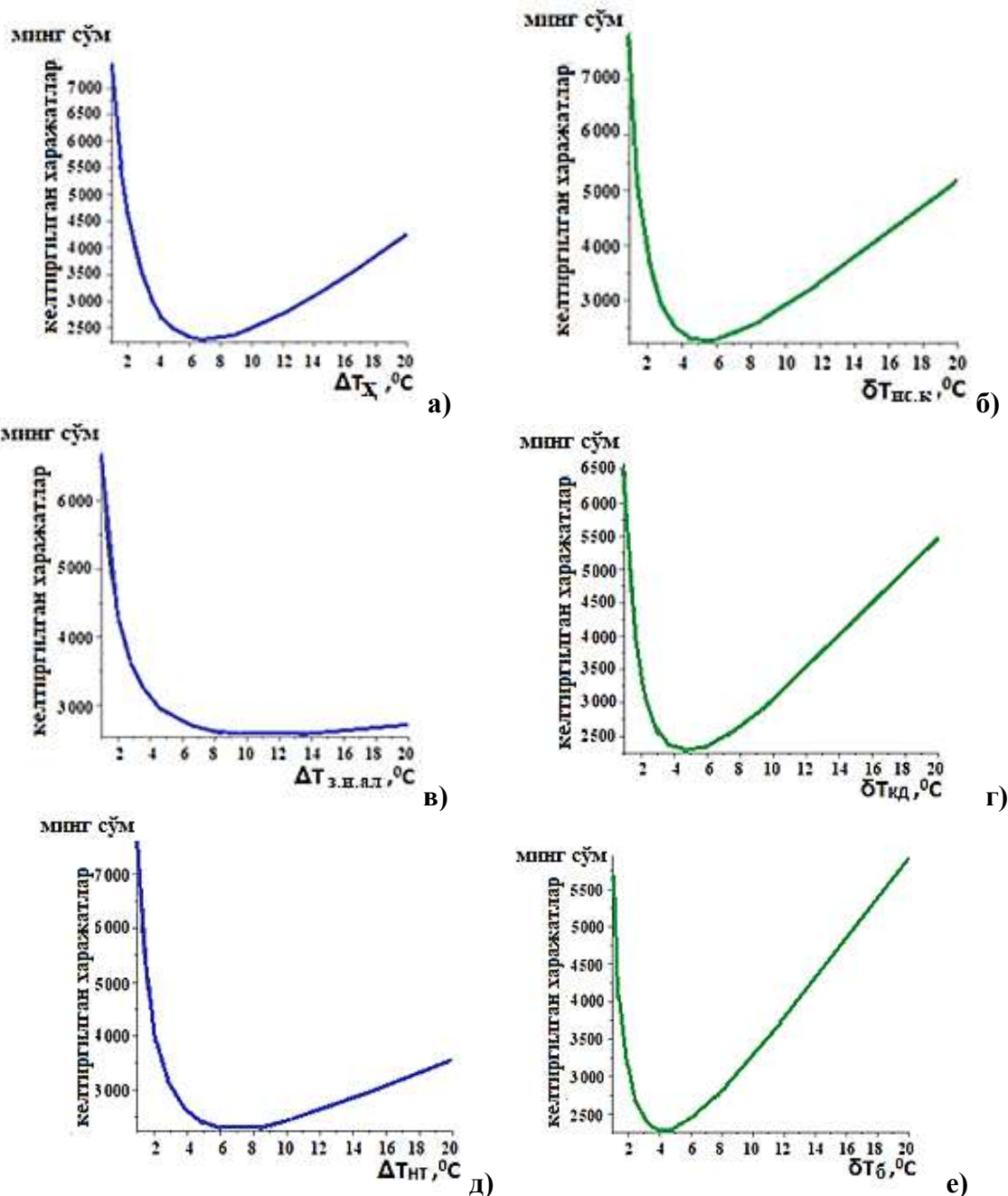
Тахминлар ва қабул қилинган белгиларни ҳисобга олган ҳолда, иссиқлик насосининг барқарор иш ҳолатини танлашда мақсад функцияси - эксергия харажатларининг камайтирилган қиймати ҳисобланади.

$$PZ = [s_{\text{ээ}}(e_{\text{км}} + e_{\text{инт}} + e_{\text{нпт}} + e_{\text{в}}) + s_{\text{пим}} V_{\text{пим}} + z_{\text{км}} + z_{\text{б}} + z_{\text{пимн}} + z_{\text{кд}} + z_{\text{зитн}} + z_{\text{ис.к}} + z_{\text{в}}] \quad (9)$$

Минимални ҳисоблашда барча оптималлаштирувчи параметрлар учун камайтирилган эксергия харажатларининг дифференциал функциялари (9) нол қийматга келтирилади.

$$\frac{\partial PZ}{\partial \Delta T_B} = 0, \frac{\partial PZ}{\partial \Delta T_{ис.к}} = 0, \frac{\partial PZ}{\partial \Delta T_{з.и.ал}} = 0, \frac{\partial PZ}{\partial \Delta T_{кд}} = 0, \frac{\partial PZ}{\partial \Delta T_{б.и.ал}} = 0, \frac{\partial PZ}{\partial \Delta T_6} = 0 \quad (10)$$

(5-10) ифодалар ёрдамида ҳисоблаш учун ҳарорат ўзгаришига қараб ишлайдиган совутгич ва иссиқлик ташувчиларининг иссиқлик-физик хусусиятларининг ўзгаришини ҳисобга оладиган итерацион усул қўлланилди.

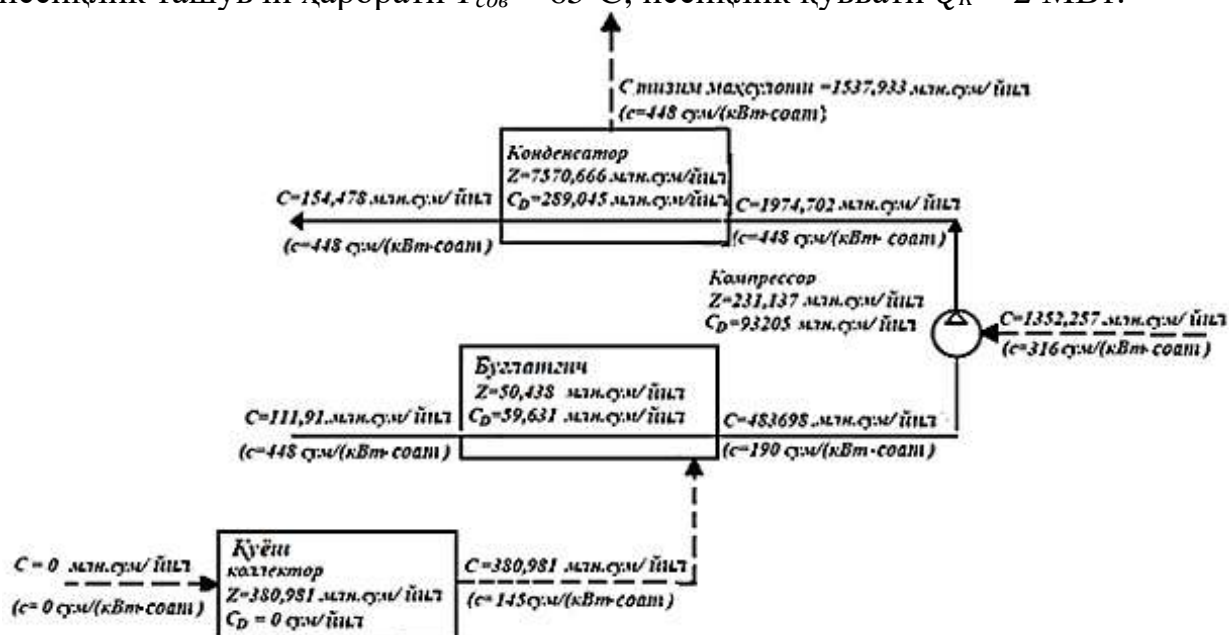


**10- расм. Оптималлаштирилган иссиқлик-техник кўрсаткичлари учун келтирилган эксергия харажатлари.**

Тузилган эксергик-иқтисодий ҳисоблаш моделидан фойдаланган ҳолда буғ-компрессион иссиқлик насосининг иссиқлик оптимал параметрларини ҳисоблари қуйидаги дастлабки маълумотлар билан амалга оширилди:

$Q_I = 4$  кВт - истеъмолчини иссиқлик билан таъминлаш учун иссиқлик насосининг иссиқлик қуввати;  $T_0 = -7^\circ\text{C}$  - минимал ташқи ҳарорат;  $T_I = 18^\circ\text{C}$  - хонани иситиш учун ўрнатиладиган ҳарорат;  $T_{\text{п.и.м}} = 7^\circ\text{C}$  - паст ҳароратли муҳитнинг ҳарорати;  $T_k = 5^\circ\text{C}$  - конденсатор иссиқлик алмашинувчисида совуқ агент R134 нинг ҳароратини пасайиш қиймати;  $T_b = 5^\circ\text{C}$  - компрессор сўрилишида буғ ҳолатидаги совуқ агент ҳароратининг ошиши қиймати;  $s_{\text{ээ}} = 0,9$  минг сўм / (кВт) - электр энергияси нархи;  $\tau = 1448$  соат - Тошкент шаҳри учун иситиш даврининг давомийлиги. (5÷10) ифодалар асосида ҳисобланган параболик эгри чизиқлар тузилди, улар 10-расмда кўрсатилган. Қуёш иссиқлик насосли иситиш тизими учун фақат иссиқлик-динамик усул асосида таҳлил қилиш мумкин эмас, чунки қуёш нурланишининг келиши учун нарх йўқ. Бундай ҳолда, эксергик иқтисодий унумдорлик қуёш занжирига уланган иссиқлик алмаштиргичларнинг нархлари билан ифодаланиши мумкин. Иссиқлик насослари қурилмаси учун паст потенциал иссиқлик манбаи корхоналарининг энергетик сектори технологик оқими (ташланма) бўлиши мумкин. Шундай қилиб, иссиқлик электр марказларининг совутиш минораларидан атроф-муҳитга тарқаладиган иссиқлик энергиясининг ҳажми иссиқлик насосларига айлантирилганда -  $7^\circ\text{C}$  гача бўлган ташқи совуқларда аҳоли пунктларини иссиқлик билан таъминлаш учун етарли бўлади.

Вариантларнинг термодинамик компонентининг бошланғич параметрлари: истеъмолчи учун ҳарорат  $T=100^\circ\text{C}$ ; гелиомайдондан чиқадиغان иссиқлик ташувчи ҳарорати  $T_{\text{сов}} = 65^\circ\text{C}$ ; иссиқлик қуввати  $Q_K = 2$  МВт.



**11-расм. Иссиқлик насоси қурилмаси ва гелиомайдонга асосланган иссиқлик таъминоти тизимида эксергия ва иқтисодий кўрсаткичларни структуравий тақсимлаш**

Олинган натижаларни ҳисобга олган ҳолда, 11-расмда кўрсатилган гелиомайдонли иссиқлик насоси тизимининг оқим эксергик-иқтисодий

диаграммаси тузилган. Иссиқлик насоси ва гелиомайдон элементларининг параметрларининг техник кўрсаткичларининг қийматлари 1-жадвалдаги эксергик иқтисодий таҳлилдаги характеристикаси билан берилган.

### 1-жадвал.

Эксергик-иқтисодий таҳлилдаги характеристикаси.

Куёш коллектори: иссиқлик алмашинуви юзаси майдони	4137 м <sup>2</sup>
Компрессор: максимал қувват	391 кВт
Конденсатор: иссиқлик алмашинуви юзаси майдони	86,13 м <sup>2</sup>
Буғлатгич: иссиқлик алмашинуви юзаси майдони	68,6 м <sup>2</sup>
Қозонхона: сууқ ёқилғининг масса оқими	2700 кг/соат
Концентратор: иситиш қуввати	2000 кВт

Тенгламадан фойдаланиб, ҳар бир тизим учун эксергик-иқтисодий омилни аниқланади

$$f_k = \frac{Z_k}{Z_k + C_{F,k} \cdot (E_{D,k} + E_{L,k})} \quad (11)$$

Эксергияни баҳолаш тизим элементлари учун  $k$  -элементни қуйидаги мезонларга мувофиқ текшириб амалга оширилади:  $E_{D,k}$  - иссиқлик таъминоти тизимининг  $k$  -элементига ташқи энергияни киритиш билан боғлиқ эксергияни тўлиқ йўқ қилиш, бу ҳолда электр энергиясидан фойдаланиш;  $E_{L,k}$  - тизимнинг  $k$  -элементидаги эксергик йўқотишлари;  $C_{F,k}$  - истеъмол қилинган ёқилғининг эксергия қиймати;  $Z_k$  - умумий капитал маблағлар ва оператив таъмирлаш.

