

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ, ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ, ՄՇԱԿՈՒՅԹԻ ԵՎ
ՍՊՈՐՏԻ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ

ՃԱՐՏԱՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ՇԻՆԱՐԱՐՈՒԹՅԱՆ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ
ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

ՄՈՎՍԻՍՅԱՆ ԿԱՐԵՆ ԱՇՈՏԻ

ՋԵՐՄԱՊՈՄՊԱՅԻՆ ՏԵՂԱԿԱՅԱՆՔՆԵՐՈՎ ԲՆԱԿԵԼԻ ՇԵՆՔԵՐԻ
ՋԵՐՄԱՅՐՏԱՄԱՏԱԿԱՐԱՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄ

Ե.23.03- «Շենքերի և կառույցների ճարտարագիտական (էներգետիկ, հիդրավլիկ
և այլն) ապահովում» մասնագիտությամբ տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի
գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

Ս Ե Ղ Մ Ա Գ Ի Ր

ԵՐԵՎԱՆ 2025

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ, КУЛЬТУРЫ И СПОРТА РЕСПУБЛИКИ
АРМЕНИЯ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ АРХИТЕКТУРЫ И СТРОИТЕЛЬСТВА АРМЕНИИ

МОВСИСЯН КАРЕН АШОТОВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОХЛАДОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ
С ТЕПЛОВЫМИ НАСОСНЫМИ УСТАНОВКАМИ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.23.03- «Инженерное (энергетическое, гидравлическое и др.)
обеспечение зданий и сооружений»

ԵՐԵՎԱՆ 2025

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Ճարտարապետության և շինարարության Հայաստանի ազգային համալսարանում

Գիտական ղեկավար՝

տեխ. գիտ. թեկնածու, դոցենտ
Արտաշես Լևոնի Պետրոսյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝

տեխ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր
Սերգեյ Աշոտի Մինասյան

Առաջատար կազմակերպություն՝

տեխ. գիտ. թեկնածու, դոցենտ
Մերի Գեղամի Ղազարյան

Հայաստանի ազգային պոլիտեխ-
նիկական համալսարան

Պաշտպանությունը կայանալու է 2025թ. հունիսի 3-ին ժամը 13⁰⁰-ին Ճարտարապետության և շինարարության Հայաստանի ազգային համալսարանի (ՃՀԱՀ) կից գործող ՀՀ ԿԳՄՍՆ ԲԿԳԿ-ի 030 մասնագիտական խորհուրդում:

Հասցեն՝ 0009, ք. Երևան, Տերյան փ. 105:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՃՀԱՀ-ի գիտական գրադարանում:

Հասցեն՝ 0079, ք. Երևան, Մառի փ. 17/1:

Սեղմագրին կարելի է ծանոթանալ ՃՀԱՀ պաշտոնական կայքում՝ www.nuaca.am:

Սեղմագիրը առաքված է 2025թ. մայիսի 2-ին:

Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար,
տեխնիկական գիտությունների թեկնածու, դոցենտ



Ս.Մ. ԷԳՆԱՏՈՅԱՆ

Тема диссертации утверждена в Национальном университете
архитектуры и строительства Армении

Научный руководитель:

кандидат технических наук, доцент
Арташес Левонович Петросян

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор
Сергей Ашотович Минасян

кандидат технических наук, доцент
Мери Гегамовна Казарян

Ведущая организация:

Национальный политехнический
университет Армении

Защита состоится 3-го июня 2025г. в 13⁰⁰ часов на заседании специализированного совета 030 строительство МОНКС РА КВОН, действующего при Национальном университете архитектуры и строительства Армении (НУАКА).

Адрес: 0009, г. Ереван, ул. Теряна, 105.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке НУАКА

Адрес: 0079, Ереван, ул. Марра, 17/1

С авторефератом можно ознакомиться на официальном сайте НУАКА: www.nuaca.am

Автореферат разослан 2-го мая 2025г.

Ученый секретарь специализированного совета:

кандидат технических наук, доцент



С. М. ЭГНАТОСЯН

ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ԲՆՈՒԹԱԳԻՐԸ

Աշխատանքի արդիականությունը: Հայաստանի Հանրապետությունում բնակելի շենքերի ջերմային միկրոկլիմայի ապահովումը՝ ներառյալ ջեռուցումը, հովացումն ու տաք ջրամատակարարումը (ՋՋՄ), պահանջում է զգալի քանակությամբ էներգառեսուրսներ, հիմնականում՝ օրգանական վառելիք: Սակայն հանրապետությունը չունի սեփական վառելիքաէներգետիկ ռեսուրսներ, ինչը հանգեցնում է էներգետիկ կախվածության, ֆինանսական մեծ ծախսերի և շրջակա միջավայրի վրա բացասական ազդեցության: Ավելին՝ հիմնական բնակարանային ֆոնդի շենքերը կառուցվել են խորհրդային տարիներին՝ երբ ըստ շինարարական նորմերի ու կանոնների էներգախնայողության պահանջը գրեթե անտեսվել է: Այսօր այդ շենքերի ճարտարապետաշինարարական և ջերմատեխնիկական առանձնահատկությունները չեն բավարարում ժամանակակից սանիտարահիգիենիկ և էներգախնայողության նորմերին, ինչն էլ հանգեցնում է առաջնային էներգիայի բարձր սպառման: Մինչդեռ կլիմայական պայմանների, արեգակնային ճառագայթման մակարդակի և արտաքին օդի ջերմաստիճանի զգալի տատանումները պահանջում են համակարգային և տեղանքին հարմարեցված մոտեցում ցուցաբերել բնակելի շենքերի ջերմացրտամատակարարման համակարգերի (ՋՑՄՀ) և դրանց էներգամատակարարման սխեմաների նախագծման հարցում: Հետազոտությունն ուղղված է այդ խնդիրների գիտական վերլուծությանը՝ նպատակ ունենալով ապահովել շենքերում էներգիայի սպառման նվազեցում, ինչպես նաև բնակիչների համար համապատասխան ներքին միկրոկլիմայի ապահովում՝ հաշվի առնելով ՀՀ բնակլիմայական առանձնահատկությունները և առկա՝ գոյություն ունեցող բնակելի շենքերի կառուցվածքային պայմանները:

Աշխատանքի նպատակը և խնդիրները:

Ատենախոսության նպատակն է գիտահետազոտական աշխատանքների իրականացման արդյունքում մշակել և կիրառման ներկայացնել բնակելի շենքերի ՋՑՄՀ-ի և դրանց ջերմա-ցրտաաղբյուրների, ինչպես առանձին-առանձին, այնպես էլ համատեղ ստացման համար ՋՊ-ի այնպիսի տեխնոլոգիական սխեմաներ ու միջոցառումներ, որոնք կապահովեն օպտիմալ, ընդհանուր էներգաէկոլոգիական, տնտեսական ցուցանիշներ ողջ տարվա համար, օգտագործելով բնական՝ արևի և գրունտի, ջերմային էներգիան: Ինչի արդյունքում կնվազեն հիմնական ներդրումներն այդ համակարգերի իրականացման վրա, ինչպես նաև շահագործման ծախսերը էլեկտրաէներգիայի ծախսի վրա:

Աշխատանքի խնդիրներն են՝

1. Բնական աղբյուրների՝ արևի, գրունտի և ստորգետնյա ջրային ջերմային էներգիայի կիրառման հնարավորությունների ուսումնասիրություն:
2. Ջերմային պոմպերի (ՋՊ) համար ժամանակակից սառնագենտների կիրառման տեխնիկական հնարավորությունների վերլուծություն:
3. Ջերմության և ցրտի առանձին ու համատեղ ստացման տեխնոլոգիական սխեմաների մշակում ու հետազոտում:
4. ՋՊ-ների էներգաարդյունավետության բարձրացման ուսումնասիրումը միջանկյալ ջերմակրի կիրառմամբ:
5. Ռեգեներացիոն ջերմափոխանակիչների կիրառմամբ՝ առավելագույնս էժան ջերմային էներգիայի ու ցրտի արտադրություն ապահովող տեխնոլոգիական սխեմաների մշակում:

6. Կիրառված նոր տեխնոլոգիական լուծումների շնորհիվ ԶՏԱՀ-ների ներդրումային ծախսերի և շահագործման ընթացքում ծախսվող էլեկտրաէներգիայի նվազեցման ուսումնասիրություն:

Հետազոտության մեթոդաբանությունը:

- Օգտագործել համակարգչային տեխնիկայի ծրագրային ապահովման ժամանակակից ձևերն ու մեթոդները:
- Ուսումնասիրել հետազոտման առարկային վերաբերող գրականությունը:
- Կատարել հաշվարկներ ու վերլուծություններ, կիրառելով համակարգչային և համակարգչային, թվային վերլուծության մեթոդները:
- Ուսումնասիրել տարբեր երկրներում կիրառվող ԶՊ-ի, ԶՏԱՀ-ի և այլ տեխնոլոգիական սխեմաները, որոնք կիրառելի կլինեն ՀՀ բնակւեկտորի շենքերում արհեստական միկրոկլիմայի ապահովման համար:
- Ուսումնասիրված տվյալների հավաստիության համար կատարել փորձնական հետազոտություններ:

Աշխատանքի գիտական նորույթները:

- Մշակվել են ՀՀ-ում ԶՊ-ի ընդգրկմամբ ԶՏԱՀ-ի՝ ԶՊ-գրունտային ուղղաձիգ կամ հորիզոնական ջերմափոխանակիչով տեղակայանքների, «ջուր-ջուր» կամ «օդ-ջուր» տիպի ԶՊ-ի, նոր տեխնոլոգիական սխեմաներ և դրանց հաշվարկի մեթոդներ:
- Բացահայտվել են ԶՏԱՀ-երի համար նպատակահարմար ջեռուցման և հովացման ջերմաստիճանային ռեժիմներ, ըստ ԶՊ-ի տիպի և տեսակի:
- Մշակվել են բնակելի շենքերի ԶՏԱՀ-ի նոր տեխնոլոգիական սխեմաներ ու դրանց հաշվարկի մեթոդներ:
- Ուսումնասիրվել են տարբեր նշանակության շենքերում կիրառվելիք ԶՏԱՀ-ի, ԶՊ-ի գործունեությունն, ըստ ներբնակարանային ջեռուցման/սառեցման սարքերի աշխատանքի, համատեղ աշխատանքն ապահովող տեխնիկական միջոցների:
- Մշակվել են դրանց հաշվարկի մեթոդները, ելնելով ՀՀ տարբեր տարածաշրջաններում բնակլիմայական և էներգետիկական ցուցանիշների՝ աստիճան-օրերի, էներգետիկական կրիտերիայի փաստացի արժեքների:

Աշխատանքի գիտագործնական նշանակությունը:

- Մշակված մեթոդների օգնությամբ հնարավոր կլինի որոշել ԶՏԱՀ-երի համար նպատակահարմար ջեռուցման և հովացման ջերմաստիճանային ռեժիմները:
- Տարբեր ՑԶՁԱ-ներով գործող միաստիճան ԶՊ-ի տեխնոլոգիական սխեմաների և հաշվարկի մեթոդների մշակում:
- Նոր հիմնադրույթների մշակում, որոնք հնարավորություն կտան զգալիորեն ընդարձակել ՀՀ-ում ԶՊ - երի կիրառման ոլորտներն ու օգտագործման նպատակահարմար, օպտիմալ տարածաշրջանները:

Պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթները:

Ջերմապոմպային կայանքների կառուցվածքը, հաշվարկի և նախագծման մեթոդները, տեսական հետազոտությունները, առաջարկված՝ օդի աղբյուրով ջերմապոմպային կայանների գիտափորձերի արդյունքները և էներգատնտեսական արդյունավետության գնահատումը:

Հետազոտության արդյունքների հավաստիությունը: առաջարկված մոտեցումները, մեթոդները և դրանց արդյունքները հավաստի են, հիմնված են թերմոդինամիկական ու

ջերմագնավածափոխանակության հաշվարկների ու դրանց վերլուծության իրականացման ներկայումս գործող մեթոդների, համակարգային վերլուծության հայտնի դրույթների կիրառման վրա:

Աշխատանքի նախափորձապաշտպանությունը՝ ատենախոսության տարբեր բաժինները քննարկվել են ՃՀՀԱՀ ԶԳՄՕ ամբիոնի սեմինարներում:

Ատենախոսության հրապարակումները: Ատենախոսության հիմնական դրույթներն ու հետազոտության արդյունքները հրապարակված են 7 գիտական հոդվածներում:

Ատենախոսության կազմը և ծավալը: Ատենախոսությունը բաղկացած է աշխատանքի ընդհանուր բնութագրից, 4 գլուխներից, եզրակացություններից և հավելվածներից: Աշխատանքի ծավալը կազմում է 120 էջ հիմնական տեքստ՝ ներառյալ 56 հատ նկար, 8 հատ աղյուսակ, ինչպես նաև լրացուցիչ 23 էջ ծավալով հավելվածներ: Գրականության ցանկը պարունակում է 119 վերնագիր:

ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ՀԱՄԱՌՈՏ ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆԸ

Գլուխ 1-ը վերաբերում է էներգախնայողության և էներգաարդյունավետության վերաբերյալ պահանջներին: **Նպատակն է** ՀՀ-ի շինարարության ոլորտում, բնակելի շենքերի ԶՅՄՀ-ում շուրջտարվա միկրոկլիմայի ապահովման համար մշակվել և կիրառել օրգանական վառելիքի և էլ. էներգիայի օգտագործմամբ էներգաարդյունավետ տեղակայանքներ ու համակարգեր: Դիտարկվել են էներգախնայողության բարձրացման հնարավորությունները Հայաստանի համար, կատարվել ՀՀ կլիմայական պայմանների վերլուծություն: Որպես ջերմացրտամատակարարման աղբյուր դիտարկվել են ջերմային պոմպերը, ուսումնասիրվել է ջերմային պոմպերի աշխատանքի սկզբունքը, գործունեության եղանակներն ու ոլորտները:

Գլուխ 2-ը վերաբերում է ջերմապոմպային կայանների նորարարական տեխնոլոգիական սխեմաների մշակմանը և ինտեգրմանը բարձր արդյունավետությամբ էներգահամակարգերում:

Գլուխ 2.1-ը նվիրված է ջեռուցման և հովացման համակարգերում R134a, R22, R32, R410a, R407C ֆրեոնների կիրառությանը, ջերմաստիճանային ռեժիմների և ջերմապոմպային կայանների նորարարական տեխնոլոգիական սխեմաների մշակմանը և ինտեգրմանը բարձր արդյունավետությամբ էներգահամակարգերում: Զերմապոմպային կայաններում սառնագենտների ընտրությունը կարևոր է էներգաարդյունավետության և շրջակա միջավայրի վրա ազդեցության տեսանկյունից: Սառնագենտի ընտրությունը կախված է Օզոնային շերտի վնասման պոտենցիալից (**ODP**- Ozone Depletion Potential) և Գլոբալ տաքացման պոտենցիալից (**GWP**- Global Warming Potential):

Սառնագենտների տեսակները և բնութագրերը՝

HCFC (R22), **ODP**՝ 0.055, **GWP**՝ ~1810, ունի բարձր արդյունավետություն, բայց վնասում է օզոնային շերտը, աստիճանաբար արգելվում է: **HFC** (R134a, R410A, R407C), **ODP**՝ 0, **GWP**՝ բարձր (R134a՝ ~1430, R410A՝ ~2088, R407C՝ ~1774), չի վնասում օզոնային շերտը, նպաստում է գլոբալ տաքացմանը, օգտագործումը նվազում է: **HFO** (R1234yf, R1234ze), **ODP**՝ 0, **GWP**՝ շատ ցածր (R1234yf՝ ~4, R1234ze՝ ~1), էկոլոգիապես մաքուր, թեթև այրվող: Բնական սառնագենտներ՝ CO₂ (R744), Ամոնիակ (R717) և Պրոպան (R290), **ODP**՝ 0, **GWP**՝ շատ ցածր, CO₂ անվտանգ, Ամոնիակը թունավոր, պրոպանը այրվող: Հիմնական ցուցանիշներն են **ODP**՝ չափում է օզոնային շերտի վրա վնասը, 0-ից բարձր

սառնագենտները նվազեցնում են օգտագործումը: **GWP**՝ CO₂-ի համեմատ ջերմոցային ազդեցություն, նախընտրելի են ցածր GWP-ով սառնագենտները:

R-134a, բանաձև՝ C₂H₂F₄, GWP՝ ~1430, ODP՝ 0, ավտոմեքենաների օդորակիչներ, սառնարաններ, ջերմային պոմպեր, չի վնասում օզոնը, բարձր GWP, աստիճանաբար փոխարինվում է: R22, բանաձև՝ CHClF₂, GWP՝ ~1810, ODP՝ 0.055, հին օդորակիչներ, սառնարանային համակարգեր, արդյունավետ է, բայց վնասում է օզոնը, փոխարինվում է R410A, R407C, R32-ով:

R-32, բանաձև՝ CH₂F₂, GWP՝ ~675, ODP՝ 0, օդորակման և ջերմային պոմպերի համար, բարձր արդյունավետություն, քիչ սառնագենտի ծախս, թեթև այրվող:

R-410A, բաղադրիչներ՝ R32 (50%), R125 (50%), GWP՝ ~2088, ODP՝ 0, բարձր ճնշում, բարձր էներգաարդյունավետություն:

R-407C, բաղադրիչներ՝ R32 (23%), R125 (25%), R134a (52%), GWP՝ ~1774, ODP՝ 0, փոխարինում է R22-ին, հեշտ սպասարկում, ցածր էներգաարդյունավետություն:

Գլուխ 2.2-ում բազմաբնակարան շենքերի ջերմացրտամատակարարման համակարգերի ուսումնասիրության նպատակով իրականացվել է հետազոտություն՝ ուղղված դրանց արդյունավետության բարձրացմանը: Ուսումնասիրությունը կենտրոնական համակարգերի վիճակի վերլուծության, առկա խնդիրների բացահայտման և տեխնիկական ու կազմակերպչական բարելավման հնարավորությունների գնահատման համար: Ուսումնասիրության շրջանակում վերլուծվել են «Ծարավ Աղբյուր» թաղամասի բազմաբնակարան շենքերը՝ 10 հատ 14-հարկանի և 3 հատ 13-հարկանի շենքեր, որոնք ունեն նույնատիպ արտաքին պատող կոնստրուկցիաներ: Թաղամասի ընդհանուր բնակչությունը կազմում է 2630 մարդ: Բազմաբնակարան շենքերի ջերմացրտամատակարարման համակարգերի փորձարարական նախագծման ընթացքում սահմանվել են էներգաարդյունավետության հիմնական ցուցանիշներ՝ նպատակ ունենալով բարելավել համակարգի արդյունավետությունը և էներգախնայողությունը: Թաղամասի համար, հիմք ընդունելով շենքերի հատակագծերը, կատարվել են ջերմատեխնիկական հաշվարկներ, որոնցում հաշվի են առնվել շենքերից առաջացող ջերմային կորուստները, ինչպես նաև ներքին ջերմանջատումները, որոնք պայմանավորված են բնակիչների գործունեությամբ, կենցաղային սարքերի և լուսավորության հետևանքով: Հովացման ընթացքում կատարվել են հաշվարկներ, որոնցով հաշվի են առնվել պատող կոնստրուկցիաներից առաջացող ջերմաթափանցումները և ներքին ջերմանջատումները: Հաշվարկները կատարվել են ինչպես ջեռուցման, այնպես էլ հովացման սեզոնների համար՝ հաշվի առնելով ոչ միայն սեզոնային ժամանակահատվածը, այլև առանձին ամիսները: Երևանի համար ջեռուցման սեզոնի տևողությունը սահմանվել է 142 օր (3408 ժամ), իսկ հովացման սեզոնինը՝ 145 օր (3480 ժամ): Հաշվարկային ջերմաստիճանի պահպանման տևողությունը ջեռուցման սեզոնում սահմանվել է 312 ժամ, իսկ հովացման սեզոնում՝ 504 ժամ: Հետազոտության ընթացքում ուսումնասիրվել են ջերմային էներգիայի սպառման օրինաչափությունները, ջերմային կորուստների նվազեցման միջոցները, ինչպես նաև ժամանակակից տեխնոլոգիաների կիրառման հնարավորությունները: Հատուկ ուշադրություն է դարձվել էներգաարդյունավետության ցուցանիշների բարելավմանը՝ ներառելով ջերմամեկուսացման տեխնոլոգիաների կատարելագործումը, արդիական կառավարման համակարգերի ներդրումն ու էներգախնայող տեխնոլոգիաների կիրառումը: ԶՊ-ով