Ушбу кўрсаткични 2-жадвалдаги ҳисобланган маълумотлардан фойдаланган ҳолда таққослаймиз.

### 2-жадвал.

Эксергик-иқтисодий омил ҳисоблаш натижалари

Тизим	$Z_{кан.х},$ сўм/йил	$Z_{иш.х},$ сўм/йил	$F$
1	2690,0	489426,7	0,01
2	3362,7	150857,3	0,022
3	3362,7	192000,0	0,017
4	28013,3	370902,0	0,07
5	49274,0	99430,7	0,331

Диссертациянинг **иловасида** иссиқлик таъминоти учун куёш иссиқлик тизимларнинг самарадолигига таъсир қилувчи омилларни ҳисобга олган ҳолда Ўзбекистон ҳудудини иқлимий районлаштириш натижалари кўрсатилган.

## ХУЛОСА

«Иссиқлик насоси ва куёш энергиясидан фойдаланиш асосида биноларнинг иссиқлик таъминоти самарадорлигини ошириш» мавзусидаги техника фанлари доктори (DSc) диссертацияси бўйича ишининг олиб борилган тадқиқотлар натижасида қуйидаги хулосалар тақдим этилади:

1. Қозонхонада сувни оралиқ иситиш учун қуёш қурилмасининг термонејтрал иш ҳолати таклиф қилинган, натижада самарадорликни оширадиган ёқилғи-қуёш қозонхонасининг схемаси ишлаб чиқилди.

2. Экспериментал тадқиқотлар асосида ясси қуёш коллекторлари ўрнига қувур-вакуумли конструкциялардан фойдаланишга ўтиш таклиф қилинди, натижада, бу атроф-муҳитга иссиқлик йўқотишларини 45 фоиздан 20 фоизга камайтиришни ҳисобга олган ҳолда куз-баҳор даврида қуёш қурилмасининг самарали ишлаш муддатини оширади.

3. Ёқилғи-қуёш қозонхоналарини схема-параметрик оптималлаштириш усули ишлаб чиқилди. Ҳисоблар натижасида, ёқилғи-қуёш қозонхонасининг таклиф этилаётган схемаси учун қуёш коллекторининг самарадорлиги ёзда 0,654 дан 0,702 гача кўтарилиши аниқланди, бу эса иссиқ сувнинг бир истеъмолчиси учун қуёш иссиқлик коллекторларини талаб қиладиган майдонини истеъмол меъёрлари бўйича 0,661 м<sup>3</sup> дан 0,669 м гача камайтиришни таъминлайди.

4. Биринчи марта биноларни иситиш учун қуёш энергияси билан комбинацияланган иссиқлик насоси тизимининг схемаси ишлаб чиқилди. Экспериментал тадқиқотлар натижалари асосида қувур-вакуумли коллекторли иссиқлик насоси тизими билан хонани иситишда аккумуляция бакида 25 °С дан 60 °С гача бўлган ҳарорат оралиғида иссиқлик насосининг айланиш коэффициенти чизиқли равишда 3,7 дан 2,7 гача камайиши ва коллектор самарадорлиги 0,375 дан 0,535 гача кўтарилиши аниқланди, натижада иссиқлик насосининг занжири билан боғланган оралиқ иссиқлик алмаштиргич аккумуляция бакининг нисбий баландлиги 0,4 оптимал қийматига эга эканлиги белгиланди.

5. Эксергик-иктисодий таҳлил асосида қуёш иссиқлик коллекторлари ва иссиқлик насослари комбинацияланган қурилмаси учун оптимал параметрларини ҳисоблаш усули тузилди. Натижада, ҳисоблар асосида 10 кВт қувватга эга қуёш иссиқлик насосини қурилмаси учун оптимал параметрлар гелиомайдони  $S_{ГМ} = 20 \text{ м}^2$ , бак-аккумулятор ҳажми  $V_{АБ} = 100 \text{ л}$ , иссиқлик насосининг юкламаси  $n = 0,8$  эканлиги аниқланди.

6. 2 МВт иситиш қувватига эга бўлган маълум иссиқлик таъминоти тизимлари билан ўтказилган қиёсий таҳлил натижаларига кўра таклиф қилинган қуёш иссиқлик насоси қурилмаси эксергик-иктисодий самарадорлик мезонининг энг юқори қиймати 0,331 га эга эканлиги аниқланди.

7. Ушбу диссертация иши доирасида олинган ишланмаларни жорий этишнинг умумий йиллик иқтисодий самарадорлиги 329 миллион сўмни ташкил этди ва бу маълумотлар Ўзбекистон Республикаси Энергетика вазирлиги, Ўзбекистон Республикаси Олий таълим, фан ва инновациялар вазирлиги томонидан тасдиқланди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/10.12.2019.Т.03.03 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ  
ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ ИМЕНИ ИСЛАМА КАРИМОВА**

---

**ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ЭНЕРГЕТИКИ АКАДЕМИИ НАУК  
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**АНАРБАЕВ АНВАР ИЗАТУЛЛАЕВИЧ**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ  
НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛООВОГО НАСОСА И  
СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ**

**05.05.04 – Промышленная теплоэнергетика**

**АВТОРЕФЕРАТ ДОКТОРСКОЙ (DSc) ДИССЕРТАЦИИ  
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

**Ташкент - 2025**

Тема диссертации доктора по техническим наукам (DSc) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инновации Республики Узбекистан под номером B2022.1.DSc/T89

Диссертация выполнена в Институте проблем энергетики Академии наук РУз

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) и Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» ([www.ZiyoNet.uz](http://www.ZiyoNet.uz)).

**Научный консультант:** **Захидов Ромэн Абдуллаевич**  
доктор технических наук, профессор, академик

**Официальные оппоненты:** **Узаков Гуломжон Норбоевич**  
доктор технических наук, профессор

**Ахатов Жасуржон Саидович**  
доктор технических наук, профессор

**Мирзаев Шавкат Мустакимович**  
доктор технических наук, профессор

**Ведущая организация:** **АО «Теплоэлектропроект»**

Защита диссертации состоится «\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 г. в \_\_ часов на заседании научного совета DSc.03/10.12.2019.T.03.03 при Ташкентском государственном техническом университете имени Ислама Каримова Адрес: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская,2. Тел.:(+99871) 246-46-00, факс: (+99871) 227-10-32, e-mail: [tstu\\_info@edu.uz](mailto:tstu_info@edu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова (регистрационный номер \_\_\_\_\_). Адрес: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (+99871) 207-14-70.

Автореферат диссертации разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 года.

(протокол рассылки №\_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 г).

**К.Р. Аллаев**

Председатель научного совета по присуждению ученых степеней, академик АН РУз, доктор технических наук, профессор

**И.У. Рахмонов**

Ученый секретарь научного совета по присуждению ученых степеней, доктор технических наук, профессор

**Р.П.Бабаходжаев**

Председатель научного семинара при научном совете по присуждению ученых степеней, доктор технических наук, профессор

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация докторской (DSc) диссертации)**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире в области теплоснабжения зданий на основе последних достижений зарубежной науки и техники при переходе от традиционной теплоэнергетики отмечается особая важность вопросов разработки установок теплоснабжения на основе альтернативных и возобновляемых источников тепловой энергии. В настоящее время в развитых странах гелиополя устанавливаются на одном объекте площадью до полутора сотен тысяч квадратных метров. В целом ими обеспечиваются более 542,3 ГВт тепловой мощности в мире<sup>1</sup>. В частности это показывает, какое внимание придается решению вопросов повышения энергоэффективности при модернизации действующих теплоисточников в плане уменьшения сжигания органических топливных ресурсов за счет использования солнечной энергии. Расход энергоресурсов на них уменьшается на 100÷150 кг условного топлива в год от 1 квадратного метра площади солнечных коллекторов.

В мире проводятся научные исследования, направленные на решение вопроса эффективного замещения традиционного котельного отопительного оборудования зданий установкой тепловых насосов. Во многих развитых странах проводятся научные исследования, направленные на тепловые насосы как основное техническое средство теплоснабжения зданий. Показатели тепловой мощности теплонасосов, работающих от низкопотенциального тепла в грунте и теплоносных вод, к настоящему времени превысило 15 ГВт. Планируется, согласно принятым директивам, что к концу текущего десятилетия в государствах Евросоюза доля теплонасосного теплоснабжения возрастет с 32% до 79% баланса производства тепловой энергии<sup>2</sup>. Исследования по снижению энергозатрат при установлении зависимостей между техническими элементами при анализе энергопотребления в зданиях и расчетах на повышение эффективности систем теплоснабжения считаются приоритетными. Также при этом в данном направлении поиск считаются актуальными задачи применения надежного в течение всего года источника низкопотенциальной теплоты, в частности солнечной энергии.

В нашей республике реализуются масштабные мероприятия по созданию, совершенствованию и внедрению новых технологических решений с целью снижения энергоемкости отраслей экономики в полтора раза к 2030 году. В республике за последние двадцать лет реализовано несколько демонстрационных проектов комбинированных солнечно-топливных котельных в крупных городах. При их проектировании применялись технические решения, в частности двухконтурная установка солнечного теплоснабжения, разработанные в 1980-е годы. При этом площадь гелиополя

---

<sup>1</sup> Solar heat worldwide: Global market development and trends in 2022. 2023 edition. AEE INTEC. Austria. 2023.

<sup>2</sup> Japan Air Conditioning Heating & Refrigeration News. Тепловые насосы. Статистика использования в Европе и мире. <https://econet.ru/articles/148891> (2020).

не превышала девятиста квадратных метров на одной котельной. Этого не достаточно, чтобы выявить положительный эффект от их внедрения на крупных теплоисточниках. В последнее время официально заявлено о необходимости разработки программы по широкому внедрению теплонасосов в Узбекистане и важности проведения научно-исследовательских работ, направленные на решение этих вопросов.

Указ Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № ПФ-60 «О Стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы» направляет на эффективное, быстрое и повсеместное использование возобновляемых энергоисточников в секторах экономики страны, прежде всего, солнечных установок в жилищно-коммунальном комплексе. С 1 января 2022 г. для зданий и сооружений государственных органов и организаций стали обязательными энергосберегающие технологии, а для горячего водоснабжения – применение сертифицированных солнечных водонагревательных установок. Использование солнечных систем теплоснабжения в секторе теплоснабжения республики стимулируется также государственными мерами по его развитию. За счет установки энергоэффективного оборудования и применения современных технологий предполагается обеспечить экономию природного газа и электрической энергии в объемах до 10% от существующего уровня.

Обобщение результатов практического использования солнечных установок горячего водоснабжения в республике и международного опыта в этой части, явилось основой для подготовки стратегически значимых государственных документов для увеличения объемов внедрения технологий на основе возобновляемых источников энергии, в том числе солнечных водонагревательных установок в жилищно-коммунальном комплексе, на ближайшую перспективу. Определены все индикаторы по «доведению до 30% доли альтернативных источников энергии в объеме потребления энергии более чем на 6 тысячах объектов в разрезе министерств и ведомств»<sup>3</sup>. Также данное диссертационное исследование служит в определенной степени реализации задач, определенных в других нормативных правовых документах, связанных с данной деятельностью.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Исследования, представленные диссертация отвечает задачам программы научно-технологического развития республики в II-м направлении «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение».

**Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации**<sup>4</sup>. Несмотря на значительные достижения в экономически развитых странах по

---

<sup>3</sup> Указ Президента Республики Узбекистан №-УП-220 от 09.09.2022 г. «О дополнительных мерах по внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии малой мощности» <https://lex.uz/uz/docs/6189043>

<sup>4</sup> Анализ зарубежных научных исследований по тематике диссертации сделан по нижеследующим источникам: <http://www.ren21.net>; <http://www.iea-shc.org>; Тепловые насосы в современной промышленности и коммунальной инфраструктуре. Информационно – методическое издание. — М.: Издательство «Перо», 2016. — С. 204 и др.

внедрению солнечных приставок и тепловых насосов в традиционное теплоснабжение анализ научных исследований показал, что в недостаточной степени изучены вопросы, прежде всего, в отопительный сезон года, комбинированного теплоснабжения, основанного на использовании солнечных установок и тепловых насосов. Требуется учет влияния наиболее важных энергетических факторов для определения параметров гелиоустановки и тепловых насосов, а также оптимизации режимов их работы в плане общей эффективности теплоснабжения. Анализ применения гелиоприставок к существующим централизованным топливным котельным показал, что при их эксплуатации не рассматриваются вопросы выбора схем для создания оптимальных режимов предварительного подогрева воды от солнечных коллекторов для обеспечения их максимальной эффективности.

**Степень изученности проблемы.** В настоящее время в мире прослеживается большой объем научных работ в области применения альтернативных источников энергии на теплоисточниках. Активные исследования проводятся в Объединенном институте высокотемпературных исследований РАН, Кубанском государственном аграрном университете (Россия), Одесском технологическом университете (Украина), Wisconsin University (США), University of Central Lancashire (Великобритания), Tsinghua University (Пекин, Китай), Берлинском Университете (Германия), Ташкентском государственном техническом университете и Институте проблем энергетики Академии наук (Узбекистан). В решение данных вопросов применения солнечных установок и тепловых насосов в теплоснабжении большой вклад внесли ряд известных зарубежных учёных, в том числе, Амерханов Р.А., Бутузов В.А., Попель О.С., Морозюк Т., Бекман Г., Ронгжианг Ма, Цадаронис Д. и рассматривались в других научных работах.

Вопросы использования возобновляемых и альтернативных источников энергии в системах теплоснабжения рассмотрены в исследованиях узбекских ученых: Захидова Р.А., Аvezова Р.Р., Узакова Г.Я., Клычева Ш.И. и других ученых. В результате проведенных научных исследований достигнуты значительные результаты в решении проблем повышения эффективности использования тепловой энергии в зданиях.

Однако несмотря на заметные достижения в последние годы, когда теплонасосное теплоснабжение постепенно переходит из разряда альтернативных методов в традиционные, вопросы разработки методики использования солнечной энергии для производства низкопотенциального тепла до настоящего времени полностью не были изучены. Это требует более глубоких и всесторонних исследований. В настоящей исследовательской работе предлагается развитие научно-методических основ по разработке надежной и энергоэффективной системы теплоснабжения и проектированию солнечных приставок для обеспечения горячего водоснабжения зданий.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация.** Результаты диссертации получены при выполнении научно-исследовательских работ в Институте проблем энергетики по следующим государственным грантам: А-12-058 «Комплексная разработка солнечных систем горячего водоснабжения с электрическим дублёром повышенной эффективности и надежности» (2006-2008гг.); ФА-А13-Ф112 «Разработка высокоэффективных топливно-солнечных технологий для модернизации промышленных котельных» (2009-2011 гг.); А3-ФА-0-15754 «Разработка новых методов и технических решений для систем теплохладоснабжения производственных объектов» (2012-2014 гг.); ФА-А4-Ф049 «Разработка эффективных солнечных систем теплохладоснабжения с применением тепловых насосов» (2015-2017 гг.).

**Целью исследования** является научное обоснование энергоэффективных технических решений использования солнечных приставок к существующим котельным и в качестве источника низкопотенциального тепла для теплонасосных установок при обогреве зданий на основе эксергоэкономических критериев систем теплоснабжения.

**Задачи исследования:**

анализ энергетических режимов работы солнечно-топливных котельных для определения критерия эффективности использования солнечной энергии в системах теплоснабжения;

установление на основе экспериментальных исследований эффективности работы плоских и трубчато-вакуумированных коллекторов;

разработка методики схемно-параметрической оптимизации солнечных приставок к существующим котельным для обоснования их эффективности;

разработка, создание и применение экспериментальной лабораторной установки для исследования режимов работы тепловых насосов по температуре нагрева теплоносителя солнечной установкой в системе теплоснабжения здания;

применение методики эксергоэкономического анализа при поиске оптимальных технических показателей тепловых насосов и солнечных установок;

установление на основе эксергоэкономического анализа эффективности предлагаемой солнечно-теплонасосной установки при сравнении с известными системами теплоснабжения.

**Объектом исследования** являются системы теплоснабжения с установками на основе солнечной энергии для замещения нагрузки горячего водоснабжения в котельных, и получения низкопотенциального тепла для тепловых насосов при альтернативном обогреве здания.

**Предметом исследования** является научно-методическое обоснование технологических вопросов применения солнечных установок применительно

к топливным котельным и тепловым насосам в зданиях для повышения эффективности систем теплоснабжения.

**Методы исследования.** Для поиска решений поставленных задач выполнены эксперименты и применены численные методы оптимизационных расчетов энергетических параметров гелиосистем при работе в составе топливной котельной. Для определения параметров солнечно-теплонасосных установок применены методы эксергоэкономического анализа систем теплоснабжения.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

разработана комбинированная схема топливно-солнечной котельной на основе термонейтрального режима с учетом увеличения замещения её тепловой нагрузки солнечной энергией и эффективность солнечных тепловых коллекторов;

разработана методика схемно-параметрической оптимизации топливно-солнечных котельных на основе показателей эффективности солнечной тепловой установки с учетом местных климатических и технологических условий на объекте теплоснабжения;

впервые разработана схема комбинированной с тепловым насосом системы теплоснабжения зданий, функционирующей на основе низкопотенциального тепла, вырабатываемого солнечной установкой;

разработан метод расчета оптимальных температурных режимов теплопередачи между составными элементами солнечно-теплонасосной системы теплоснабжения здания на основе эксергоэкономических показателей;

составлен метод расчета оптимальных параметров комбинированной установки солнечных тепловых коллекторов и тепловых насосов с учетом минимальных эксергетических затрат на основе метода эксергоэкономического анализа;

по результатам сравнения с известными системами теплоснабжения на основе метода эксергоэкономического анализа обоснованы значения критерия эффективности солнечно-теплонасосной установки.

**Практические результаты исследования** состоят в следующем:

получена графическая зависимость эффективности солнечных тепловых коллекторов и коэффициента замещения ими тепловой нагрузки от изменения отношения прихода солнечной радиации к разнице температур нагретого в них теплоносителя и наружной температуры воздуха для определения эффективных зон применения гелиоприставки, образуемых на пересечении между прямыми этих показателей;

разработан метод предварительного проектирования рациональных параметров гелиосистем применительно к температурным режимам технологических участков топливных котельных;

разработан метод расчета технических параметров оптимальных перепадов температуры в элементах теплопередачи тепловых насосов;

определены экономически целесообразные параметры комплекса «здание + тепловой насос + солнечная установка + окружающая среда» как единой эксергетической системы схемы теплоснабжения.

**Достоверность результатов исследования.** Достоверность результатов исследования подтверждается использованием средств вычислительной и измерительной техники для получения экспериментальных данных на функционирующих установках, и расчетов на основе современных методов эксергоэкономического анализа для оптимизации параметров солнечных установок и тепловых насосов в системах теплоснабжения, а также, сопоставлением результатов исследования с известными техническими решениями.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.** Научная значимость исследований подтверждается на основе того, что разработанные технические решения и разработанные методики вносят научные дополнения в существующие теории и практики использования солнечной установки при производстве тепловой энергии для повышения эффективности традиционных и альтернативных систем теплоснабжения, а также оптимизационных расчетов параметров комбинированного применения теплоисточников.

Практическая значимость полученных результатов исследований состоит в разработке схем применения солнечных приставок к традиционным и альтернативным теплоисточникам и методик определения рациональных параметров и режимов работы установок при предварительном проектировании систем теплоснабжения зданий, что позволяет существенно повысить их эффективность и снизить расходы топлива. Создана лабораторная солнечно-теплонасосная установка при Ташкентском государственном техническом университете и подтверждена её эффективность, что позволяет использовать её в учебных целях подготовки специалистов по работе с тепловыми насосами, которые до настоящего времени в теплоснабжении зданий республики не применялись.

**Внедрение результатов исследования.** На основе результатов исследований по обоснованию параметров и режимов работы солнечной приставки к котельной и тепловому насосу:

получен патент на полезную модель FAP 01934-2022 «Автономная система тепло- и холодоснабжения» на схему теплового насоса, работающего за счет низкоуровневого тепла, вырабатываемого солнечным устройством. В результате удалось разработать устройство для надежного и высокоэффективного автономного отопления и охлаждения зданий;

внедрена схема и методика проектирования на котельной «Чукурсай» схемы и параметров солнечной приставки к котельным агрегатам (справка Унитарного предприятия «Таштеплоэнерго» №4425-07 от 18.12.2009 года). В результате получено при замещении тепловой нагрузки котельной солнечной

энергией снижение расхода природного газа в объемах 122,6 тысяч кубометров газа в год;

внедрена теплонасосная установка и методика расчета её оптимальных параметров в тепличном хозяйстве МЧЖ “Камай Корасув Лалимиси” Камашинского района Кашқадарьинской области (справка Министерства энергетики Республики Узбекистан №04-11-3406 от 17 мая 2024 года). В результате использование теплового насоса вместо электрообогрева позволяет экономить в годовом объеме 66384 кВт·ч электрической энергии. Общий годовой экономический эффект от внедрения результатов научных исследований составил 329 миллионов сумов.

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследования обсуждены на 3 международных научно-практических конференциях за рубежом.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано всего 32 научные работы, в том числе 2 монографии, 1 патент на изобретение, 1 патент на полезную модель, 20 научных статей в журналах, рекомендованных ВАК Республики Узбекистан для публикации научных результатов диссертаций на научную степень доктора (DSc) технических наук, включая 2 статьи в международном и 18 статей в республиканских журналах, 3 статьи и в сборниках базы Scopus и 3 тезиса международных научно-практических конференций, 2-х авторских свидетельств на программные продукты ЭВМ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений, общий объем работы составляет 161 страницу.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Во введении** обоснованы актуальность и востребованность научно-исследовательской работы, сформулированы цель и задачи, указаны объект и предмет исследования, представлено соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, изложена научная новизна и практические результаты исследований, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыта теоретическая и практическая значимость результатов исследования, предоставлена информация о внедрении результатов исследования, публикациях и структуре диссертации.

В первой главе диссертации «**Вопросы применения в теплоснабжении топливно-солнечных установок и тепловых насосов**» рассматриваются наиболее распространённые схемные решения использования технологии предварительного подогрева воды гелиоприставкой на коммунальных котельных. Проанализированы преимущества и недостатки действующих солнечно-топливных котельных, сезонная продолжительность их использо-

вания. Показана структура установленных в настоящее время гелиоустановок Узбекистана по признаку назначения. Наибольшее количество гелиоустановок установлены на солнечно-топливных котельных 4756 м<sup>2</sup> (28,9 %). Преимуществом является использование имеющегося на теплоисточнике котлооборудования и наличие оперативного персонала для правильного обслуживания гелиоустановки.

В процессе анализа были оценены принятые в демонстрационном проекте 2002 года эксплуатационные характеристики солнечной приставки на котельной «Сувсоз» Бектемирского района г.Ташкента при реализованных технических решениях с позиций их теплотехнической эффективности, удобства осуществления эксплуатации. Она имеет преимущества солнечно-топливных систем по сравнению с автономными солнечными системами: нагрев в солнечных водонагревателях наиболее холодной среды и соответственно достижение наиболее высокого КПД использования солнечной энергии и большей продолжительности рабочего сезона. Выполненный анализ показал возможность дальнейшего совершенствования режимов работы солнечной приставки к котельной и повышения её энергетических характеристик.

Проанализированы тенденции европейского рынка тепловых насосов, направленные в сторону роста доли сегмента установки на существующих зданиях, что говорит об увеличивающейся потребности данного вида теплоснабжения. При этом возрастает единичная мощность теплонасосов, разработанных для замещения при использовании их в теплоснабжении электронагревательного и котлового оборудования для средних по энергопотреблению объектов. Исходя из сказанного, выполнять сравнительный анализ теплового насоса с параметрами ТЭЦ целесообразно при выработке тепловой энергии с температурой конденсации равной 100°С.

Централизованное теплоснабжение республики отличается низкой энергетической эффективностью. Проанализированы объемы сбросной низкопотенциальной теплоты при эксплуатации локальной котельной за годовой период, возможные для использования термотрансформации на теплонасосных установках. Приведенные расчеты показывают, что при включении теплонасосной установки в схему теплоснабжения открытого типа происходит экономия работы энергоресурсов на котельной. Колебания температуры сетевой воды в обратном трубопроводе от 39°С до 34°С ведет к сокращению объемов сэкономленного топлива с 251,68 до 245,16 кг/ч.

После обзора, представленного в этой главе, был определен ряд ключевых потребностей в исследованиях, необходимых для более эффективного проектирования, исследования и внедрения различных технологий комбинированной солнечно-теплонасосной системы:

- Определение наилучшего схемного соединения между солнечным коллектором и контуром теплового насоса (последовательное, параллельное,

гибридное) на основе различных типов солнечных коллекторов и тепло насосов,

- Оптимизация существующих схемных решений солнечно-теплонасосной системы для повышения производительности и сокращения задержек теплопередачи.