ջեռուցման դեպքում կարևոր է հաշվի առնել ֆրեոնի ճիշտ ընտրությունը՝ կախված կոն-դենսացման ջերմաստիճանից և ջեռուցման սարքի տեսակից: R32-ը համարվելով լավ սառնագենտ, նրա կոնդենսացման ջերմաստիճանը մոտ 52°C է, այսինքն այն կարող է ջուրը տաքացնել առավելագույնը՝ 50°C : Սրանից հետևում ենք, որ R32 սառնագենտի կիրառմամբ ջեռուցման համակարգում ջեռուցման սարքերը պետք է լինեն ֆանքոյլները և պետք է աշխատեն $45/25^{\circ}\text{C}$ կամ $45/20^{\circ}\text{C}$ ջերմաստիճանային ռեժիմներով: Ուստի բարձր ջերմաստիճանային ռեժիմներում աշխատելու համար՝ $t_{\text{ս}}=70^{\circ}\text{C}$, ջերմակիրը 45°C -ից ավել տաքացնելու համար կիրառվում է էլեկտրական էներգիա, կամ գազային կաթսա: Այդ նպատակով դիտարկվել է տարբերակ՝ բարձր ջերմաստիճանի ջուր ստանալու համար, երբ առկա է արտաքին օդի բացասական ջերմաստիճանների պարագայում աշխատելու համար պետք է կիրառել, օրինակ՝ գազով աշխատող կաթսաներ:

Գլուխ 2.3-ը ուսումնասիրվել է գեոթերմալ ջերմապոմպային կայանների կիրառությունը: Վերջերս գեոթերմալ ջերմային պոմպով կայանները (ԳՋՊԿ) ավելի ու ավելի են ուշադրության արժանանում՝ բարձր էներգաարդյունավետության և շրջակա միջավայրի համար բարենպաստ լինելու շնորհիվ: Վերականգնվող էներգիայի աղբյուրները, ինչպիսիք են արևը, քամին, բիոմասսան, հիդրոէներգիան և գրունտի էներգիան աշխատում են քիչ ջերմոցային գազերի արտանետումներով: Սառցաշերտից ներքև՝ -10°C - -20°C գրունտի ջերմաստիճանը համեմատաբար կայուն է: Հողը ավելի տաք է մինչև ծմռան կես: Ուստի հողը արդյունավետ ջերմության աղբյուր է: ԳՋՊԿ-ը ներառում է երեք հիմնական բաղադրիչ.

1. Գրունտի հետ կապ ունեցող ենթահամակարգ,
2. Ջերմային պոմպի ենթահամակարգ,
3. Ջերմության բաշխման ենթահամակարգ,

ԳՋՊԿ-ները ներառում են տարբեր համակարգերի լայն տեսականի, որոնք կարող են օգտագործել ստորերկրյա ջուրը, հողը կամ խորքային ջուրը՝ որպես ջերմության աղբյուր կամ ընդունիչ: Սրանք հիմնականում բաժանվում են երեք կատեգորիայի.

1. Ստորգետնյա ջրի ջերմային պոմպի համակարգեր (ՍՋՋՊ),
2. Մակերևութային ջրի ջերմային պոմպի համակարգեր (ՄՋՋՊ),
3. Գրունտից ջերմության խլման ջերմային պոմպի համակարգեր (ԳՋՊ),

ԳՋԲԿ-ները գործում են շրջակա միջավայրի հետ՝ ապահովելով մաքուր, արդյունավետ և էներգախնայող ջեռուցման ու հովացման համակարգ ամբողջ տարվա համար: Դրանք օգտագործում են ավելի քիչ էներգիա, քան այլընտրանքային ջեռուցման և հովացման համակարգերը, նպաստում բնական ռեսուրսների պահպանմանը: Դրանք կարևոր տեխնոլոգիա են նվազեցնելու շրջակա միջավայրի վնասակար գազերի արտանետումները՝ ինչպես կարբոնային դիօքսիդ (CO_2), ծծմբային դիօքսիդ (SO_2) և ազոտի օքսիդներ (NO_x):

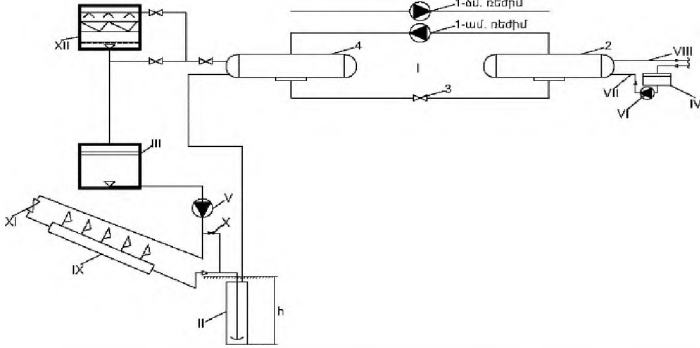
Գլուխ 2.4-ում քննարկվել են գեոթերմալ ջերմապոմպային կայանների և համակցված համակարգերի նորարական լուծումները: Հողի և արտաքին օդի ջերմաստիճանի տարբերությունը կարելի է օգտագործել որպես նախնական ջեռուցման միջոց ծմռանը և նախնական սառեցման միջոց ամռանը՝ գեոթերմալ ջերմափոխանակիչի կիրառմամբ: Հետևաբար, նոր երկրաջերմային ԳՋՊԿ-ները մեծագույն ազդեցություն են ունեցել երկրաջերմային էներգիայի օգտագործման մեջ: ԳՋՊԿ-ները կիրառվել են տարբեր համակարգերում, որոնք օգտագործում են հողը, ստորերկրյա ջրերը կամ մակերևութային ջրերը որպես ջերմության աղբյուր: Այս ընդհանուր տերմինի ներքո հասկացվում են

գեոթերմալ ջերմափոխանակիչով ԳՋՊԿ, ստորերկրյա ջրերի օգտագործման ջերմային պոմպերը (ՍՋՊԿ) և մակերևութային ջրերի ջերմապոմպային կայանքները (ՄՋՊԿ): ԳՋՊԿ-ը ջերմափոխանակիչ համակարգ է, որը կիրառվում է հողի ջերմային հզորությունը: ԳՋՊԿ-ն իրենից ներկայացնում է գետնի տակ տեղադրված խողովակների շարք, որոնք անցկացվում են շենքի երկարությամբ, կամ ուղղահայաց տեղադրվում են գետնի մեջ: ԳՋՊԿ-ի տեխնոլոգիան հիմնված է այն փաստի վրա, որ բավարար խորության դեպքում հողի ջերմաստիճանը ձմռանը միշտ բարձր է արտաքին օդի ջերմաստիճանից, իսկ ամռանը՝ ավելի ցածր: ԳՋՊԿ-ն կարող է օգտագործվել՝ ջերմությունը համեմատաբար տաք հողից դուրս բերելու և այն կոնդիցիոնացվող տարածք տեղափոխելու համար: Ամռանը գործընթացը կարող է հակադարձվել, և ջերմային պոմպը կարող է ջերմությունը դուրս բերել կոնդիցիոնացվող տարածքից և փոխանցել այն գեոթերմալ ջերմափոխանակիչին, որը տաքացնում է համեմատաբար սառը հողը: ԳՋՊԿ-ների կապիտալ ներդրումները նվազեցնելու և միաժամանակ համակարգի արդյունավետությունը բարելավելու համար ԳՋՊԿ-ները համակցում են այլ համակարգերի հետ:

Վերլուծվել են արևային կոլեկտորների և գեոթերմալ ջերմային պոմպերի համադրությամբ տարբեր համակարգեր: Համաձայն մոդելավորման արդյունքների՝ հայտնաբերվել են մեծ տարբերություններ մի քանի այլընտրանքային համակարգերի միջև: Հնարավոր արդյունավետ նախագծային լուծումն է, երբ արևի ջերմությունն օգտագործվում է ամռանը կենցաղային տաք ջուր ստանալու համար, իսկ ձմռանը հորատանցքերին է հաղորդում ջերմությունը: Առավելությունը կայանում է հորատանցքերից ջերմության արդյունահանման արագության, ինչպես նաև համակարգի համակցված նախագծման հետ: Արևային ջերմության և ԳՋՊԿ-ի համադրության ևս մեկ առավելություն է, երբ հորատանցքերը փորված են այնքան մոտ, որ ջերմային ազդեցություն են ունենում միմյանց վրա: Իսկ թերությունն է, որ արևային էներգիայի համակցումը ԳՋՊԿ-ին դժվարացնում է համակարգի օպտիմալ նախագծումը և շահագործման վերահսկումը:

Գլուխ 2.5-ում հետազոտվել է համակարգերը, որոնք կարող են օգտագործել բնական կամ երկրորդային ՑՋՋԱ-ներ և ջերմային թափոններ՝ ապահովելով առանձին շենքերի և փոքր թաղամասերի ջեռուցման ու հովացման պահանջները: Այդպիսի կայաններից են ԶՊ-ները, որոնք կարող են գործել արևային (ԱԷ) կամ գրունտային (ԳԷ) էներգիայով: ԶՊ-ի միջոցով ԱԷ-ի օգտագործումն ունի սահմանափակումներ, հատկապես ձմռանը: Արևային ճառագայթման թույլ ինտենսիվությունը և արտաքին օդի ցածր ջերմաստիճանը նվազեցնում են միջին ջերմաստիճանային արևային կոլեկտորի (ՄՋԱԿ) ՕԳԳ-ն, ինչի հետևանքով ԶՊ-ին անհրաժեշտ ջերմաքանակը չի ապահովվում, հատկապես բեռնվածության աճի պայմաններում: Այս հանգամանքները բացասաբար են անդրադառնում տեղակայանքի էներգաարդյունավետության և տնտեսագիտական ցուցանիշների վրա: Այդ պատճառով ցուրտ ամիսներին հաճախ անհրաժեշտ է լրացուցիչ օգտագործել գազային կաթսա (ԳԿ), իսկ նման օրերի տևողության աճը կրճատում է ԶՊ-ՄՋԱԿ համակարգի արդյունավետ կիրառման ժամանակահատվածը: Գրունտային էներգիա (ԳԷ) օգտագործող ջերմային պոմպերը, հատկապես ուղղաձիգ ջերմափոխանակիչով համակարգերը, ունեն ավելի հուսալի և կայուն աշխատանք՝ շնորհիվ գրունտի խորքային շերտերի (20 մ և ավելի) կայուն և բարձր ջերմաստիճանների, որոնք անտարբեր են արտաքին պայմաններին: Չնայած շրջանառվող ԳԷ-ի օգտագործումից հետո ջերմաստիճանը նվազում է, գրունտի մեծ ջերմային իներցիան և փոքր ջերմաստիճանային տարբերությունը