Во второй главе диссертации «**Экспериментальные исследования эффективности гелиоприставок, режимов и схем подключения к системам теплоснабжения**» приводится анализ режимов комбинированных систем теплоснабжения. При предварительном проектировании комбинированных гелиоприставок к топливной котельной уточняется местоположение теплоисточника, потребности в тепловой энергии, наличие открытых площадей. При заданном отношении между потребностями в горячей воде и обогревом зданий требуется определить рациональное замещение гелиоприставкой тепловой нагрузки котельной и схему её подключения. При проектировании решается многовариантная задача оптимизации площади гелиоустановки, при условиях производства наибольшего количества тепла и допустимо наименьших расходах.

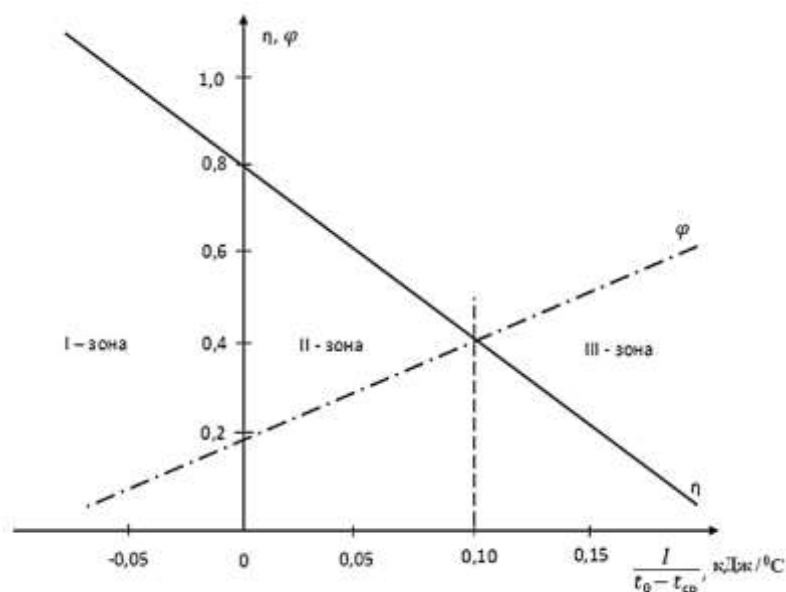


**Рис.1. Анализ суточной теплопроизводительности трубчато-вакуумированных и плоских гелиоколлекторов в холодный период года**

Обеспечивая высокую эффективность теплопоступлений от солнечных коллекторов, возможно проектировать меньшую площадь гелиоустановки, уменьшая тем самым расходы на закупку и строительные-монтажные работы. Эффективность солнечного теплоприемника с большой вероятностью определяется коэффициентом теплопередачи на поверхности внутренних каналов абсорбера солнечного коллектора  $k_{np}$ , что напрямую зависит от

скорости движения теплоносителя – его расходу. Согласно опыту эксплуатации данных систем, наилучшей скоростью потока теплоносителя для последовательно подключенных друг к другу коллекторов является диапазон от 0,03 до 0,07 м<sup>3</sup>/час.

Проведены исследования показателей теплопроизводительности различных типов коллекторов. Прежде всего особое внимание было направлено на сравнение работы современного трубчато-вакуумированного и плоского солнечного коллектора для нужд нагрева воды в холодный зимний период (рис.1).



**Рис. 2. Области работы системы топливной котельной с гелио-приставкой в зависимости от режимных параметров, определяющих их эффективность  $\eta$  и коэффициент годового замещения топлива  $\varphi$ .**

I зона – термонейтральная; II зона – автономная; III зона – круглогодичная.

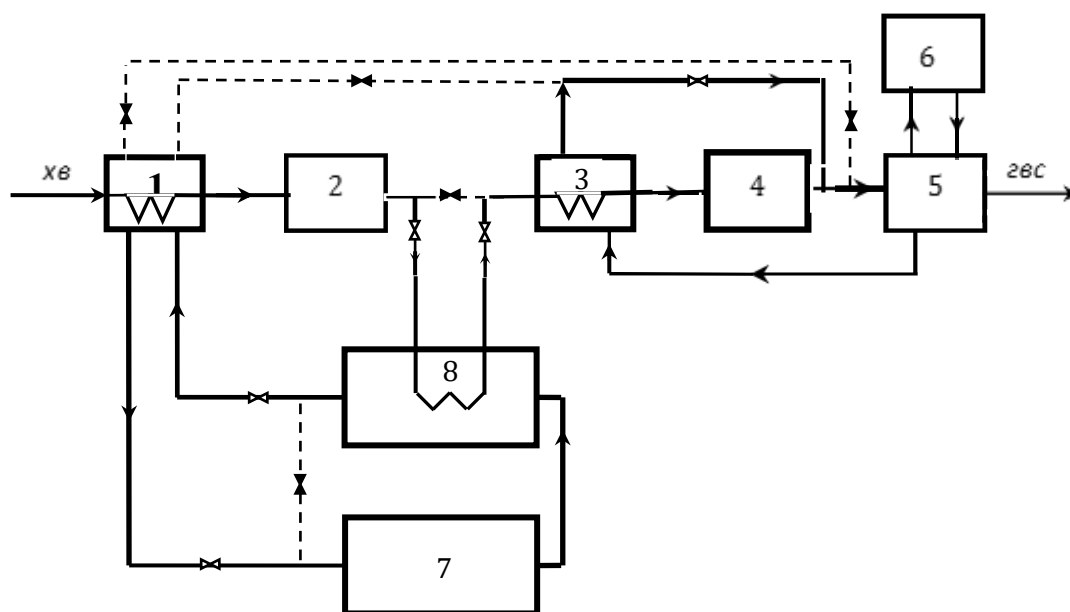
При определении режимов эксплуатации системы комбинированной солнечно-топливной котельной по степени энергетической эффективности определяющими параметрами являются КПД системы  $\eta$  и коэффициент годового замещения топлива  $\varphi$ , устанавливающий долю солнечной энергии в покрытии общей тепловой нагрузки системы теплоснабжения.

Эти величины имеют противоположную зависимость от режимных параметров системы солнечного теплоснабжения (рис.2), основным из которых является отношение температурного перепада между средней температурой теплоносителя в солнечных коллекторах  $t_{cp}$  и температурой окружающего воздуха  $t_0$  к плотности солнечной радиации  $I$  в плоскости коллектора.

Исследования рабочих процессов в солнечных системах теплоснабжения (рис.2) показывают возможность повышения эффективности их работы путем снижения температуры теплоносителя на входе коллекторов.

При ранжировании системы комбинированной солнечно-топливной котельной по степени энергетической эффективности определяющими параметрами являются КПД системы  $\eta$  и коэффициент годового замещения топлива  $\varphi$ , определяющий вклад солнечной энергии в общую тепловую нагрузку.

Эти величины имеют противоположную зависимость от режимных параметров системы солнечного теплоснабжения, основным из которых является отношение температурного перепада между средней температурой теплоносителя в солнечных коллекторах  $t_{cp}$  и температурой окружающего воздуха  $t_o$  к плотности солнечной радиации  $I$  в плоскости солнечного коллектора. При равенстве указанного режимного параметра нулю, то есть, когда  $t_{cp} = t_o$  (I зона), конвективные потери теплоты солнечных коллекторов в окружающую среду отсутствуют. Такой режим называют термонейтральным.



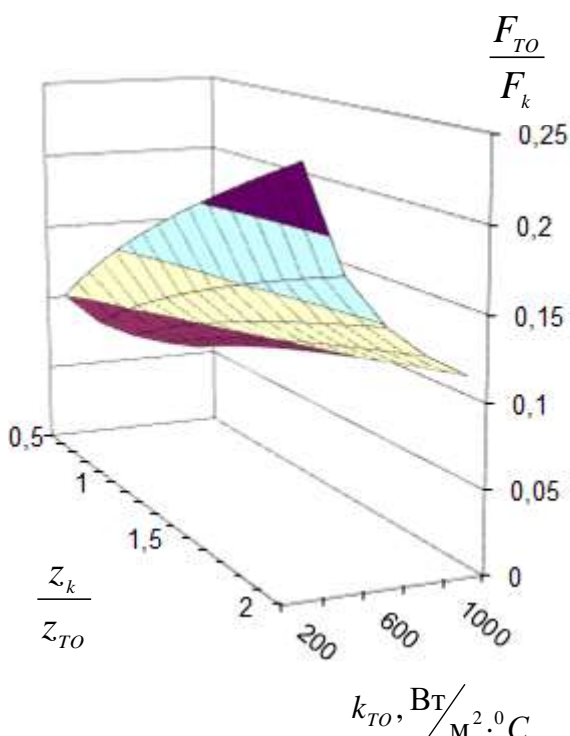
**Рис. 3. Усовершенствованный вариант схемы солнечно-топливной котельной с двухконтурной гелиоприставкой:** 1-теплообменный аппарат для исходной воды; 2-узел химводоподготовки; 3- теплообменный аппарат после ХВО; 4- деаэрактор; 5-бак ГВС; 6-котельная; 7-гелиополе; 8- теплообменный аппарат догрева перед подачей потребителю.

В известной схеме, применяемой в топливных котельных Узбекистана, технологическая линия теплоисточника предполагает при подготовке горячей воды стадии нагрева: исходной воды в теплообменнике 1 «сырой воды» от  $5 \div 10^\circ\text{C}$  до  $20^\circ\text{C}$  перед блоком химводочистки (ХВО) 2 в Na-катионитовых фильтрах; дальнейший подогрев в теплообменнике ХВО 3 до  $56^\circ\text{C}$  перед её деаэрацией в вакуумных устройствах - 4; накопление в аккумулирующих баках (АКБ) 5 после догрева котлами 6 до температуры  $65^\circ\text{C}$  и далее обеспечивается подача в теплосеть к потребителю.

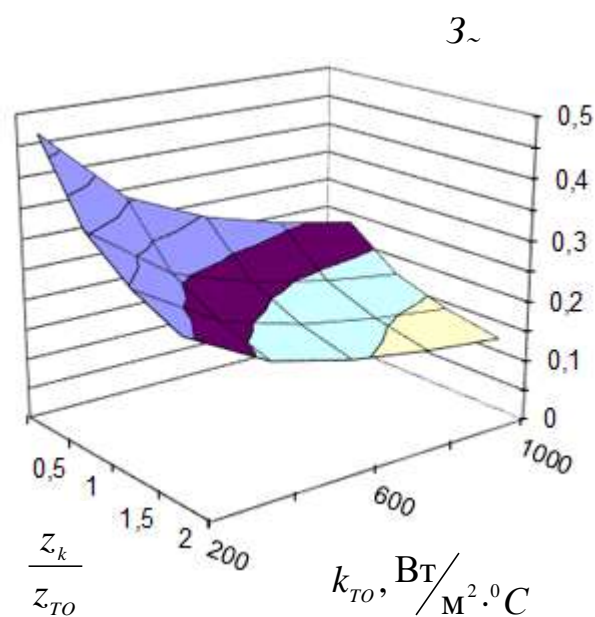
В АКБ 5 поступает вода из обратного трубопровода, перемешиваясь с водой, прошедшей химводоподготовку. Врезка в технологическую линию осуществлена между блоком химводоочистки 2 и теплообменником ХВО 3, чтобы обеспечить нагрев от 20°C до 30÷40°C в летний период от гелиополя 7 через теплообменник гелиоконтура 8. Предложенное усовершенствование данной схемы позволяет увеличить её эффективность.

Так, если в контур гелиополя 7 последовательно включить теплообменник 1 и обеспечить вместо котловой воды нагрев теплоносителя от теплообменника гелиоконтура 8, то будет обеспечиваться дополнительная экономия топливных ресурсов на котельной при использовании гелиоприставки. Данная схема (рис.3) учитывает термонеutralный режим от окружающей среды при эксплуатации гелиоприставки.

В третьей главе диссертации «Методика технико-экономического расчета оптимальных параметров гелиотехнической приставки к топливной котельной комбинированных систем теплоснабжения» приводятся выведенные математические выражения моделирования параметров двухконтурных гелиоприставок к котельной, которое включает оптимизацию соотношения поверхности нагрева промежуточного теплообменника и площади гелиополя (рис.4) по формуле (1)



**Рис. 4. Зависимость соотношения площадей промежуточного теплообменника и солнечного коллектора двухконтурной системы от теплотехнических характеристик и соотношения приведенных затрат.**



**Рис. 5. Зависимость переменной части затрат от теплотехнических свойств и приведенных затрат двухконтурной системы гелиоустановки**

$$\left(\frac{F_{TO}}{F_k}\right)_{optimum} = \sqrt{\eta_{ТП} \cdot \frac{k_{np}}{k_{TO}} \cdot \frac{z_k}{z_{TO}}} - \eta_{ТП} \cdot \frac{k_{np}}{k_{TO}}, \quad (1)$$

где  $\eta_{ТП}$  - коэффициент тепловой эффективности солнечных абсорберов, используемых в гелиоприставке к теплоисточнику.

Для полученной характеристики величина соотношений приведенной теплотехнической характеристики гелиополя к коэффициенту теплопередачи промежуточного теплообменника  $\frac{K_{np}}{k_{TO}}$  оказывает значительное влияние на выбор оптимального значения площади поверхности нагрева теплообменника. На коэффициент теплопередачи теплообменника  $k_{TO}$  в основном влияет плотность применяемого в системе антифриза и теплотехнические свойства используемого материала для теплообменника.

Для переменной части затрат на гелиоприставку комбинированной установки с учетом значений  $\frac{F_{TO}}{F_k}$  получено математическое выражение

$$Z_{\sim} = z_{TO} \cdot F_{TO} + z_k \cdot F_k \cdot \frac{\eta_{ТП} \cdot k_{np} \cdot F_k}{k_{TO} \cdot F_{TO} + \eta_{ТП} \cdot k_{np} \cdot F_k} \quad (2)$$

На рис.5 показана зависимость  $Z_{\sim}$  от соотношения удельных стоимостей теплообменника  $z_{TO}$  и солнечного коллектора  $z_k$ , а также изменения коэффициента теплопередачи промежуточного теплообменника.

Характеристикой энергетического оборудования, связанного с использованием солнечной энергии, является, в частности, для солнечных приставок к теплоисточникам, работа в условиях изменчивости поступления инсоляции и температурный режим наружного воздуха.

Отсюда вытекает задача получения формулы для расчета коэффициента замещения солнечной энергией нагрузки теплоисточника в системах ГВС. При этом учитывается влияние параметров окружающей среды, оптико-конвективные характеристики гелиооборудования и сантехники, технологические параметры схемных решений, проектируемых гелиоприставок к котельным.

Полученное выражение

$$\varphi = \frac{\eta_{звс} [\eta_{онт} q_{над}^{\Sigma} + K_{np} (t_o - t_{хов})]}{(G_{уд} c_p + 0.5 \eta_{звс} K_{np}) (t_{зв}^m - t_{хв})} \quad (3)$$

позволяет определить расчетным путем коэффициент замещения тепловой нагрузки гелиотехнической части комбинированных топливных теплоисточников с учетом оптико-технической ( $\eta_{онт}$ ) и теплотехнических характеристик солнечной приставки и сантехнического оборудования ( $\eta_{ГВС}, K_{np}$ ), удельных объемов ( $G_{уд}$ ), температуры сырой ( $t_{хв}$ ), химически подготовленной ( $t_{хов}$ ) и горячей ( $t_{зв}^T$ ) воды по технологической линии

теплоисточника при любых изменениях температуры наружного воздуха ( $t_o$ ) и прихода суммарной солнечной радиации ( $q_{nad}^{\Sigma}$ ).

Следующей задачей оптимизации стало получение выражения площади солнечных приставок двухконтурного типа комбинированных теплоисточников в отличие от автономных гелиосистем теплоснабжения, а также получение зависимости удельной площади ( $F_{гп}^{yд}, м^2/чел$ ), необходимой для ГВС от температурного режима подогрева воды гелиоприставки ( $\Delta t_{me}^{zn}$ ).

$$F_{zn}^{yд} = \frac{\left(\frac{1}{\eta_{mn}} + \frac{K_{np}}{K_{mo}} f_{onm}\right) G_c^{yд} \rho C_p \overline{\Delta t_{me}^{zn}}}{\left(\bar{\eta}_o - K_{np} \frac{0.5 \Delta t_{me}^{zn} + t_{xov} - t_o}{\bar{q}_{nad}^{\Sigma}}\right) \bar{q}_{nad}^{\Sigma} Z_{он}} \quad (4)$$

где  $G_c^{yд} = 100$  л/чел.сут - дневная норма потребления горячей воды на одного человека;  $\rho$  и  $C_p$  - соответственно, плотность и изобарная теплоемкость нагретой воды;  $Z_{он} = 8$  часов - период прихода инсоляции за день.

Представленная методика схемно-параметрической оптимизации позволила сравнить энергетические характеристики усовершенствованной (рис.3) и традиционной схем двухконтурной гелиоприставки:

- оптимальное соотношение поверхности нагрева промежуточного теплообменника и площади гелиополя составляет 0,1;

- коэффициент замещения тепловой нагрузки солнечной энергией  $\varphi$  увеличился с 0,4 до 0,6;

- тепловая эффективность  $\bar{\eta}$  солнечного коллектора для предлагаемой схемы топливной котельной с гелиоприставкой в летний день увеличилась с 0,654, до 0,702;

- расчетное удельное значение площади гелиополя  $F_{zn}^{yд}$  уменьшилось с 0,665 м<sup>2</sup> на одного жителя пропорционально увеличению её эффективности и принимается равным 0,619 м<sup>2</sup> на одного жителя.

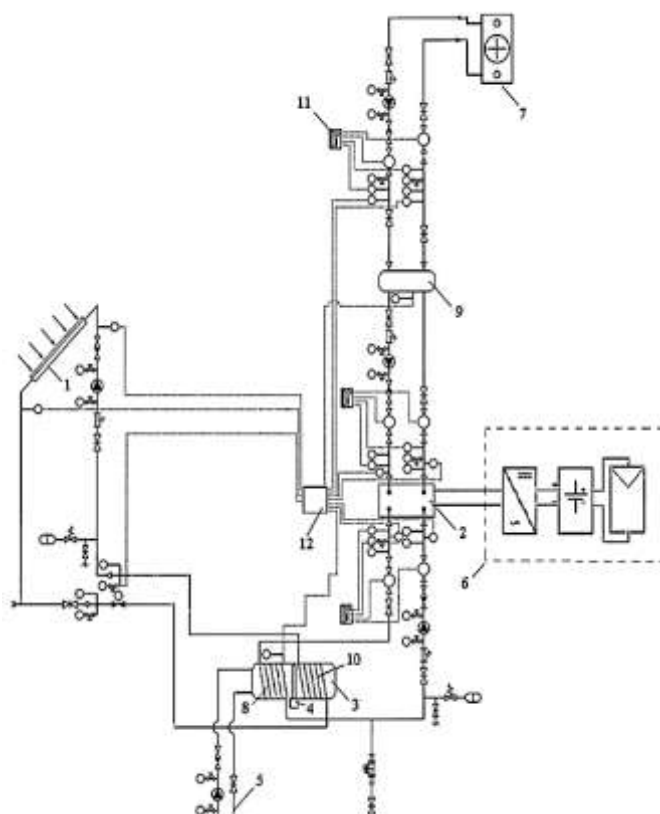
В четвертой главе диссертации «**Экспериментальные исследования на опытной солнечно-теплонасосной установке теплоснабжения**» представлены исследования на разработке, установленной в лаборатории ТГТУ (рис.6). Преимуществом является замена, требующая больших капитальных вложений на укладку грунтового контура в землю для теплового насоса. Это достигается использованием относительно недорогого низкопотенциального источника от гелиоустановки, благодаря накоплению энергии солнечной инсоляции при нагреве воды в аккумулирующих бака до температуры не менее +7<sup>0</sup>С в морозный период года.

Солнечно-теплонасосная система (рис.7) имеет соответственно: гелиоустановку 1 осуществляющую, подогрев воды, в том числе для теплового насоса 2, в аккумулирующем баке 3. Оба располагаются внутри помещения. Для создания непрерывного теплообмена между контурами в них располагаются насосы, обеспечивающие циркуляцию теплоносителя. Аккумулирующий нагретую воду бак 3 параллельно может получать энергию

для нагрева воды от ТЭНа 4 и передавать горячую воду к системе ГВС потребителя 5. Компрессор теплового насоса 2 запитывается электроэнергией, вырабатываемой солнечной фотоэлектрической станцией 6. Помимо этого, контур теплового насоса 2 имеет выход через конденсатор в виде подключения к жидкостному воздушонагревателю 7. Испаритель теплонасосного агрегата 2 подключен через промежуточный теплообменник 8 в теплоаккумулятор 3.



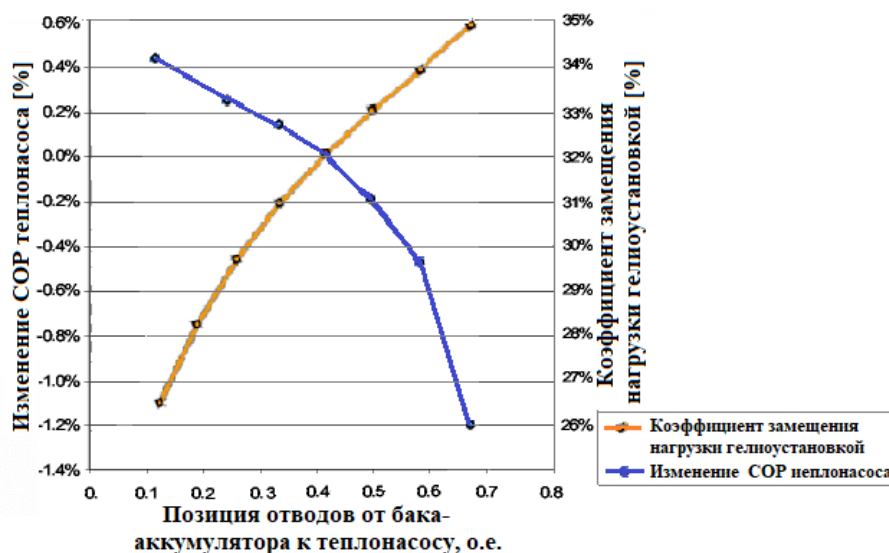
**Рис. 6. Элементы лабораторной теплонасосной установки с использованием тепла, вырабатываемого от солнечной энергии**



**Рис. 7. Схема комбинированной лабораторной теплонасосной установки с использованием солнечного тепла.**

Выходной контур теплонасосного агрегата 2 дополнительно оборудован гидробуферным баком 9 для защиты от теплового расширения рабочего тела. Контур системы солнечного водонагрева 1 замкнут на общий аккумулирующий тепловую энергию бак 3 посредством теплообменника 10.

Процесс циркуляции теплоносителя в контурах находится под контролем автоматики или крайний случай для оперативного управления персоналом. В систему автоматического контроля и управления теплопередающими процессами входят расходомеры воды. Также имеются температурные сенсоры в виде термодатчиков сопротивления, прикрепленных на трубах подачи и обратки тепловых контуров, подключенных к тепловым счетчикам 11, куда поступает информация о расходе теплоносителя.

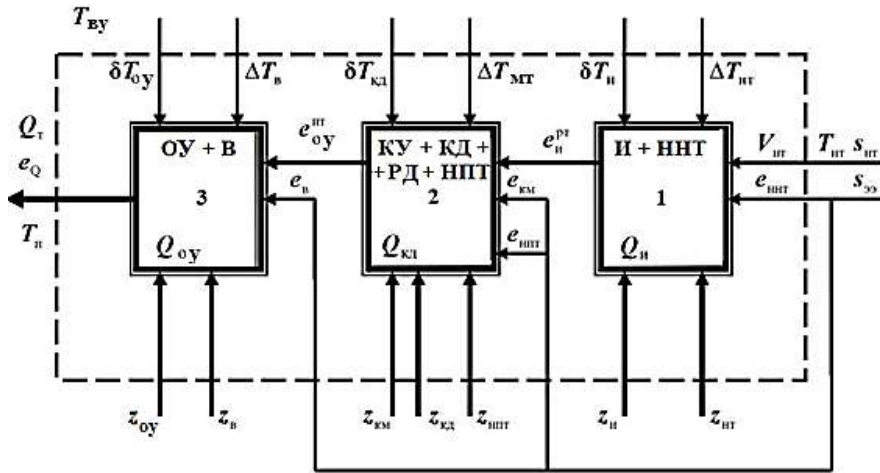


**Рис.8. Изменения коэффициентов покрытия теплонагрузки гелиоустановкой и коэффициента преобразования теплонасоса от высоты положения выводов из аккумулирующего бака в контур теплонасоса**

Целесообразно при оптимизации солнечно-теплонасосной установки выявить рациональное положение выводов из аккумулирующего бака в контур теплового насоса, применительно к эффективности гелиоустановки и коэффициента преобразования теплонасоса. Это происходит, когда в их контуры поступает вода после отбора тепловой энергии более низкой температуры. Это отражено на рис.8, при этом показано изменение коэффициента преобразования теплонасоса ( $COP$ ) и коэффициента покрытия нагрузки гелиоустановкой в %. При расположении этих отводов выше коэффициент преобразования теплонасоса возрастает. При увеличении расстояния от нижней части эффективность гелиоустановки наоборот возрастает. Вследствие чего, на пересечении этих энергетических показателей удастся определить наиболее рациональное положение отводов из аккумулирующего бака в контур теплонасоса. Оптимальное значение находится на относительной высоте аккумулирующего бака 0,4.