հիմնականում չեզոքացնում են այդ ազդեցությունը: Տեղակայանքին հարող գոտիներում հնարավոր է ԳԷ-ի վերականգնում՝ տարվա տաք ամիսներին ԱԷ-ի և շենքերի հովացման նպատակով օգտագործելով ԶՊ-ի կոնդենսատորում առաջացող ավելցուկային ջերմությունը: Նման համակարգի սկզբունքային սխեման ներկայացված է Նկ. 1-ում:



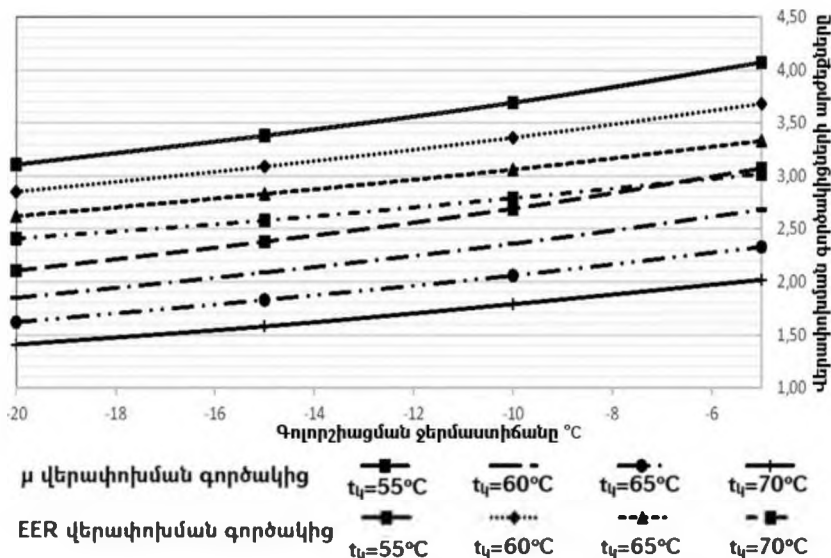
Նկ.1. ԶՊ-Ուղղածիզ գրունտային ԶՓԱ տեղակայանքի սկզբունքային սխեման

Տեղակայանքը բաղկացած է I ԶՊ-ից, II գրունտային ուղղածիզ ջերմափոխանակիչից, որը տեղաբաշխված է գրունտում մինչև 100 մ խորության վրա, III ՅՁՁԱ-ի և IV ջեռուցման համակարգի ջերմատարի կուտակիչ բաքերից, V ՅՁՁԱ-ի և VI ջերմատարի շրջանառու պոմպերից, VII հետադարձ և VIII մատակարար խողովակներից, IX ՄՁԱԿ-ից, XII հովացման աշտարակից: I ԶՊ-ը բաղկացած է 1 ճնշակից, 2 կոնդենսատորից, 3 դրոսելային փականից և 4 գոլորշիացուցիչից: Ձմռանը, երբ իրականացվում է բնակելի միկրոշրջանի ջերմամատակարարումը, ԶՊ-ում շրջապտույտ կատարող աշխատանքային մարմինը ենթարկվում է պոլիտրոպ սեղմման 1 ճնշակում՝ էլեկտրաշարժիչից ստացված մեխանիկական աշխատանքի հաշվին: Այս շրջանում աշխատանքային մարմինը շարժման ուղղությունը ժամսլաքի ուղղությամբ: Արդյունքում աճում է աշխատանքային մարմնի ճնշումը և ջերմաստիճանը, այն գերտաքանում է 2 կոնդենսատորում կոնդենսանում VI շրջանառու պոմպով տրվող ջերմատարի տաքացման հաշվին: Վերջինս VIII մատակարար խողովակով տրվում է սպառիչներին, որոնցում տեղադրված ջեռուցման սարքերում ջերմատարը համեմատաբար սառչում է և VII-ով վերադառնում IV կուտակիչ բաք:

Տեխնիկական առումով նման համակարգը նպատակահարմար է, քանի որ առաջարկված տեղակայանքի կիրառման դեպքում չկա անհրաժեշտություն տարբեր տեխնոլոգիական սարքավորումների՝ միայն ԶՊ-ի: Արդյունքում ԶՏՄՀ-ի գործունեության ապահովման համար հարկ չի լինի ունենալ տարբեր մասնագիտության աշխատակիցներ: Փոխարենը կարիք կլինի փորել 100 մ խորության հորեր, որը ոչ միշտ է հնարավոր ժայռային կամ քարքարոտ գրունտի և քաղաքի խիտ բնակեցման պայմաններում, չնայած այդ ամենին ԶՊ - գրունտային ուղղածիզ ջերմափոխանակիչով տեղակայանքն ունի լավացված էներգատեխնիկական ցուցանիշներ և առավել նպատակահարմար է կիրառման Երևանի կլիմայական պայմաններում:

Գլուխ 2.6-ում ուսումնասիրվել է ջերմապոմպային կայաններում ռեգեներացիոն ջերմափոխանակիչի կիրառումը: Զերմափոխանակիչում գերտաքացումը ռեգեներացիոն ջերմափոխանակմամբ կայանքներում, ունի որոշակի օպտիմալ արժեք, որին համապատասխանում է առավելագույն սառնարանային գործակից: Այս պնդումը ստուգելու հա-

մար հաշվարկվել և վերլուծվել է պարզ միաստիճան ցիկլը՝ ջերմափոխանակիչը կիրառելով տարբեր սառնագենտների համար: Հետազոտությունները կատարվել են ընդունելով հետևյալ հաշվարկային պարամետրերը՝ կոնդենսացման ջերմաստիճանում $t_k = +45^\circ\text{C}$ (318°K), և գոլորշիացման ջերմաստիճանը $t_o = -5 \div -40^\circ\text{C}$ ($268 \div 233^\circ\text{K}$) ջերմափոխանակիչում գոլորշու գերտաքացումը վերականգնող ջերմափոխանակմամբ (ՋՓ) ընդունվել է $\Delta t_{\text{ջփո}} = 20^\circ\text{K}$: Նկ.2-ում պատկերված է վերափոխման գործակիցների՝ μ և EER (Energy Efficiency Ratio) կախումը գոլորշիացման t_o ջերմաստիճանից՝ R134a սառնագենտի համար:



Նկ.2. Վերափոխման μ և EER գործակիցների կախումը գոլորշիացման t_o ջերմաստիճանից

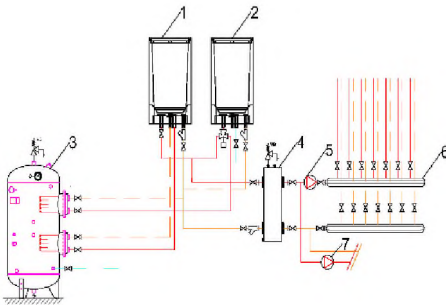
Նկ.2-ից հետևում է, որ որքան գոլորշիացման ջերմաստիճանը մեծանում է, այնքան սառնարանային տեղակայանքի վերափոխման μ և EER գործակիցները մեծանում են: Հետազոտություններից պարզ են դարձել, որ ռեգեներացիոն ջերմափոխանակիչը օգտագործվում է սառնարանային ցիկլի արդյունավետությունը բարձրացնելու կամ շահագործման գործնական ծախսերը նվազեցնելու համար:

Գլուխ 2.7-ում քննարկվել են ջերմապոմպային տեղակայանքների էներգաարդյունավետության հետազոտումը միջանկյալ ջերմակրով համակարգերի կիրառման: Միջանկյալ ջերմակրով համակարգերն ունեն նաև շահագործման զգալի առավելություններ: Նման սառնարանային մեքենաների ավտոմատ ղեկավարումն առանձնահատուկ դժվարություն չունի: Համակարգի կարգավորիչ հանգույցների ճկուն և համակցված աշխատանքի միջոցով կարելի է զգալիորեն նվազեցնել սառնագենտի ծավալը համակարգում, որը հնարավորություն է տալիս բարձրացնել համակարգի էկոլոգիական անվտանգությունը և նվազեցնել ներդրումները նոր սառնագենտների բարձր արժեքների դեպքում: Նվազում են մագնիստրալային խողովակագծերի տրամաչափերը, միացման կարերի թիվը, շահագործման ընթացքում հեշտանում է արտահոսքի հայտնաբերումը համակարգում: Ավելի

հուսալի է յուղի վերադարձը կոմպրեսոր: Վերջապես պարզեցվում է ջերմային պոմպերի շահագործումը ոչ աէրոտրոպ սառնագենտների կիրառման դեպքում, ինչպիսիք են R404A, R407C և այլն: Արդյունավետ թիթեղնավոր ջերմափոխանակիչների կիրառումը հնարավորություն է տալիս նվազեցնել թերի վերաօգտագործման արժեքը մինչև 3Կ, այդ իսկ պատճառով թիթեղնավոր ջերմափոխանակիչներով (գոլորշիացուցիչ և կոնդենսատոր) միջանկյալ ջերմափոխանակիչով համակարգերում սառեցման հզորության կորուստների արժեքները կազմում են, համապատասխանաբար, 12 % և 3 %: Փորձը ցույց է տալիս, որ թիթեղնավոր ջերմափոխանակիչներում հիդրավլիկ կորուստների մեծացումը շրջափուլի արդյունավետության վրա զգալի ազդեցություն չի թողնում: Մյուս կողմից դրանց կիրառումը զգալիորեն բարելավում է համակարգի ծավալազանգվածային և շահագործման բնութագրերը:

Գլուխ 3-ը նվիրված է ջերմային պոմպերի կիրառման արդյունավետության հետազոտմանը փորձնական եղանակով՝ ցուրտ կլիմայական պայմաններում:

Գլուխ 3.1 –ում «օդ-ջուր» տիպի ԶՊ-ի արդյունավետության փորձնական ստուգման նպատակով կատարվել է հետազոտություն ք. Երևանում, Դավթաշեն վարչական շրջանում գտնվող երեք հարկանի առանձնատանը, որտեղ տեղադրված է Lamborghini Idola S 3.2 մոդելի ջերմային պոմպ: Առանձնատան ջեռուցման համակարգը բաղկացած է 7 ֆան-քոյլներից, ջեռուցվող հատակից: Տեղադրված է նաև էլեկտրական կաթսա՝ ջերմային պոմպի ջերմային ՕԳԳ-ի անկման դեպքում ջեռուցման բեռն ապահովելու համար: Տաք ջրամատակարարման համակարգը ամբողջապես սնվում է էլ. տաքացուցիչից: Նկ.3-ում պատկերված է ջերմապոմպային տեղակայանքով համակարգի սկզբունքային սխեման: Նկ.4-ում պատկերված է ջերմապոմպային տեղակայանքով համակարգը, որը տեղադրված է առանձնատան ավտոտնակում:



Նկ.3. Առանձնատան ջեռուցման/հովացման համակարգի սկզբունքային սխեման. 1) Ջերմային պոմպ, 2) էլ. կաթսա, 3) Ջրատաքացուցիչ բաք 4) Հիդրավլիկ բաժանարար 5) Ջեռուցման շրջանառու պոմպ 6) Բաշխիչ սանրիկ 7) Տաքացվող հատակի շրջանառու պոմպ



Նկ.4. Առանձնատան ջերմապոմպային տեղակայանքով ջեռուցման համակարգ

Գիտափորձը հնարավորություն է տվել ստանալ մանրամասն և ճշգրիտ տվյալներ ջերմային պոմպի աշխատանքի վերաբերյալ և գնահատել դրա արդյունավետությունը

առանձնատան ջեռուցման համակարգում՝ տարբեր ջերմաստիճանային պայմաններում: Մոնիթորինգի գործընթացը տևել է 17 օր՝ սկսելով հունվարի 25-ից մինչև փետրվարի 11: Այս ժամանակահատվածի ընտրությունը նպատակաուղղված է համընկնել տարվա ամենացուրտ օրերի հետ, ինչը հիմնված էր վերջին տարիների եղանակային դիտարկումների վրա: Այս ընտրությունն ապահովել է առավել հուսալի և փորձնական պայմաններ՝ ջերմային պոմպի աշխատանքը ցուրտ պայմաններում գնահատելու համար:

Գլուխ 3.2-ում նկարագրվում է գիտափորձի ընթացքում կատարվող չափումների ու չափման սարքերի նկարագրությունը: Ջերմային պոմպի արդյունավետությունն ու գործողության հստակ մեխանիզմը գնահատելու նպատակով առանձնատան ջերմապոմպային տեղակայանքի վրա տեղադրվել են ջերմային տվիչներ և տեսախցիկ (Նկ. 5.): Ջերմային տվիչները տեղադրվում են ջեռուցման համակարգի խողովակների վրա՝ ՋՊ-ին միացող մատակարար և հետադարձ խողովակներին, ֆանքոյլներ գնացող մատակարար և հետադարձ խողովակներում ջրի ջերմաստիճանների փոփոխություններին հետևելու համար: Տան ներսում և դրսում՝ ներքին և արտաքին օդի ջերմաստիճանները գրանցելու նպատակով: Տեսախցիկը տեղադրվել է ջերմային պոմպի մոնիտորի վրա՝ շարունակաբար վերահսկելու, թե որ ջերմաստիճանից սկսած է միանում էլ. տաքացուցիչը:



ա)



բ)

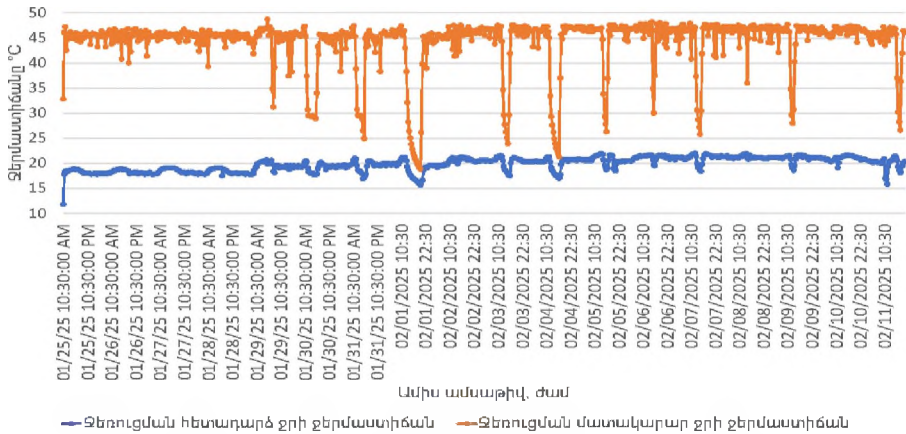


գ)

Նկ.5. Չափիչ սարքերը, ա) ՋՊ-ի ջերմակրի մուտքի և ելքի վրա, բ) դեպի ջեռուցման համակարգ մուտքի և ելքի վրա, գ) արտաքին օդի համար

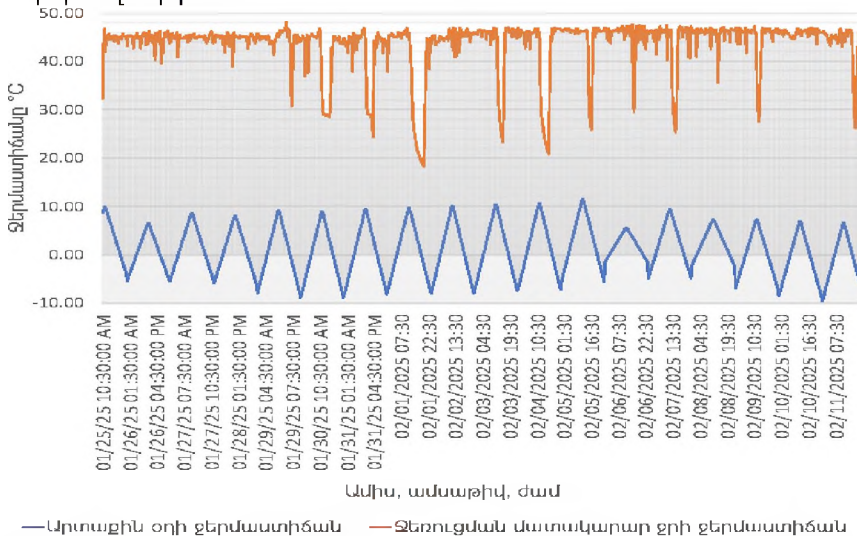
Փորձի կատարման մեթոդիկան հետևյալն է՝ երկու շաբաթվա ընթացքում, որոշակի հաճախությամբ և միաժամանակ, չափվում են հետևյալ պարամետրերը՝ 1. Արտաքին օդի ջերմաստիճանը, 2. Ներսի օդի ջերմաստիճանը, 3. Մատակարար և հետադարձ ջրի ջերմաստիճանները ՋՊ-ից և ֆանքոյլներից առաջ:

Գլուխ 3.3-ում բերված են գիտափորձի մշակման արդյունքները: Հետազոտության արդյունքում ստացված տվյալները համակարգվել և վերլուծվել են՝ ընդգրկելով բոլոր մոնիթորինգային պարամետրերը: Ամենացածր ջերմաստիճանները գրանցվել են գիշերային ժամերին, երբ արտաքին օդի ջերմաստիճանը նվազել է մինչև $-9,8^{\circ}\text{C}$: Այս ժամերին առավել հաճախ միացվել է ջերմային պոմպի էլեկտրական տաքացուցիչը՝ լրացուցիչ ջերմաստիճան ապահովելու նպատակով: Իսկ առավելագույն ջերմաստիճանը եղել է՝ $+11,3^{\circ}\text{C}$: Մատակարարող ջրի ջերմաստիճանը ջերմային պոմպի ելքին պահպանվել է $38,3^{\circ}\text{C} \div 48,7^{\circ}\text{C}$ միջակայքում՝ կախված արտաքին ջերմաստիճանից (Նկ.6): Հետադարձ ջրի միջին ջերմաստիճանը կազմել է $19,2^{\circ}\text{C} \div 22^{\circ}\text{C}$, ինչը վկայում է, որ համակարգը ապահովել է բավարար ջերմամատակարարում՝ առանց էական ջերմային կորուստների: Նկ. 7-ում ներկայացված է կոնդենսացման ջերմաստիճանի կախումը արտաքին օդի ջերմաստիճանից: Պարզ է, որ ջերմային պոմպը աշխատում է գործարանային տվյալներով:



Նկ.6. Ջերմային պոմպի մատակարար և հետադարձ ջրերի ջերմաստիճաններն ըստ օրերի և ժամերի

Ըստ տեսախցիկի էլեկտրական տաքացուցիչը միացել է հիմնականում գիշերային ժամերին, երբ արտաքին օդի ջերմաստիճանը իջել է -6°C և ավելի ցածր: Տաքացուցի աշխատանքի միացման հաճախականությունը նվազել է ավելի մեղմ օրերին, ինչը վկայում է ջերմային պոմպի բարձր ՕԳԳ-ի մասին: Հետազոտության արդյունքները կարևոր հիմք են հանդիսանում նմանատիպ պայմաններում ջերմային պոմպերի աշխատանքը նախագծելու և էներգախնայողության համար առավել արդյունավետ լուծումներ գտնելու գործում:



Նկ.7. Կոնդենսացման և արտաքին օդի ջերմաստիճանների կախումը արտաքին օդի ջերմաստիճանից