В пятой главе «**Эксергоэкономическая оптимизация схем солнечных тепловых установок с теплонасосными системами теплоснабжения**» рассматриваются технико-экономические вопросы анализа представленной в

4-ой главе разработки на основе понятия эксергии. Эксергия является частью энергии любого типа и дает возможность при существующих условиях окружающей среды показать её возможности преобразования для совершения работы  $e_Q$ . В обратимом термодинамическом цикле на неё затрачивается тепловая энергия  $Q$  от теплоносителя с температурой  $T$  с учетом превышения внешних условий, в частности, температуры.



**Рис. 9. Топологическая схема эксергоэкономической модели теплонасоса**

При эксплуатации теплонасоса происходят главным образом тепловые преобразования, отраженные на рис. 9. Поэтому для поиска оптимальных параметров остановимся на температурных перепадах последовательно от низкопотенциального теплоносителя через испарительный теплообменник  $\delta T_{и}$ , конденсаторный теплообменник  $\delta T_{кд}$  и обогревательное устройство  $\delta T_{оу}$ . Также от температурных потерь теплоносителя низкого потенциала в испарительном теплообменнике  $\Delta T_{нт}$ , межконтурного хладагента  $\Delta T_{мт}$  в конденсаторном теплообменнике  $\Delta T_{кд}$  и воздуха в обогревательном устройстве  $\Delta T_{в}$ .

Представленные величины выступают в качестве связующих звеньев между процессами в тепловом насосе при установленных температурах обогреваемого помещения  $T_{п}$ , внешних условий  $T_{в}$  и источника тепла низкого потенциала  $T_{нт}$ .

Величина эксергии, подводимая межконтурным теплоносителем к теплообменнику обогревательного устройства, равняется сумме эксергий воздушного потока  $e_{оу}^B$  и эксергетических потерь при этом  $d_{оу}$

$$e_{оу}^{MT} = e_{оу}^B + d_{оу} = Q_{оу} \cdot \left(1 - \frac{T_{в}}{\bar{T}_B^{оу}}\right) + Q_{оу} \cdot \left(\frac{T_{в}}{\bar{T}_B^{оу}} - \frac{T_{в}}{\bar{T}_{нт}^{оу}}\right) = Q_{оу} \cdot \left(1 - \frac{T_{в}}{\bar{T}_{нт}^{оу}}\right), \quad (5)$$

где  $\bar{T}_B^{оу}$  — усредненные значения температуры воздуха в помещении;  $\bar{T}_{нт}^{оу}$  — усредненные значения температуры межконтурного теплоносителя в обогревательном устройстве.

Усредненное значение температуры межконтурного теплоносителя в обогревательном приборе

$$\bar{T}_{\text{MT}}^{\text{OY}} = \bar{T}_{\text{B}}^{\text{OY}} + \delta T_{\text{OY}} = T_{\text{П}} + \frac{H_{\text{B}}}{\rho_{\text{B}}^{\text{ВЕНТ}} \cdot c_{\text{B}}^{\text{ВЕНТ}} \cdot \eta_{\text{B}} \cdot \eta_{\text{ДВ}}} + \frac{\Delta T_{\text{B}}}{2} + \delta T_{\text{OY}}, \quad (6)$$

где  $H_{\text{B}}$  - воздушный напор от вентилятора обогревательного устройства, Н/м<sup>2</sup>;  $\rho_{\text{B}}^{\text{ВЕНТ}}$  - плотность нагретого воздушного потока в вентиляторе обогревательного устройства, кг/м<sup>3</sup>;  $c_{\text{B}}^{\text{ВЕНТ}}$  - изобарная теплоемкость воздуха в вентиляторе обогревательного устройства, кДж/(кг·°С);  $\eta_{\text{B}}$  - коэффициент эффективности вентилятора обогревательного устройства;  $\eta_{\text{ДВ}}$  - коэффициент эффективности электропривода вентилятора, включая КПД передачи.

Уравнение (5) преобразуется

$$e_{\text{OY}}^{\text{MT}} = \frac{e_{\text{Q}}}{\left(1 - \frac{T_{\text{BY}}}{T_{\text{П}}}\right)} \cdot \left(1 - \frac{T_{\text{BY}}}{T_{\text{П}} + \frac{H_{\text{B}}}{\rho_{\text{B}}^{\text{ВЕНТ}} \cdot c_{\text{B}}^{\text{ВЕНТ}} \cdot \eta_{\text{B}} \cdot \eta_{\text{ДВ}}}} + \frac{\Delta T_{\text{B}}}{2} + \delta T_{\text{OY}}\right) \cdot \left[1 - \frac{H_{\text{B}}}{\rho_{\text{B}} \cdot c_{\text{B}} \cdot \Delta T_{\text{B}} \cdot \eta_{\text{B}} \cdot \eta_{\text{ДВ}} + H_{\text{B}}}\right] \quad (7)$$

где  $\rho_{\text{B}}$  - плотность воздуха в обогревательном устройстве, кг/м<sup>3</sup>;  $c_{\text{B}}$  - изобарная теплоемкость воздушного потока в обогревательном приборе, кДж/(кг·К).

Удельные общие ставки отчислений от цены вентилятора обогревательного устройства:

$$z_{\text{B}} = \frac{(k_{\text{НВ}} + k_{\text{РВ}})}{\tau} \left( C_{\text{B}}^{\text{б}} + C_{\text{B}}^{\text{уд}} \frac{e_{\text{Q}} \cdot \eta_{\text{B}} \cdot \eta_{\text{ДВ}}}{\left(1 - \frac{T_{\text{BY}}}{T_{\text{П}}}\right) (\rho_{\text{B}} \cdot c_{\text{B}} \cdot \Delta T_{\text{B}} \cdot \eta_{\text{B}} \cdot \eta_{\text{ДВ}} + H_{\text{B}})} \right) \quad (8)$$

где  $k_{\text{НВ}}$  - норма отчислений от цены вентилятора обогревательного прибора;  $k_{\text{РВ}}$  - норма отчислений на амортизацию и ремонт от цены вентилятора обогревательного устройства;  $C_{\text{B}}^{\text{б}}$  - базовая цена вентилятора обогревательного устройства, тыс.сум;  $C_{\text{B}}^{\text{уд}}$  - удельная цена вентилятора обогревательного устройства, тыс.сум/(м<sup>3</sup>/ч).

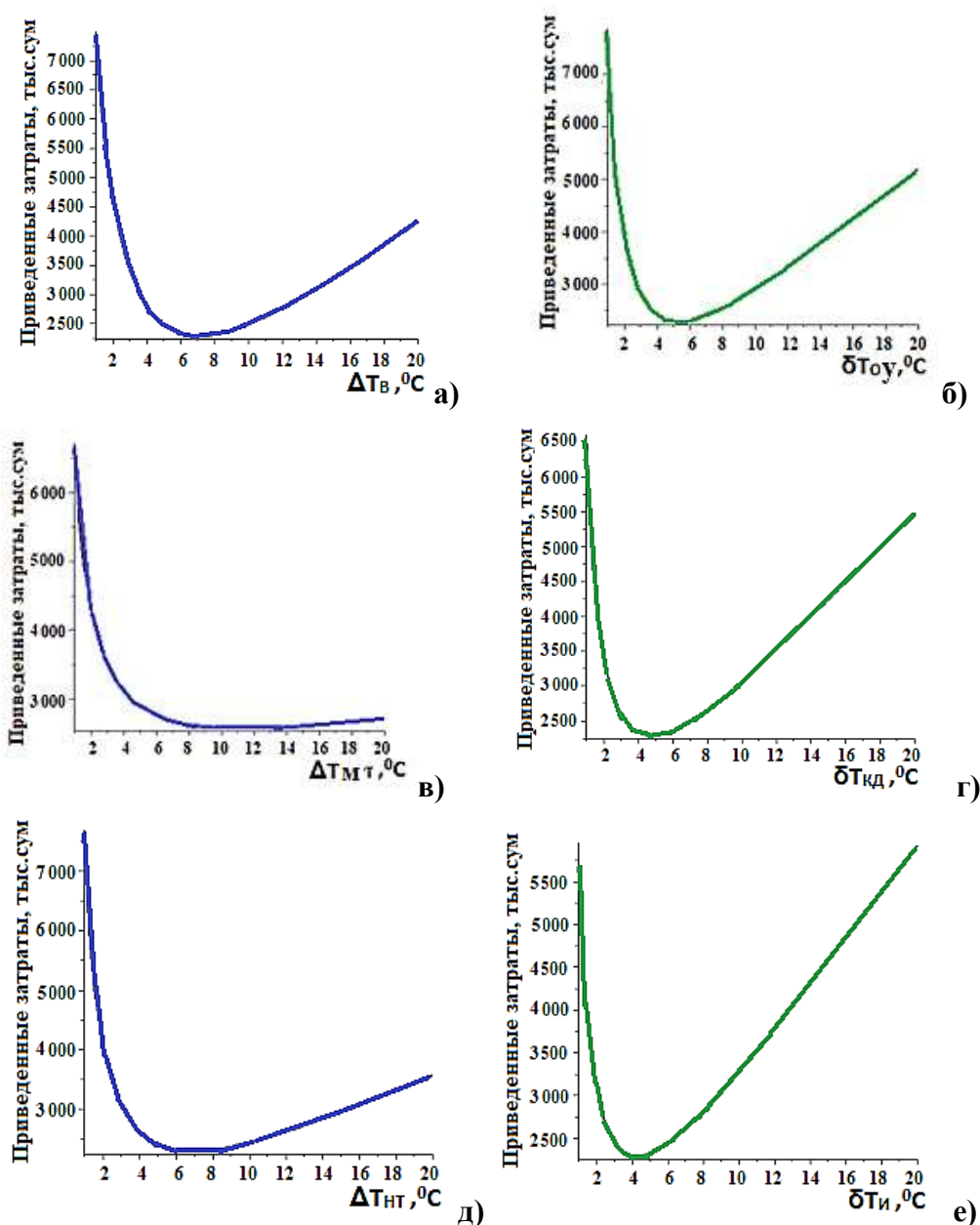
Принимая во внимание допущения и принятые обозначения, при поиске для стационарного режима функционирования теплового насоса целевая функция - величина приведенных затрат эксергии рассчитывается

$$PZ = [s_{\text{ЭЭ}} \cdot (e_{\text{KM}} + e_{\text{Инт}} + e_{\text{НПТ}} + e_{\text{В}}) + s_{\text{НТ}} \cdot V_{\text{НТ}} + z_{\text{KM}} + z_{\text{И}} + z_{\text{ННТ}} + z_{\text{КД}} + z_{\text{НПТ}} + z_{\text{OV}} + z_{\text{B}}] \quad (9)$$

При вычислении минимума дифференциальные функции приведенных затрат эксергии (9) по оптимизирующим параметрам сводятся к нулю

$$\frac{\partial PZ}{\partial \Delta T_{\text{B}}} = 0, \quad \frac{\partial PZ}{\partial \delta T_{\text{OY}}} = 0, \quad \frac{\partial PZ}{\partial \Delta T_{\text{MT}}} = 0, \quad \frac{\partial PZ}{\partial \delta T_{\text{КД}}} = 0, \quad \frac{\partial PZ}{\partial \Delta T_{\text{ИТ}}} = 0, \quad \frac{\partial PZ}{\partial \delta T_{\text{И}}} = 0 \quad (10)$$

Для расчета по выражениям (5-10) был применен итерационный метод, учитывающий изменения теплофизических характеристик рабочего хладагента и теплоносителей в зависимости от изменения температуры.



**Рис.10. Приведенные эксергетические затраты для оптимизируемых теплотехнических показателей.**

Оптимизационные расчеты теплотехнических параметров парокомпрессионного теплового насоса по составленной эксергоэкономической расчетной модели проводились при следующих начальных данных:

$Q_{\text{п}} = 4$  кВт - тепловая мощность теплового насоса для теплоснабжения потребителя;  $T_0 = -7$  °C - минимальная температура наружного воздуха;  $T_{\text{п}} = 18$  °C - задаваемая температура обогрева комнаты;  $T_{\text{нт}} = 7$  °C - температура среды низкой температуры;  $\Delta T_{\text{ж}} = 5$  °C - значение понижения температуры

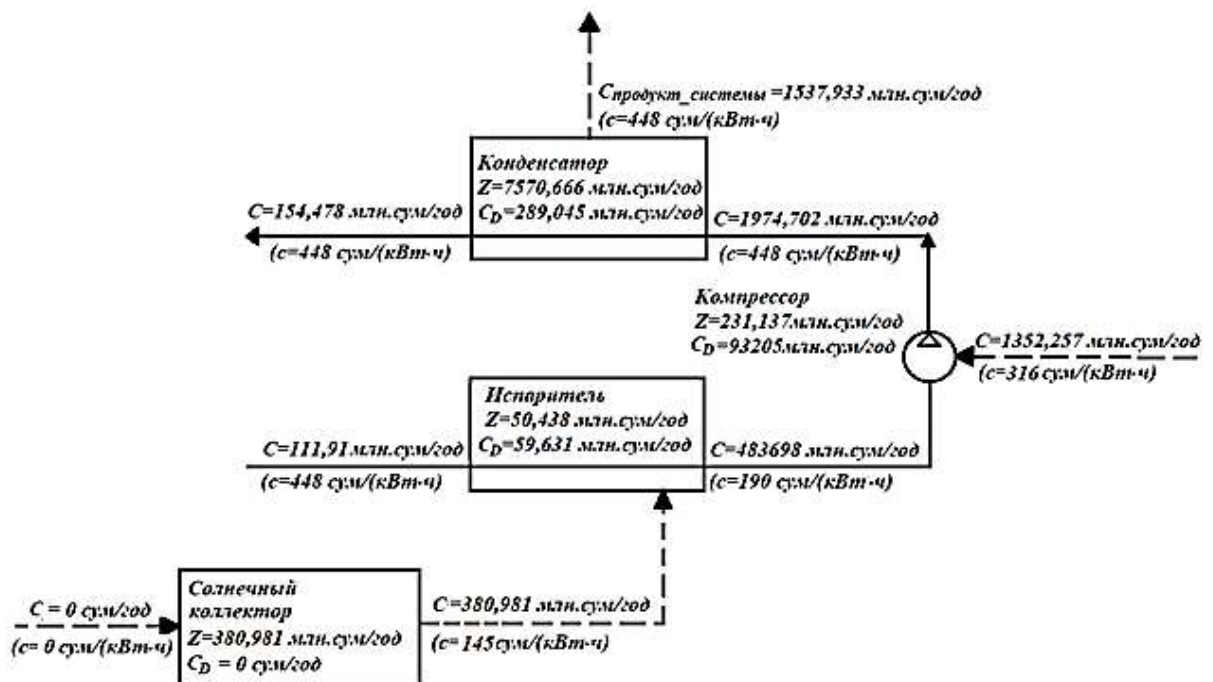
хладогента R134 в конденсаторном теплообменнике;  $\Delta T_{\text{п}} = 5^{\circ}\text{C}$  - значение увеличения температуры хладагента в парообразном состоянии на всасывании компрессора;  $s_{\text{ээ}} = 0,9$  тыс. сум/(кВт·ч) - стоимость электроэнергии;  $\tau = 1448$  часов - продолжительность отопительного периода для Ташкента.

Построены на основе выражений (5÷10) расчетные кривые параболического вида, которые показаны на рис. 10.

Для солнечно-теплоснасосной системы теплоснабжения невозможно выполнить анализ только на основе термодинамического метода, так как значения цены за приход солнечной радиации нет. В этом случае эксергоэкономическую производительность возможно представить по ценам теплообменников, подсоединенных в гелиоконтур.

Источником теплоты низкого потенциала для теплоснасосных установок может служить технологический сброс предприятий энергетического сектора. Так, объемов тепловой энергии, рассеиваемых в настоящее время в окружающую среду от градирных установок ТЭЦ при преобразовании в тепловых насосах, хватит, чтобы обеспечить теплоснабжение крупных населенных пунктов при наружных заморозках до  $-7^{\circ}\text{C}$ .

Исходные параметры вариантов термодинамической составляющей: температура для потребителя  $T=100^{\circ}\text{C}$ ; температура теплоносителя, выходящего из гелиополя  $T_{\text{хол}} = 65^{\circ}\text{C}$ ; тепловая мощность  $Q_K = 2$  МВт.



**Рис. 11. Структурное распределение эксергий и экономических показателей внутри системы теплоснабжения на основе теплоснасосной установки и гелиополя**

Учитывая полученные результаты, составляем потоковую эксергоэкономическую диаграмму теплонасосной системы с гелиополем, представленную на рис.11.

Значения технических показателей параметров элементов теплового насоса и гелиополя отражены характеристикой  $x$  в табл. 1.

**Таблица 1.**

**Характеристика  $x$  при эксергоэкономическом анализе.**

Солнечный коллектор: площадь теплообменной поверхности	4137 м <sup>2</sup>
Компрессор: максимальная мощность	391 кВт
Конденсатор: площадь теплообменной поверхности	86,13 м <sup>2</sup>
Испаритель: площадь теплообменной поверхности	68,6 м <sup>2</sup>
Бойлер: массовый расход жидкого топлива	2700 кг/ч
Концентратор: теплопроизводительность	2000 кВт

По уравнению эксергоэкономический фактор для вариантов

$$f_k = \frac{Z_k}{Z_k + C_{F,k} \cdot (E_{D,k} + E_{L,k})} \quad (11)$$

Оценка эксергии выполняется для элементов системы, с проверкой  $k$ -элемента по приведенным критериям:  $E_{D,k}$  — полная деструкция эксергии, связанная с привнесением внешней энергии в элемент системы теплоснабжения, в данном случае использования электрической энергии;  $E_{L,k}$  — потери эксергии в  $k$ -м элементе системы;  $C_{F,k}$  — стоимость эксергии затрачиваемого топлива;  $Z_k$  — суммарно приведенные капитальные вложения и эксплуатационное обслуживание. Проведем сравнение по этому показателю по расчетным данным таблицы 2.

**Таблица 2.**

**Результаты расчета эксергоэкономического фактора**

Система	$Z_{\text{кап.з}}$ , сум/год	$Z_{\text{экс.з}}$ , сум/год	$F$
1	2690,0	489426,7	0,01
2	3362,7	150857,3	0,022
3	3362,7	192000,0	0,017
4	28013,3	370902,0	0,07
5	49274,0	99430,7	0,331

**В приложении** диссертации приведены результаты климатического районирования территории Узбекистана с учетом характеристик, определяющих энергетические показатели функционирования гелиоустановок для теплоснабжения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований по диссертационной работе доктора наук (DSc) на тему «Повышение эффективности теплоснабжения зданий на основе использования теплового насоса и солнечной энергии» сформулированы следующие выводы:

1. Предложен термонеutralный режим работы гелиоприставки для промежуточного подогрева воды на котельной, в результате чего разработана схема комбинированной топливно-солнечной котельной повышенной эффективности.

2. Предложен на основе экспериментальных исследований переход на использование трубчато-вакуумированных конструкций взамен плоских солнечных коллекторов, в результате это увеличивает период эффективной эксплуатации гелиоустановки в осенне-весенний период с учетом снижения тепловых потерь в окружающую среду с 45 до 20%.

3. Разработана методика схемно-параметрической оптимизации топливно-солнечных котельных. В результате расчетов установлено, что для предлагаемой схемы топливно-солнечной котельной эффективность солнечного коллектора увеличивается с 0,654 до 0,702 в летний период, что обеспечивает снижение требуемой площади солнечных теплоколлекторов на 1-го потребителя горячей воды по нормам потребления с 0,665 м<sup>2</sup>/чел до 0,619.

4. Впервые разработана схема комбинированной с солнечной энергией теплонасосной системы теплоснабжения зданий. На основе полученных результатов экспериментальных исследований системы отопления помещения тепловым насосом с трубчато-вакуумированными коллекторами установлено, что в диапазоне температур 25 °С до 60 °С в баке-аккумуляторе коэффициент преобразования теплового насоса линейно падает от 3,7 до 2,7, а эффективность коллектора увеличивается с 0,375 до 0,535. В результате определено, что высота врезки в бак-аккумулятор промежуточного теплообменника имеет оптимальное значение 0.4 относительно его высоты.

5. Составлен метод расчета оптимальных параметров комбинированной установки солнечных тепловых коллекторов и тепловых насосов на основе эксергоэкономического анализа. В результате установлено на основе расчетов, что для солнечно-теплонасосной установки мощностью 10 кВт оптимальными параметрами являются площадь гелиополя  $S_{ГП} = 20$  м<sup>2</sup>, объем бака-аккумулятора  $V_{БА} = 100$  литров, загрузки теплового насоса  $n = 0,8$ .

6. Установлено на основе результатов проведенного сравнительного анализа с известными системами теплоснабжения теплопроизводительностью 2 МВт, что предлагаемая солнечно-теплонасосная установка имеет наибольшее значение расчетного эксергоэкономического критерия эффективности 0,331.

7. Суммарный годовой экономический эффект внедрения разработок, полученных в рамках данной диссертационной работы 329 млн сум, подтвержденных справками от Министерства энергетики РУз, Министерства высшего образования, науки и инноваций РУз.

**SCIENTIFIC COUNCIL TO AWARDING OF THE SCIENTIFIC  
DEGREES DSc.03/10.12.2019.T.03.03 AT THE TASHKENT STATE  
TECHNICAL UNIVERSITY NAMED AFTER ISLAM KARIMOV**

---

**ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN  
INSTITUTE OF ENERGY PROBLEMS**

**ANARBAEV ANVAR IZATULLAEVICH**

**INCREASING THE EFFICIENCY OF HEAT SUPPLY TO BUILDINGS  
BASED ON THE USE OF HEAT PUMP AND SOLAR ENERGY**

**05.05.04 – Industrial heat power engineering**

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR (DSc)  
ON TECHNICAL SCIENCES**

**Tashkent – 2025**

**The topic of the dissertation of the Doktor (Dsc) in technical Attestation Commission the Ministry and Innovation of the Republic of Uzbekistan under number B2022.1.DSc/T89**

The dissertation has been prepared at Institute of energy problems

The abstract of dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is placed the website of the Scientific Council ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) and at the Information and educational portal «Ziyonet» ([www.ZiyoNet.uz](http://www.ZiyoNet.uz)).

<b>Scientific adviser:</b>	<b>Zakhidov Romen Abdullaevich</b> Doctor of technical sciences, professor, academician
<b>Official opponents:</b>	<b>Uzakov Gulomjon Norboevich</b> Doctor of technical sciences, professor <b>Akhatov Jasurjon Saidovich</b> Doctor of technical sciences, professor <b>Mirzaev Shavkat Mustakimovich</b> Doctor of technical sciences, professor
<b>Leading organization:</b>	<b>JSC “Heat electric project”</b>

Defense of the dissertation will take place in \_\_\_ “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2025 year at-o’clock at a meeting of the scientific council DSc.03/10.12.2019.T.03.03 at the Tashkent state technical university named after Islam Karimov (Address: 2, Universitetskaya Street, Tashkent, 100095. Tel: (+99871) 246-46-00; Fax: (+99871) 227-10-32, email: [tstu\\_info@edu.uz](mailto:tstu_info@edu.uz)).

The dissertation is available at the Information-resource center of the Tashkent state technical university named after Islam Karimov (registration number \_\_\_\_\_). Address: 2, Universitetskaya Street, Tashkent city, 100095. Tel: (+99871) 207-14-70.

Abstract of the dissertation was distributed on “ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 year.  
(Protokol of the delivery No \_\_\_ dated \_\_\_ \_\_\_\_\_ 2025 year)

**K.R.Allaev**

Chairman of scientific council on awarding scientific degrees, doctor of technical sciences, professor, academician

**I.U.Raxmonov**

Scientific secretary of Scientific Council awarding scientific degrees, doctor of technical sciences, professor

**R.P. Babakhodjaev**

Chairman of scientific seminar under scientific council for awarding scientific degrees, doctor of technical sciences, professor

## INTRODUCTION (abstract of the DSc thesis)

**Topicality and relevance of the theme of the dissertation.** In Uzbekistan in the field of heat supply to buildings transition from traditional heat power engineering to the based on the latest achievements of science and technology is necessary. The development of heat supply installations based on alternative and renewable sources of heat energy is important to ensure energy security and to improve the social and living conditions of the population.

**Relevance of the research to the priority fields of science and technology development of the Republic.** The thesis was made in accordance with priority direction of development of science and technology of the Republic of Uzbekistan “Development of the using of renewable energy sources”.

**Review of international research on the topic of dissertation.** Currently, there is a large amount of scientific work in the world in the field of using alternative energy sources on heat sources. Active research is carried out at the Joint Institute for High-Temperature Research of the Russian Academy of Sciences, Kuban State Agrarian University (Russia), Odessa Technological University (Ukraine), Wisconsin University (USA), University of Central Lancashire (UK), Tsinghua University (Beijing, China), Berlin University (Germany), Tashkent State Technical University and the Institute of Energy Problems of the Academy of Sciences (Uzbekistan). On the basis of scientific research in this field have created combined heat pump and solar installations for heating air in room, and their main thermal characteristics have been determined.