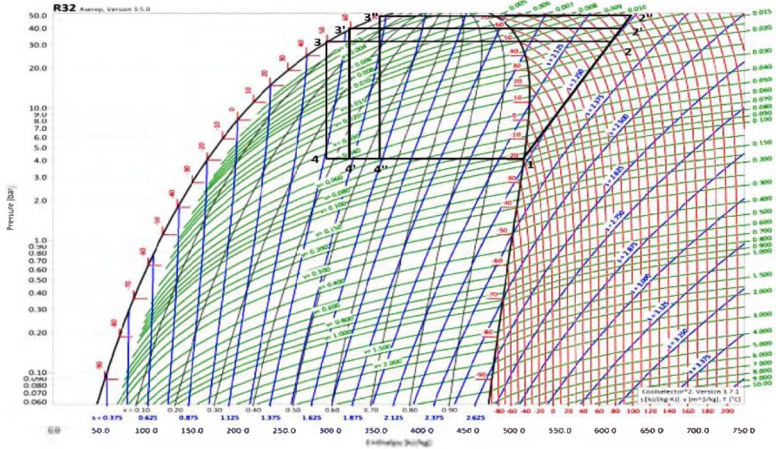
Գլուխ 4-ը վերաբերում է ջերմապոմպային համակարգերի ներդրման էկոլոգիական, թերմոդինամիկական և տնտեսական վերլուծությանը Անդրադարձ է կատարվել ՅՁՁԱ-

ների էներգետիկական ցուցանիշների ուսումնասիրմանը ավանդական՝ բնական գազի օգտագործմամբ և ոչ ավանդական՝ բնական կամ երկրորդային էներգաաղբյուրների օգտագործմամբ, երբ սրանք համատեղված են **ՋՊ**-ի հետ:

Գլուխ 4.1-ում դիտարկվել է ջերմային պոմպերի ներդրման **Ֆինանսական հիմնավորումը**: Ուսումնասիրվել են ջերմային պոմպերի նախնական ներդրման ծախսերը, էներգախնայողությունը և ծախսերի նվազեցումը, հետզնման ժամկետը, պետական սուբսիդիաներն ու արտոնությունները և բնապահպանական օգուտները:

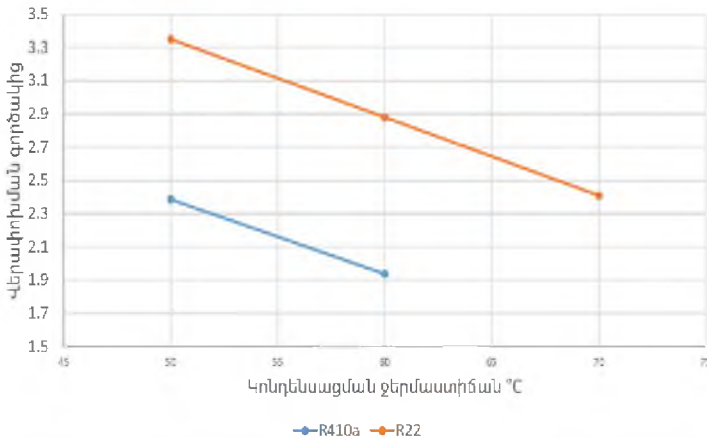
Գլուխ 4.2-ում կատարվել է ջերմապոմպային տեղակայանքների թերմոդինամիկական վերլուծությունը ժամանակակից սառնագենտների կիրառմամբ: Ջերմապոմպային համակարգերի արդյունավետությունը մեծապես կախված է կիրառվող սառնագենտներից, որոնք պետք է լինեն ոչ միայն էներգաարդյունավետ, այլև բնապահպանական առումով անվտանգ: Որպես R32-ի կիրառման հեռանկարային տարբերակ դիտարկվել է երևան քաղաքի «Ծարավ Աղբյուր» բնակելի թաղամասի ջերմացրտամատակարարման համակարգերում գործունեությունը, երբ որպես ջերմության ու ցրտի աղբյուր են ծառայում ջերմապոմպային տեղակայանքները որպես փորձարարական նախագծման տարբերակ, երբ սրանք տեղաբաշխված են շենքի կտուրում (հաշվի է առնված կրող կոնստրուկցիայի ամրությունն ու դիմացկունությունը), ինչպես նաև դրանց կենտրոնացված ՋՑՄՀ-ի գործնեությունը, երբ կենտրոնական ջերմացրտակենտրոնը նախատեսվում է տեղաբաշխել թաղամասի աջ, վերին մասում, առանձին շինությունում: Բնակելի թաղամասի շենքերի արտաքին պատող կոնստրուկցիան բլոկային շարվածք է, որի ջերմափոխանցման գործակիցը պատի համար կազմում է՝ $0,85 \text{ Վտ/մ}^2\text{°C}$: Թաղամասի համար, ըստ արտաքին օդի կլիմայական պայմանների փոփոխության՝ տարբեր ամիսների համար, որոշվել են շենքի ջերմային կորուստներն ըստ հաշվարկային ջերմաստիճանի՝ $2,965 \text{ ՄՎտ}$, ջերմատարի ծախս $35,5 \text{ կգ/վ}$: Հովացման բեռը կազմում է՝ $3,67 \text{ ՄՎտ}$, ցրտատարի ծախս $137,7 \text{ կգ/վ}$: Հաշվարկներն իրականացվել են ինչպես ջեռուցման, այնպես էլ հովացման սեզոնների համար՝ հաշվի առնելով սեզոնային ժամանակահատվածը և առանձին ամիսները: Երևան քաղաքի համար ջեռուցման սեզոնի տևողությունը սահմանվել է 142 օր (3408 ժամ), իսկ հովացման սեզոնինը՝ 143 օր (3432 ժ): «Ծարավ Աղբյուր» թաղամասի ջերմացրտամատակարարման համակարգի (ՋՑՄՀ) վերլուծության արդյունքում պարզվել է, որ ջեռուցման սեզոնում, ցանցից առաջացող ջերմային կորուստները, $80/60^\circ\text{C}$, $60/40$ և $45/25^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանային ռեժիմներում, զգալիորեն տարբերվում են: Մասնավորապես, ջերմային բեռնվածության համեմատ, սեզոնի ընթացքում միջին ջերմային կորուստները կազմում են 12% ՝ $80/60^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանային ռեժիմում, 8% ՝ $60/40^\circ\text{C}$ ռեժիմի դեպքում և 6% ՝ $45/25^\circ\text{C}$ ռեժիմի դեպքում, երբ արտաքին ջերմային ցանցի ընդհանուր երկարությունը կազմում է 540մ : Ըստ նշված ռեժիմներում ջերմատարի ջերմաֆիզիկական հատկությունների, իրականացվել են մայրուղային խողովակագծերում հիդրավլիկական հաշվարկներ, որոնց արդյունքները հետևյալն են՝ $80/60^\circ\text{C}$ -10 մ, $60/40^\circ\text{C}$ -9,8 մ և $45/25^\circ\text{C}$ - 9,6 մ ջրի սյուն: Ընդունվել է, որ ձմռան ամիսներին **ՋՊՏ**-ի համար ցածր ջերմաստիճանային ջերմաղբյուր է ծառայում շրջապատող օդը, որպես համընդհանուր տարբերակ, երբ ունենք պայմանը՝ $t_o \leq t_n$: Սա կնշանակի, որ կդիտարկվեն R32-ի թերմոդինամիկական շրջափուլերը՝ $t_n=70, 60, 50^\circ\text{C}$ և $t_o=-20^\circ\text{C}$ -ի պարամետրերով, որոնք բերված են **Նկ.8-ում**: Շրջափուլերից հետևում է, որ t_n -ի փոփոխությունից կախված, միևնույն t_o -ի պայմաններում, $q_{\text{к,к}}$ մեծությունները ևս

փոփոխվում են, սակայն տարբեր տոկոսներով, որը պայմանավորված է տվյալ սառնագենտի թերմոդինամիկական հատկություններով: Երբ $t_k=70^{\circ}\text{C}$, ապա $q_k/l_k = \mu_k = 2,41$, $t_k=60^{\circ}\text{C}$ ՝ $\mu_k = 2,88$, $t_k=50^{\circ}\text{C}$ ՝ $\mu_k = 3,35$: Արդյունքում ՋՊՏ-ի վերափոխման գործակցի արժեքների հարաբերությունը փոփոխվում է՝ 19%, երբ ունենք 70/60-ի և 16%, երբ ունենք 60/50-ի: Ստացվածից կհետևի, որ վերափոխման գործակիցների հարաբերությունն աճում է t_k -ին համարժեք: Վերափոխման գործակցի աճը $50^{\circ}\text{C}/70^{\circ}\text{C}$ կկազմի 28%:



Նկ.8. R32-ի թերմոդինամիկական շրջափուլ տարբեր t_k -ի դեպքում

Նույն մեծությունները R410A սառնագենտի համար կկազմեն՝ $t_k=60^{\circ}\text{C}$, $\mu_k = 1,94$; $t_k=50^{\circ}\text{C}$, $\mu_k = 2,39$: Վերափոխման գործակիցների հարաբերությունը կկազմի 19%: R32 և R410A-ի համեմատությունից երևում է, որ R410A-ի օգտագործումը ՋՊՏ-ի համար նպատակահարմար չէ (Նկ.9):



Նկ.9. R410A-ի և R32ի վերափոխման գործակիցները $t_k=50,60,70^{\circ}\text{C}$ դեպքում

Նշված եզրակացություններն արվել են ըստ թերմոդինամիկական վերլուծության արդյունքների: Առավել հիմնավոր եզրակացությունների կարելի է հանգել համակարգերի տնտեսական վերլուծության արդյունքում:

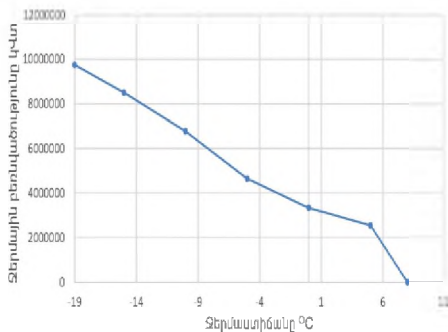
Գլուխ 4.3-ում կատարվել է ջերմապոմպային տեղակայանքների տնտեսական վերլուծությունը: Տնտեսական վերլուծության շրջանակում հաշվի է առնվել տեղակայանքի