**Relevance of the dissertation research to the plans of scientific-research works.** The research was carried out within the framework of the tasks of Institute on energy problems “Comprehensive development of solar hot water supply systems with an electric auxiliary of increased efficiency and reliability”, “Development of highly efficient fuel and solar technologies for the modernization of industrial boiler houses”, “Development of new methods and technical solutions for heat and cold supply systems of production objects”, “Development of efficient solar heat and cold supply systems using heat pumps” of Applied State Research Programs.

**The aim of the research** is the development of energy-efficient technical solutions for the use of solar installations to existing boiler houses and as a source of low-potential heat for heat pump installations in heating of the buildings based on exergoeconomic criteria of heat supply systems.

**The object of research** is heating systems with solar energy installations to replace the hot water supply load in boiler houses and to obtain low-potential heat in heat pumps for alternative heating of buildings.

**The scientific novelty of the research results** obtained in the dissertation is as follows: - the scheme for connecting a solar attachment to a fuel boiler has been developed for increasing the replacement of a heat load by solar energy and an efficiency of solar thermal collectors;- the method for circuit-parametric optimization of solar-fuel boiler houses has been developed depending on the

efficiency of solar thermal installations, taking into account local climatic and technological conditions; - for the first time, a heat pump scheme has been developed that operates from low-potential heat generated by a solar system for the heating system of buildings; - the method of calculation the temperature's regimes of heat transfer in solar heat pump heating system on base exergoeconomic indicators has been developed; - the method of calculation the optimal parameters of combined solar - heat pump installation on base of exergoeconomic analyse's method has been developed; - the efficiency of the proposed solar heat pump system over known heat supply systems on the basis exergoeconomic analyse's method has been determined.

**Practical results of the research are as follows:** - the graphical relationship between the efficiency of solar thermal collectors and their heat load replacement coefficient has been developed; - the method for the preliminary design of rational parameters of solar systems in relation to the temperature conditions of technological sections of fuel boiler houses has been developed; - the method for calculation of technical parameters of optimal temperature differences in heat transfer elements of heat pumps has been developed; - economically feasible parameters of the complex "building+ heat pump + solar installation + environment" as a single exergy system of the heat supply scheme has been determined.

**Implementation of the research results.** Based on the results of studies to justify the parameters and operating modes of the solar installation to the boiler and heat pump: the methodology for designing a scheme and parameters of the solar installation to boiler units was implemented at the Chukursoy boiler house (certificate of the Unitary Enterprise «Tashteploenergo» No. 4425-07 dated 18.12.2009). As a result, a reduction in natural gas consumption was achieved in the amount of 122.6 thousand m<sup>3</sup> per year; the heat pump installation was installed in the greenhouse farm of the LLC "Kamashi Qorasuv Lalimisi" in the Kamashi district of the Kashkadarya region (certificate of the Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan No. 04-11-3406 dated 17.05.2024). The use of a heat pump allows saving 66,384 kW·h per year. The total annual economic impact of the results of scientific research amounted to 329 million soums.

**Approbation of the research results.** The results of the research were discussed at 3 International scientific and practical conferences.

**Publication of results.** The main results of the dissertation are published in 32 research works, including 1 monograph (abroad) and 1 monograph (local), 20 scientific papers in international (2) and republican (18) journals, 3 in proceedings indexed in the Scopus database and 3 in the materials of the international and republican conferences, received 1 patent for invention and 1 patent for utility model and 2 software certificates for computer products.

**The structure and scope of the dissertation.** The dissertation consists of an introduction, five chapters, conclusion, list of references and appendices. The scope of the thesis is 161 pages.

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИЛМИЙ ИШЛАР РЎЙХАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ НАУЧНЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED SCIENTIFIC WORKS**

**I бўлим (I часть, I part)**

1. Короли М.А., Захидов Р.А., Анарбаев А.И. Научные основы схемно-технологической оптимизации комбинированных солнечно-топливных котельных. Монография. Новосибирск: Издательство ЦРНС, 2016. 106 с.

2. Анарбаев А.И. Научные основы эффективного применения тепловых насосов в энергоснабжении предприятий агропромышленного комплекса. Ташкент: Издательство ТИҚХММИ, 2019. 92 с.

3. Анарбаев А.И., Нормуминов Ж.А. Конденсационная котельная установка. Агентство по интеллектуальной собственности при министерстве юстиции Республики Узбекистан. Патент на изобретение № IAP 06421. Зарегистрирован в государственном реестре изобретений Республики Узбекистан. 27.01.2021 г.

4. Анарбаев А.И., Короли М.А. Автономная комбинированная система теплохладоснабжения. Министерство юстиции Республики Узбекистан. Патент на полезную модель № FAP 01934. Зарегистрирован в государственном реестре полезных моделей Республики Узбекистан. 29.04.2022 г.

5. Авезов Р.Р., Анарбаев А.И., Захидов Р.А. Моделирование двухконтурных систем солнечного теплоснабжения // Международный научный журнал «Гелиотехника», 2004. №2. С.35-40 (05.00.00.№1).

6. Короли М.А., Анарбаев А.И. Инженерный метод расчета теплопроизводительности гелиосистем солнечно-топливных систем // Научно-технический журнал «Вестник ТашГТУ». г.Ташкент 2005 г. (Спецвыпуск). С.238-241 (05.00.00. №16).

7. Авезов Р.Р., Анарбаев А.И., Захидов Р.А. Оптимизация размещения солнечных коллекторов на ограниченной площади // Международный научный журнал «Гелиотехника», 2005. №1. С.35-39 (05.00.00.№1).

8. Анарбаев А.И., Захидов Р.А., Орлова Н.И. Сопоставление эксплуатационных характеристик некоторых типов солнечных коллекторов и водонагревательных установок в условиях Узбекистана // Международный научный журнал «Гелиотехника», 2007. №1. С.14-20 (05.00.00.№1).

9. Анарбаев А.И., Захидов Р.А., Авезов Р.Р., Схемно-параметрическая оптимизация солнечно-топливных котельных // Международный научный журнал «Гелиотехника», 2008. №1. С.28-33 (05.00.00.№1).

10. Анарбаев А.И., Захидов Р.А., Орлова Н.И., Таджиев У.А. Районирование территории Узбекистана по комплексу метеофакторов, влияющих на эффективность работы солнечных систем горячего водоснабжения // Международный научный журнал «Гелиотехника», 2008. №2. С.62-73 (05.00.00.№1).

11. Анарбаев А.И., Захидов Р.А. Техничко-экономические аспекты использования солнечно энергетических станций // Международный научный журнал «Гелиотехника», 2009. №2. С.81-90 (05.00.00. №1).
12. Захидов Р.А., Анарбаев А.И. Применение солнечных теплоисточников в тепловых электростанциях // Международный научный журнал «Гелиотехника», 2010. №1. С.68-72 (05.00.00.№1).
13. Захидов Р.А., Анарбаев А.И. Оценка комбинированного использования тепловых насосов и солнечных установок для энергоснабжения жилых домов // Международный научный журнал «Гелиотехника», 2010. №4. С.19-24 (05.00.00.№1).
14. Захидов Р.А., Анарбаев А.И. Энергоэффективные и экологически чистые технологии с использованием солнечных систем, водородных топливных элементов и газовых турбин // Международный научный журнал «Гелиотехника», 2011. №1. С.68-72 (05.00.00.№1).
15. Анарбаев А.И., Захидов Р.А. Моделирование и оптимизация режимов комбинированной работы солнечно-топливной системы теплоснабжения // Международный научный журнал «Гелиотехника», 2011. №3. С.98-103 (05.00.00.№1).
16. Zakhidov R.A., Anarbaev A.I. Prospects for the further development of solar air-conditioning systems in building // Applied Solar Energy. - USA. 2013. Allerton Press. Vol.49, №4.P. 251-256 (05.00.00.№4).
17. Короли М.А., Анарбаев А.И. Комплекс технических мероприятий по повышению энергоэффективности системы теплоснабжения г. Ташкента // Научно-технический журнал «Проблемы энерго- и ресурсосбережения». г.Ташкент, 2013 г. №1-2. С.82-86. (05.00.00. №21).
18. Zakhidov R.A., Anarbaev A.I. Combined system of solar heating and cooling using heat pump // Applied Solar Energy. - USA. 2014. Allerton Press. Vol.50, №3. P. 178-183 (05.00.00. №4).
19. Анарбаев А.И., Умарджанова Ф.Ш., Исаходжаев Х.С., Файзиев Ш.А. Теплонасосные установки в системах солнечного теплохладоснабжения зданий // Научно-технический журнал «Проблемы энерго- и ресурсосбережения». г.Ташкент, 2016 г. №3-4. С.202-207. (05.00.00.№21).
20. Анарбаев А.И., Короли М.А., Бабобеков А. Исследование температурных режимов теплоизолирующих элементов зданий // Научно-технический журнал «Проблемы энерго- и ресурсосбережения». г.Ташкент, 2021 г. Спецвыпуск. С.161-166. (05.00.00.№21).
21. Короли М.А., Рахимова М.М., Анарбаев А.И. Повышение надежности систем с электроприводами и энергоэффективности котельной // Научно-технический журнал «Проблемы энерго- и ресурсосбережения». г.Ташкент, 2022. №83. Спецвыпуск. С.150-155. (05.00.00.№21).
22. Анарбаев А.И., Исаходжаев Х.С., Каракулов А.Н., Короли М.А. Анализ технологических схем производства биогаза с использованием теплового насоса // Научно-технический журнал «Проблемы энерго- и

ресурсосбережения». г.Ташкент, 2023. №3. С.93-98. (05.00.00.№21).

23. Анарбаев А.И., Захидов Р.А., Иванисова А.Р. Исследования по определению оптимальных параметров солнечно-теплонасосной системы теплоснабжения зданий // Научно-технический журнал «Проблемы энерго- и ресурсосбережения». ТГТУ, 2024. №85. Спецвыпуск. С.255-262. (05.00.00.№21).

24. Анарбаев А.И., Короли М.А. Эксергетическая оптимизация параметров теплонасосной системы теплоснабжения // Научно-технический журнал «Проблемы энерго- и ресурсосбережения». г.Ташкент, 2024. №3. С. 94-102. (05.00.00.№21).

### **II бўлим (II част, II part)**

25. Короли М.А., Анарбаев А.И. Схема использования теплонасосных установок на коммунальных котельных // Сборник материалов IX международной Научно-технической конференции «Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов». АмГУ. 5 июня 2019 г. Благовещенск (Россия). С.377-381.

26. Koroli M.A., Anarbaev A.I., Usmanov A., Soliev K. Exergoeconomic optimization of solar heat pump systems of heat supply. E3S Web of Conferences 216, 01125 (2020)

27. Anarbaev A.I., Koroli M.A. Autonomous hybrid solar-heat pump for system heat-cooling in buildings. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1030 012178 (2021)

28. Anarbaev A.I., Koroli M.A. Tasks for application of absorption machines for solar cooling of buildings in the conditions of Uzbekistan // Сборник международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в водохозяйстве и инженерных коммуникационных системах». ААСУ. Баку 08–09 июня 2023 г. С.183-191.

29. Анарбаев А.И., Захидов Р.А., Нормуминов Ж.А. Параболоцилиндрические солнечные установки для подогрева мазута на теплоисточниках. // Сборник статей международной научно-практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность» Севастополь (Россия), 18-21 сентября 2023 г., С.426-430.

30. Anarbaev A.I., Koroli M.A. Issues of application an absorption heat pumps for solar heat and cooling supply of buildings. AIP Conf. Proc. 2969, 020029 (2024)

31. Анарбаев А.И., Захидов Р.А. Прогнозные данные эксплуатации солнечной водонагревательной установки в климатических районах Узбекистана. Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. Свидетельство № ВГУ 00281. Зарегистрирован в государственном реестре баз данных РУз г.Ташкенте 23.12.2011 г.

32. Анарбаев А.И., Захидов Р.А. Расчет параметров режимов работы солнечно-топливных котельных. Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство № DGU 02523. Зарегистрирован в государственном реестре программ для электронно-вычислительных машин РУз в г.Ташкенте 18.06.2012 г.

Авгореферат ТошДТУ “Техника фанлари ва инновация” журнали  
тахририятида таҳрирдан ўтказилиб, ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнлар  
ўзаро мувофиқлаштирилди ( \_\_\_\_ . \_\_\_\_ 2025 йил)

Босишга рхсат этилди: 5.03.2025 йил.  
Бичими 70x84  $\frac{1}{16}$  «Times New Roman»  
гарнитурда рақамли босма усулида босилди.  
Шартли босма табоғи: 3,5. Адади 100. Буюртма №185  
Тел (94) 894 6496463 (90) 9698336  
Гувоҳнома реестр № 10-3279  
“IMPRESS MEDIA” МЧЖ босмаҳонасида чоп этилган.  
10000, Тошкент ш., Олмазор тумани, Нурафшон кўчаси, 119