ներդրման, շահագործման և սպասարկման ծախսերը, էներգիայի սպառման ծավալները, ներդրումների վերադարձի ժամկետը, բերված ծախսերը, որը կբերի շուկայում տեղակայանքի մրցունակությունը և էկոլոգիական ցուցանիշները: Այն օպտիմալացնում է ԶՊՏ աշխատանքը, և ապահովում է դրա երկարակեցությունը, տնտեսական նպատակահարմարությունն ու շահութաբերությունը: Կապիտալ ներդրումները ներկայացնում են սարքավորումների ձեռք բերման, մոնտաժման, հողային աշխատանքների ծախսերը: Դիտարկվել է երկու տարբերակ՝ ա. ջերմացրտամատակարարումն իրականացվում է **կենտրոնական և բ. տեղական-կենտրոնական**՝ ամեն շենք սնվում է իր տանիքում տեղակայված ԶՊՏ կենտրոններից: Որպեսզի հաշվարկային և նվազագույն ջերմաստիճանների պայմաններում չաճեն ԶՊՏ ջերմարտադրողականությունները, ապա այս ժամանակաշրջաններում որոշվել է ջերմատարի ջերմաստիճանը բարձր պահելու համար իրականացնել նրա աստիճանական տաքացում ԶՊՏ-ում՝ ըստ նշված ռեժիմների, ապա գազային ջրատաքացուցիչ կաթսայում: Վերջինիս վրա ներդրման ծախսերն ու բնական գազի շահագործման ծախսերը ընդգրկված են բերված ծախսերի մեջ: Հստակ ստացվել է, որ կենտրոնական համակարգը կապիտալ ներդրումների տեսանկյունից առավել արդյունավետ է, քան տեղական կենտրոնականը: Մասնավորապես՝ կենտրոնական համակարգի կապիտալ ներդրումները կազմում են 1 766 481 746 ՀՀ դրամ: Մինչդեռ տեղական-կենտրոնական տարբերակի դեպքում՝ 2 393 671 506 ՀՀ դրամ: Այսինքն՝ կենտրոնացված տարբերակը շուրջ 26%-ով ավելի մատչելի է, ինչը լուրջ ֆինանսական բեռնվածություն է նման մեծածավալ նախագծի դեպքում: Կապիտալ ներդրումներից զատ նաև համեմատվել են շահագործման ծախսերը նշված դեպքերում: Շահագործման ծախսերի վերլուծությունը թույլ է տալիս գնահատել համակարգի շահավետությունը ամբողջ կյանքի ցիկլի ընթացքում: Որպես հիմնական գործոն դիտարկվել է էլեկտրաէներգիայի և բնական գազի սպառման ծախսերը: ԶՅԱՀ-ի սարքավորումների համար աշխատանքի տնտեսապես շահավետ ռեժիմների հաստատման, ջերմատարի նպատակահարմար պարամետրերի ընտրության, ինչպես նաև տեխնիկատնտեսական հետազոտությունների իրականացման համար անհրաժեշտ է լինում հաշվի առնել տարվա ընթացքում կրկնվող ջերմային բեռնվածությունները տարբեր ռեժիմների դեպքում: Այդ նպատակի համար հարկ է լինում կառուցել ջեռուցման համար ջերմության տարեկան ծախսի գրաֆիկը (**Ռոսանդերի գրաֆիկ**): Այն կառուցվում է տվյալ վայրի արտաքին ջերմաստիճանների տևողությունների և կլիմայական տվյալների հիման վրա: Զեռուցման տարեկան գրաֆիկի կառուցման համար, նախ, կախված արտաքին օդի ջերմաստիճաններից, ըստ (1) բանաձևի (+8°C-ից մինչև t_w) կառուցվում է ջերմության ժամային ծախսի գրաֆիկը, որը կլինի ուղիղ գիծ՝ $Q = f(t)$:

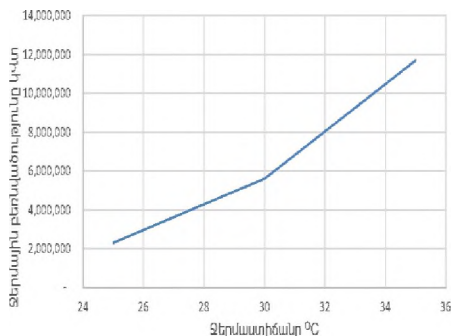
$$Q = Q_h \cdot \frac{t_u - t_w^{\text{նիւթ}}}{t_u - t_w} \cdot n \quad (1)$$

որտեղ Q -ն ջերմության ծախսն է արտաքին օդի ընթացիկ ջերմաստիճանի համար, կՎտ, Q_h -ն՝ ջեռուցման համար ջերմության հաշվարկային ծախսն է նշված ժամանակահատվածի համար, կՎտ, t_w -ը՝ արտաքին օդի հաշվարկային ջերմաստիճանը, °C, t_u -ը՝ ներսի օդի ջերմաստիճանը, °C, t_w -ը՝ արտաքին օդի ընթացիկ ջերմաստիճանն է ջեռուցման սեզոնի ամիսներին, (+8°C-ից մինչև t_w), °C: n -ջերմաստիճանների պահպանման ժամանակ է տվյալ ժամանակահատվածում ժամ:

Կենտրոնական դեպքում ջեռուցման (Նկ.10.ա) և հովացման (Նկ.10.բ) սեզոնների համար կստանանք՝



ա)



բ)

Նկ.10. Կենտրոնական դեպքում Ռոսանդերի գրաֆիկ ա) ջեռուցման սեզոնում, բ) հովաքման սեզոնում

Ըստ այս գրաֆիկների հաշվարկվում են էլ. էներգիայի և գազի ծախսերը, որոնք ջեռուցման և հովաքման սեզոնների համար ստացվում են 7 364 710 կՎտ, 59 249 նմ³/ժ: Էլ. էներգիայի սակագինը հաշվարկվում է ըստ ցերեկային և գիշերային սակագներով, որոնք լինում են համապատասխանաբար՝ 48,48 և 38,48 դրամ: Տվյալ ամսում գազի սակագինը կազմել է՝ 94 854 դրամ/1000մ³: Ըստ այդ սակագների հաշվարկվել են շահագործման ծախսերը, համապատասխանաբար՝ 5 620 037 և 332 492 093 դրամ/ սեզոն: Գազի և էլ. էներգիայի ծախսը տարվա համար ստանում ենք 338 112 130 դրամ: Ամեն բնակարանի համար միջին ամսեկան ՋՑԱՀ շահագործման արժեքը կստացվի՝ 35 915 դրամ: Նույն հաշվարկը կատարվել է տեղական կենտրոնական տարբերակով՝ ամեն շենքի համար տեղական կենտրոնական: Կառուցվել է Ռոսանդերի գրաֆիկները ամեն շենքի համար, ըստ որի հաշվարկվել են շահագործման ծախսերը: 14 հարկանի փողոց շենքերի համար 1 բնակարանի համար միջին ջեռուցման/հովաքման համակարգերի շահագործման արժեքը կկազմի՝ 48 296 դրամ/ամիս, 14 հարկանի մեծ շենքերի համար՝ 50 058 դրամ/ամիս, 13 հարկանի շենքի համար՝ 40 715 դրամ/ամիս: Այս երեք շենքերի համար ստանանք ընդհանուր շահագործման միջին ծախս՝ 46 356 դրամ/ամիս: Ստացվում է, որ մոտ 29% շահագործման ծախսերն ավելի բարձր են, քան կենտրոնական համակարգի դեպքում: Նույն հաշվարկները կատարվել են նաև R134a, R410A ֆրեոնների դեպքում: R134a ֆրեոնի կոնդենսացման ջերմաստիճանը բարձր է՝ 101,1°C, իսկ գոլորշիացման ջերմաստիճանը ցածր՝ -26,1°C, այսինքն տեսականորեն կարելի է դիտարել, որ ձմռանը ՋՊ-ն կարող է աշխատել նաև առանց լրացուցիչ ջերմադրյուրի, որի դեպքում կենտրոնական համակարգի դեպքում կունենանք՝ 39 785 դրամ/ամիս, իսկ տեղական-կենտրոնականի դեպքում՝ 48 853 դրամ/ամիս: R134a ֆրեոնով ստացված շահագործման ծախսերը մոտ 15% ավելի են, քան R32-ի դեպքում: Պատճառը պարզ է՝ բացասական ջերմաստիճաններում վերափոխման գործակիցն ընկնում է՝ 1,2: R410A-ի թերմոդինամիկական պարամետրերը շատ նման են R32-ին, այսինքն պետք է երկրորդային ջերմադրյուր: Սակայն R410A-ի վերափոխման գործակիցը 5,6%-ով փոքր է R32-ից՝ շահագործման ծախսերը ստացվում են ավելի բարձր 5%-ով, սակայն մոտ 5% փոքր՝ R134a-ից: Այս ամենի հետ մեկտեղ նաև հաշվի առնենք, որ R134a, R410A ֆրեոնները բացասական ազդեցություններ ունեն էկոլոգիայի վրա:

ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

1. Հայաստանում, առավել կարևոր խնդիրներից է դարձել հանածո վառելիքի խնայողաբար օգտագործումը և շրջակա միջավայրի պահպանումը: Բնության պահպանման և ներկրվող վառելիքի ծախսի նվազեցման նպատակով մեծ ուշադրություն է դարձվում ԶՏՄՀ-ում էկոլոգիապես մաքուր էներգառեսուրսների կիրառմանը: Սպառվող էներգիայի հիմնական մասը օգտագործվում է շենքերի և շինությունների ջեռուցման ու հովացման կարիքների համար: Սա ենթադրում է, որ այդ պահանջները բավարարելու նպատակով անհրաժեշտ է հրաժարվել ավանդական մեթոդներից և անցնել այլընտրանքային էներգիայի աղբյուրների, մասնավորապես՝ ԶՊ-ի կիրառմանը:
2. Զեռուցման և հովացման համակարգերում R134a, R22, R32, R410A և R407C սառնագենտների (ֆրեոնների) համեմատական վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ սառնագենտների ընտրությունը պետք է կատարվի՝ հաշվի առնելով աշխատանքային ջերմաստիճանային ռեժիմները, սարքավորումների համատեղելիությունը և բնապահպանական ազդեցությունները: Դրանցից նախընտրելի է կիրառել այնպիսի սառնագենտներ, որոնք հնարավորություն կտան ապահովել առավելագույն տեխնիկատնտեսական և էկոլոգիական ցուցանիշներ: Տնտեսապես նպատակահարմար և տեխնիկապես առավել արդյունավետ է R32-ի կիրառությունը:
3. Տեսական հետազոտությունները ցույց են տալիս, որ թաղամասի համար ջերմային պոմպի կիրառության տարբերակներում կենտրոնական տիպի ջեռուցման/հովացման համակարգերի շահագործման ծախսերը 30%-ով ցածր են, քան տեղական կենտրոնական համակարգերինը (անհատական ամեն շենքի տանիքին):
4. Հետազոտությունները փաստում են, որ ժամանակակից ֆրեոնների կիրառման դեպքում, որոնց տեսակարար արտադրողականությունը բարձր է, ներքնակարանային ջեռուցման/ հովացման սարքեր կարող են ծառայել ֆանքոյլները և հատակային ջեռուցման համակարգը՝ ցածր կոնդենսացման ջերմաստիճանների պատճառով:
5. Վերլուծելով ռեգեներատիվ ջերմափոխանակիչի կիրառումը ջերմային պոմպերում, փաստում ենք, որ այն բարելավում է մի շարք գործոններ՝ որոշակի սառնագենտների տեսակարար ծավալային ցրտարտադրողականությունը և տեսական սառնարանային գործակիցը մեծանում է, յուրի վերադարձը օպտիմալացվում է, մազանոթային խողովակի աշխատանքը բարելավում է, ճնշակը պաշտպանվում է հիդրավլիկական հարվածից:
6. Տեսական և փորձնական հետազոտությունները ցույց տվեցին, որ ջերմային պոմպերի կիրառումը արտաքին օդի ցածր ջերմաստիճանների դեպքում նպատակահարմար է դառնում չկոնդենսացող սառնագենտի մասնակի կիրառման դեպքում, ինչպես նաև դրանց անխափան աշխատանքի նպատակով, անխուսափելի է յուրի թասակի և կոնդենսատի հեռացման խողովակի տաքացումը:
7. Միջանկյալ ջերմակրող օդի սառեցման համակարգերի ուսումնասիրությունները ցույց տվեցին, որ դրա շնորհիվ համակարգերը կլինեն ավելի արդյունավետ այնպիսի արտադրական տարածքներում, որոնցում առկա է շուրջտարյա դրական

ջերմաստիճաններ: Այսպիսի համակարգերի արդյունավետությունն ակնհայտ է հատկապես այնպիսի երկրներում, որոնք ունեն չափավոր և ցուրտ կլիմա:

8. ԳՋՊԿ համակարգերի արդյունավետությունը բարձրացնելու, ինչպես նաև հորատանցքերի նախնական արժեքը նվազեցնելու նպատակով անհրաժեշտ է կիրառել համակցված համակարգեր: Ինչպես նաև ԳՋՊԿ համակարգերը, որոնք նախագծված են ողջամիտ համակցված համակարգերով, կարողանում են արդյունավետ աշխատել 3-5 վերափոխման գործակցով: Բնակելի շենքերի համար, որտեղ տաք ջրամատակարարման պահանջը մեծ է, հատկապես տաք կլիմայական գոտիներում, անհրաժեշտ է ԳՋԲԿ-ն համակցել ջերմության վերականգնման (ռեգեներացիոն) սարքավորումների հետ, որպեսզի օգտագործվի կոնդենսատորի միջոցով հեռացվող ջերմությունը:

1. Մովսիսյան Կ.Ա. Զերմային պոմպով ջեռուցման համակարգերում ջերմային էներգիայի պահուստավորման տեխնոլոգիայի կիրառման օպտիմալացումը // ՃՇՀԱՀ գիտական աշխատություններ.-Եր.: 2025, № 1(91).- էջ 74-85
<https://doi.org/10.54338/18294200-2025.1-10>
2. Մովսիսյան Կ.Ա. Շինությունների ջեռուցման և հովացման համակարգերում գեոթերմալ ջերմապոմպային կայանների կիրառման ուսումնասիրություն // Հայաստանի ճարտարագիտական ակադեմիայի լրաբեր (ՀՃԱԼ).-Եր.: 2024, № 21.- էջ 73-80
<https://www.engineeringacademy.am/2024.pdf>
3. Մովսիսյան Կ.Ա. Զերմային պոմպերի շահագործման հարմարեցումը ցուրտ կլիմայական պայմաններին // Հայաստանի ճարտարագիտական ակադեմիայի լրաբեր (ՀՃԱԼ).-Եր.: 2024, № 21.- էջ 59-66.
<https://www.engineeringacademy.am/2024.pdf>
4. Մովսիսյան Կ.Ա. Գեոթերմալ ջերմապոմպային կայանքների կիրառման հնարավորությունները եվ համակցված համակարգերի նորարական լուծումները// ՃՇՀԱՀ գիտական աշխատություններ.-Եր.: 2024, № 3(90).- էջ 84-93.
<https://doi.org/10.54338/18294200-2024.3-10>
5. Մովսիսյան Կ.Ա., Միաստիճանային սառնարանային ցիկլում ռեգեներացիոն ջերմափոխանակչի կիրառման ուսումնասիրությունը // ՃՇՀԱՀ գիտական աշխատություններ.-Եր.: 2024 № 2(89).- էջ 77-86.
<https://doi.org/10.54338/18294200-2024.2-09>
6. Մովսիսյան Կ.Ա. Սառնարանային տեղակայանքների էներգաարդյունավետության հետազոտումը միջանկյալ ջերմակրով համակարգերի կիրառմամբ // ՃՇՀԱՀ գիտական աշխատություններ.-Եր.: 2024, № 2(89).- էջ 69-76.
<https://doi.org/10.54338/18294200-2024.2-08>
7. Քարամյան Ա.Կ., Հակոբյան Դ.Գ., Ղազարյան Կ.Հ., Մովսիսյան Կ.Ա. Էներգախնայողության բարձրացման հնարավորություններն ու հեռանկարները Հայաստանում // ՃՇՀԱՀ գիտական աշխատություններ.-Եր.: 2019, №IV(75).-էջ115-124.
[ISSN 1829-4200]

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ ТЕПЛОХЛАДОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ
С ТЕПЛОВЫМИ НАСОСНЫМИ УСТАНОВКАМИ
РЕЗЮМЕ

Работа посвящена исследованию и совершенствованию систем теплоснабжения и холодоснабжения жилых зданий с использованием тепловых насосных установок (ТНУ) в климатических условиях Республики Армения. Актуальность темы обусловлена необходимостью повышения энергоэффективности зданий, сокращения потребления органического топлива и использования альтернативных, экологически чистых источников энергии, таких как солнечное излучение, геотермальная энергия и вторичные источники тепла. Целью диссертационного исследования является разработка и обоснование технологических схем систем теплоснабжения и холодоснабжения, обеспечивающих минимальное потребление первичной энергии при оптимальных термодинамических, экологических и экономических показателях на протяжении всего года. В работе рассматриваются различные типы тепловых насосов. Проведён анализ климатических условий Армении и энергоэффективных решений, адаптированных к различным регионам страны. Проведён комплексный анализ работы тепловых насосов с различными хладагентами, выявлены их эксплуатационные характеристики, термодинамические параметры и влияние на окружающую среду. Внимание уделено выбору оптимального хладагента с учетом потенциала разрушения озонового слоя и глобального потепления. Разработаны и исследованы новые схемы с применением промежуточных теплоносителей, регенерационных теплообменников, геотермальных контуров и комбинированных систем с солнечными коллекторами. В работе приведены результаты экспериментального исследования, проведенного на реальном жилом объекте в Ереване, в условиях низких зимних температур. Показано, что ТНУ эффективно функционируют даже при температуре наружного воздуха -10°C , а при необходимости включаются вспомогательные источники тепла. На основе анализа опытных данных построены энергетические графики, выполнены теплотехническо-экономические расчёты для централизованных и локальных систем отопления. Доказано, что централизованные системы с тепловыми насосами обеспечивают до 30% экономии эксплуатационных расходов по сравнению с индивидуальными решениями. Практическая значимость диссертационной работы заключается в возможности её применения при проектировании энергоэффективных жилых зданий, модернизации существующих систем теплоснабжения и формировании государственной политики в сфере энергосбережения. Предложенные решения находят применение в условиях урбанизированных районов, таких как жилой массив «Царав Ахпюр», и могут быть масштабированы на другие регионы страны. Научная новизна исследования заключается в разработке новых расчетных методик, схем теплоснабжения и холодоснабжения с использованием тепловых насосов, определении оптимальных параметров их работы и оценке их эффективности с учетом климатических, технических и экономических факторов.



RESEARCH ON HEATING AND COOLING SYSTEMS OF RESIDENTIAL BUILDINGS WITH
HEAT PUMP INSTALLATIONS
SUMMARY

The work is dedicated to the study and improvement of heating and cooling systems in residential buildings using heat pump installations (HPIs) under the climatic conditions of the Republic of Armenia. The relevance of the topic is due to the need to increase the energy efficiency of buildings, reduce the consumption of fossil fuels, and utilize alternative, environmentally clean energy sources such as solar radiation, geothermal energy, and secondary heat sources. The aim of the dissertation research is to develop and justify technological schemes for heating and cooling systems that ensure minimal primary energy consumption with optimal thermodynamic, environmental, and economic performance throughout the year. The study examines various types of heat pumps. An analysis of Armenia's climatic conditions and energy-efficient solutions adapted to different regions of the country is provided. A comprehensive analysis of heat pump operation with various refrigerants is carried out, identifying their operational characteristics, thermodynamic parameters, and environmental impact. Special attention is given to selecting optimal refrigerants considering their ozone depletion potential (ODP) and global warming potential (GWP). New schemes are developed and analyzed using intermediate heat carriers, regenerative heat exchangers, geothermal circuits, and hybrid systems with solar collectors. The work includes the results of an experimental study conducted on a real residential building in Yerevan under low winter temperature conditions. It is shown that HPIs function efficiently even at outdoor temperatures as low as -10°C , and auxiliary heat sources are activated when necessary. Based on experimental data analysis, energy performance charts are constructed, and thermal-technical and economic calculations are carried out for centralized and local heating systems. It is proven that centralized systems with heat pumps can reduce operational costs by up to 30% compared to individual solutions. The practical significance of the dissertation lies in its potential application in designing energy-efficient residential buildings, modernizing existing heating systems, and shaping state energy-saving policies. The proposed solutions are suitable for urban areas, such as the residential district "Tsarav Akhbyur" and can be scaled to other regions of the country. The scientific novelty of the study lies in the development of new calculation methodologies, heating and cooling system schemes using heat pumps, determining optimal operating parameters, and evaluating their efficiency based on climatic, technical, and economic factors.

