

Լ.Ս. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ, Ն.Ռ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Վ.Հ. ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ

**ՋԵՌՈՒՑՄԱՆ, ՕԴԱՓՈԽՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ՏԱՔ ԶՐԱՄԱՏԱԿԱՐԱՐՄԱՆ
ՀԱՄԱԿԱՐԳ՝ ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ՎԵՐԿԱՆԳՆՎՈՂ ԱՂԲՅՈՒՐՆԵՐԻ ՀԻՄԱՆ ՎՐԱ**

Ուսումնասիրվել են հիմնական ոչ մեծ ջերմամատակարարման համակարգերը վերականգնվող էներգիայի աղբյուրների հիմքի վրա՝ արևային տաքացուցիչի և գրունտային ջերմային պոմպի ջերմության սեզոնային կուտակիչով:

Առանցքային բառեր. արևային կոլեկտոր, ջերմային պոմպ, սեզոնային գրունտային ջերմության կուտակիչ:

Զարգացած երկրների մեծ մասն աստիճանաբար անցնում է էներգիայի վերականգնվող աղբյուրների կիրառմանը: Որոշ երկրներում, այդ թվում՝ նաև Հայաստանի Հանրապետությունում, դրանց ներդրումը դանդաղ է ընթանում:

Քաղաքներում և բնակեցված կետերում ջերմամատակարարման գոյություն ունեցող իրավիճակը, ջերմաֆիկացիոն սարքավորումների և ջերմային ցանցերի համընդհանուր մաշվածությունը, բոլոր տիպի էներգակիրների գնի անընդհատ աճը և, որպես հետևանք, ջերմային էներգիայի սակագնի բարձրացման կայուն միտումները թելադրում են բնակչության էներգամատակարարման արմատական փոփոխություններ և էներգախնայող տեխնոլոգիաների մեծամասշտաբ կիրառում:

Ստեղծված իրավիճակի զգալի բարելավումը, ապահովելով բնակչությանը ջերմային էներգիայով և որոշակի կայուն սակագնի աճով, կարելի է ակնկալել դեռևս միայն վերականգնվող էներգաաղբյուրներով աշխատող համակարգերի լայն կիրառման պարագայում, ինչպիսիք են ջերմային պոմպերը, արևային կոլեկտորները և այլն: Դա պայմանավորված է նրանով, որ ջերմային պոմպերի կիրառման դեպքում ջերմային էներգիայի ծախսերը նվազում են՝ ի համեմատ ավանդական էներգատեղակայանքների՝ համապատասխանաբար բնական գազ՝ 1.1, ածուխ՝ 5 և մագուի՝ 7 անգամ [1]:

Աշխատանքում ներկայացված են ջերմային էներգիայի արժեքի փոփոխման միտումները վերականգնվող էներգաաղբյուրներով ոչ մեծ ջերմամատակարարման համակարգերում՝ հաշվի առնելով ինվեստիցիաները արևային ջերմության սեզոնային կուտակման տաքացուցիչների և գրունտային պոմպերի համար:

Սարքավորումների համատեղ աշխատանքը բարձրացնում է դրանց էներգաարդյունավետությունը, թույլ է տալիս լուծել արևային կոլեկտորների ավելցուկային ջերմության օգտահանման խնդիրը, բարձրացնում է գրունտային ջերմափոխանակչի ջերմաստիճանային պոտենցիալը, ինչպես նաև ապահովում է ջրի կայուն տաքացումը:

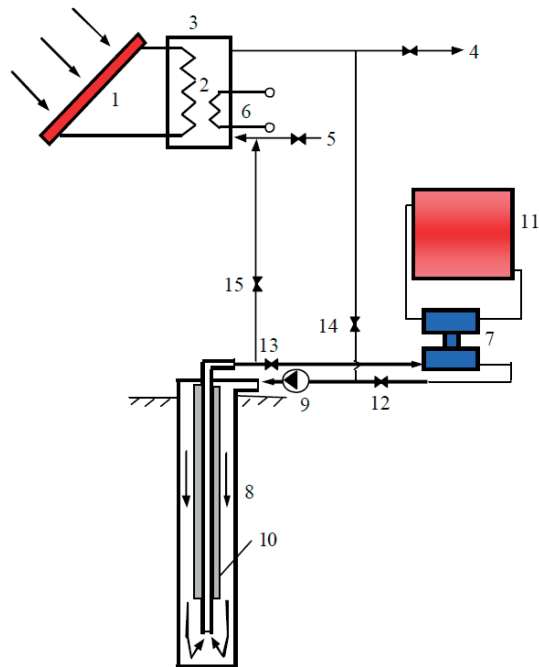
Ջերմային պոմպերի ջերմության բոլոր աղբյուրները այս կամ այն կերպ ենթակա են արեգակնային էներգիայի ազդեցությանը, սակայն դրանք կարելի է օգտագործել և անմիջականորեն արևային կոլեկտորների միջոցով: Ջերմային պոմպերի համար լայնորեն օգտագործվում են շենքերի տանիքների վրա տեղադրվող հարթ կոլեկտորները:

Արեգակնային էներգիայի օգտագործման նպատակահարմարությունը կախված է կիրառման շրջանի կլիմայական պայմաններից: Այս աղբյուրի պոտենցիալ ճառագայթային էներգիայի ռեսուրսներով Հայաստանը բավականաչափ հարուստ է. միջին հաշվարկով հորիզոնական մակերևույթի վրա ընկնող գումարային հոսքի տարեկան մեծությունը կազմում է 1720 կՎտ/մ²: Ճառագայթային հոսքի փոքր խտության հետևանքով պահանջվում է արևային կոլեկտորների կլանող մակերևույթների զգալի մակերես: Բացի դրանից, այս աղբյուրն ունի ևս մի զգալի թերություն. արեգակնային ճառագայթման մուտքը անհավասարաչափ է: Դա պահանջում է ինչպես օրական, այնպես էլ սեզոնային կուտակիչների առկայություն: Մասնագետները վաղուց եկել են եզրակացության, որ մի տեղակայանքում միավորումը երկու անկախ վերականգնվող էներգիայի աղբյուրների, օրինակ, արեգակի և գրունտի, կապահովի և՛ ձևափոխման առավելագույն գործակից, և՛ սեզոնային բեռնվածության գործակից:

Համաշխարհային պրակտիկայում գոյություն ունեն ջերմային պոմպի և արևային կոլեկտորի համատեղ աշխատանքի (արևային ջերմային պոմպի) բազմաթիվ սխեմաներ:

Արևային ջերմային պոմպի սկզբունքային ջերմային սխեմաներից մեկը բերված է նկ. 1-ում. այն օգտագործում է արևային էներգիան և գրունտի վերին շերտում կուտակված ջերմությունը:

Այսպիսի համակարգը բաղկացած է արևային կոլեկտորից, ջերմափոխանակչից, բաք-կուտակչից, ջերմային պոմպից և հոր-ջերմափոխանակչից: Արևային կոլեկտորով շրջանառություն է կատարում ջերմակիրը (անտիֆրիզ): Ջերմակիրը արևային էներգիայով տաքանում է արևային կոլեկտորում, ապա տալիս է ջրին ջերմային էներգիան բաք-կուտակչում մոնտաժված ջերմափոխանակչով: Բաք-կուտակչում կուտակվում է տաք ջուրը մինչև դրա օգտագործման պահը, դրա համար էլ այն պետք է ունենա լավ ջերմամեկուսացում: Բաք-կուտակչում մոնտաժված է նաև էլեկտրական տաքացուցիչ: Բաք-կուտակչում ջերմաստիճանի սահմանվածից ներքև իջնելու դեպքում (երկարատև ամպամած եղանակ կամ էլ ձմռանը արևափայլի փոքր ժամերի թիվ), էլեկտրատաքացուցիչը ավտոմատ միանում է, լրատաքացնում ջուրը մինչև սահմանված ջերմաստիճան: Արևային կոլեկտորի բլոկը շահագործվում է շուրջտարի և ապահովում է սպառիչը տաք ջրով, իսկ ջերմային պոմպը և գրունտ-ջերմափոխանակիչ համակարգը շահագործվում են միայն ջեռուցման սեզոնում:



Նկ. 1. Ջեռուցման և տաք ջրամատակարարման արևա-երկրաջերմային համակարգի սկզբունքային սխեման

1. արևային կոլեկտոր, 2. ջերմափոխանակիչ, 3. ջերմամեկուսացված բաք-կուլտակիչ՝ տաք ջրամատակարարման համար, 4. դեպի տաք ջրամատակարարում, 5. սառը ջրի մատուցում, 6. էլեկտրատաքացուցիչ, 7. ջերմային պոմպ, 8. հոր-ջերմափոխանակիչ, 9. շրջանառության պոմպ, 10. ջերմամեկուսացում, 11. հատակային ջեռուցման համակարգ, 12...15. փականներ

ՋՊ-ի ցիկլում սառը ջուրը 5°C -ից ջերմաստիճանով անցնում է հոր-ջերմափոխանակչի միջխողովակային տարածքով և վերցնում է շրջակա գրունտից ցածրատենցիալային ջերմությունը: Ապա, կախված հորի խորությունից, մինչև $10...15^{\circ}\text{C}$ տաքացված ջուրը բարձրանում է կենտրոնական խողովակաայունով դեպի մակերևույթ: Ջերմության հետադարձ հոսքի կանխագելման համար կենտրոնական պոմպը արտաքինից ջերմամեկուսացված է: Մակերևույթի վրա հորից բարձրացած ջուրն անցնում է ՋՊ գոլորշացուցիչ, որտեղ տեղի է ունենում ցածր ջերմաստիճանում եռացող բանոլ ազդակի տաքացումը և գոլորշիացումը: Գոլորշիացուցից հետո հովացած ջուրը նորից ուղղվում է դեպի հոր: Ջեռուցման սեզոնում ջրի մշտական շրջանառության դեպքում հորի շուրջը տեղի է ունենում գրունտի ջերմաստիճանի աստիճանական նվազում:

Միաջեռուցման ժամանակահատվածում, երբ ջեռուցման համակարգն անջատվում է, տեղի է ունենում հորի շուրջը գրունտի ջերմաստիճանի աստիճանական վերականգնում (մինչև 70%)՝ հովացման գոտուց դուրս գտնվող գրունտից ջեր-

մության ներհոսքի հաշվին. միաջեռուցման ժամանակահատվածում հորի շուրջը ջերմաստիճանի լրիվ վերականգնմանը հասնել չի հաջողվում:

Արևային կոլեկտորները տեղադրվում են՝ ելնելով համակարգի ձմեռվա ժամանակահատվածում շահագործման ջերմային հաշվարկից, երբ արևափայլը նվազագույնն է: Ամառվա ժամանակահատվածում ջերմային էներգիայի ավելցուկը տաք ջրի տեսքով բաք-կուտակչից ուղղվում է հոր՝ հորի շուրջը գրունտի ջերմաստիճանի լրիվ վերականգնման համար:

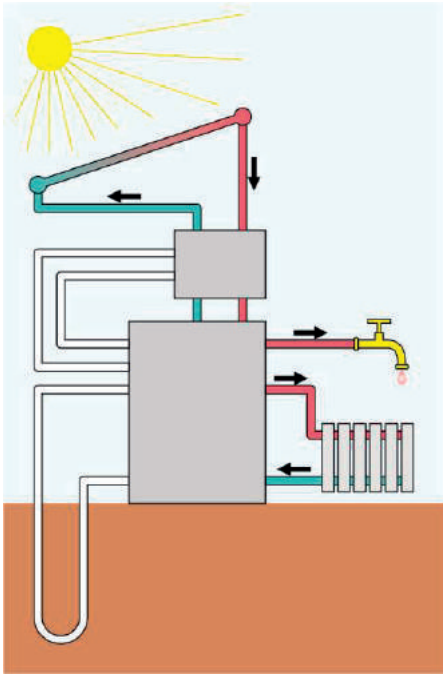
Միաջեռուցման ժամանակահատվածում 12 և 13 փականները փակ են, և 14 և 15 փականների բաց լինելու դեպքում տաք ջուրը բաք-կուտակչից մղվում է հորի միջխողովակային տարածություն, որտեղ իջեցմանը զուգընթաց տեղի է ունենում ջերմափոխանակություն հորը շրջապատող գրունտի հետ: Ապա հովացված ջուրը կենտրոնական ջերմամեկուսացված սյունով ուղղվում է հետ՝ դեպի բաք-կուտակիչ: Զեռուցման սեզոնում, ընդհակառակը, 12 և 13 փականները բաց են, իսկ 14 և 15 փականները փակ են:

Այսպիսի տեխնոլոգիական համակարգում արեգակնային էներգիայի պոտենցիալն օգտագործվում է առավելագույնս, քանի որ արևային կոլեկտորները շահագործվում են ողջ տարվա ընթացքում ինչպես տաք ջրամատակարարման համակարգում ջրի տաքացման համար, այնպես էլ հորի շուրջը գրունտի տաքացման համար: Գրունտի ջերմության ռեգեներացիան հնարավորություն է տալիս ջեռուցման սեզոնի ընթացքում ունենալու ԶՊ ձևափոխման գործակցի բարձր արժեքներ և շահագործելու ջերմամատակարարման համակարգը տնտեսապես օպիտմալ ռեժիմով:

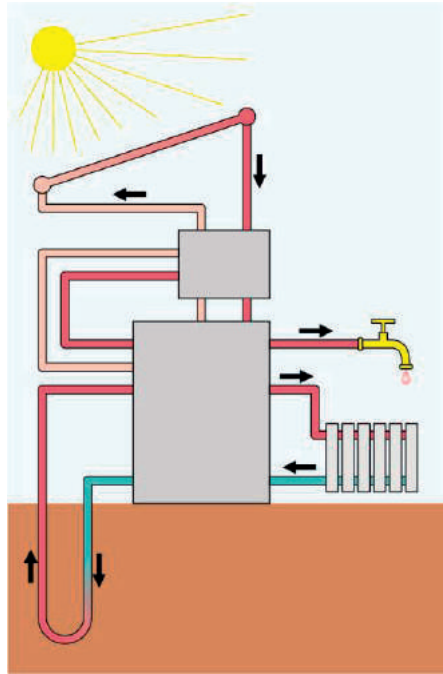
Արևային կոլեկտորները տեղադրված են շենքերի տանիքների: Տեղակայանքում դրանք կարող են աշխատել ինչպես ջերմային պոմպի հետ համատեղ, այնպես էլ առանձին: Արևային կոլեկտորի և ջերմային պոմպի անջատ ռեժիմով աշխատելու դեպքում ջերմային պոմպի համար, որում տեղադրված են գրունտային ջերմափոխանակիչները, որպես ցածրպոտենցիալային ջերմության աղբյուր ծառայում է գրունտից խլվող էներգիան:

Կախված արեգակնային էներգիայի քանակից՝ արևային ջերմային պոմպը կարող է աշխատել չորս ռեժիմներով:

Ռեժիմ 1. Երբ արեգակնային էներգիան բավարար է, արևային ջերմային պոմպը աշխատում է՝ օգտագործելով միայն արևային կոլեկտորները: Երբ որ ջերմակրի ջերմաստիճանը արևային կոլեկտորի ելքում գերազանցում է 50°C-ը (նկ. 2), ջերմային պոմպի կոմպրեսորը չի աշխատում: Տաքացված ջերմակիրը միջանկյալ ջերմափոխանակչի և շրջանառության պոմպի միջոցով ջերմությունը հաղորդում է տաք ջրապահովման կամ տաքացման համակարգերին: Նման ռեժիմում արևային ջերմային պոմպը կոմպրեսորի և գրունտային կոնտուրի շրջանառության պոմպերի համար էլեկտրաէներգիա չի սպառում:



Նկ. 2. Համակարգի աշխատանքը կոլեկտորի ելքում ջերմակրի 50°C -ից բարձր ջերմաստիճանի դեպքում



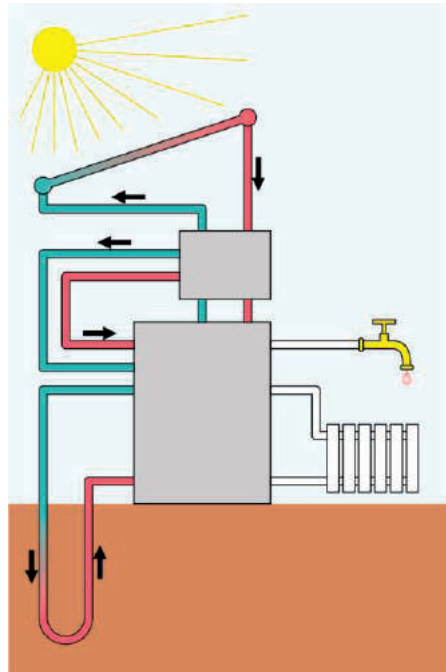
Նկ. 3. Համակցված համակարգի աշխատանքը արևային կոլեկտորի ելքում ջերմակրի 50°C -ից ցածր ջերմաստիճանի դեպքում

Էլեկտրաէներգիա սպառում են միայն արևային կոլեկտորների համակարգի պոմպերը և տաքացման կամ տաք ջրամատակարարման համակարգերը: Աշխատանքային այս ռեժիմը բնութագրական է տարվա բոլոր ժամանակահատվածներին, երբ արեգակնային էներգիայի քանակությունը բավարար է սպառիչի ողջ ջերմային բեռնվածության ծածկման համար:

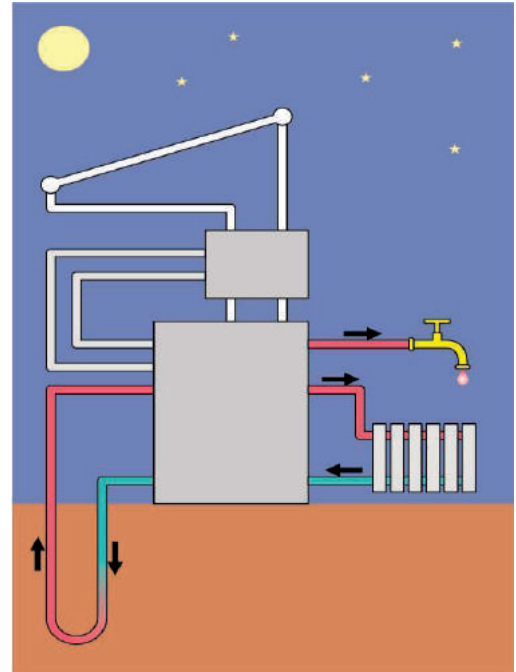
Ռեժիմ 2. Արեգակնային էներգիայով գրունտային կոնտուրի ելքում ջերմակրի տաքացում: Երբ արևային կոլեկտորի ելքում ջերմակրի ջերմաստիճանը փոքր է 50°C -ից (Նկ. 3), տեղի է ունենում արեգակնային էներգիայի միջոցով գրունտային կոնտուրի ելքում ջերմակրի տաքացում: Ջերմային պոմպի գոլորշիացուցչի մուտքում ջերմակրի ջերմաստիճանի նույնիսկ շատ փոքր մեծացումը ($1...2^{\circ}\text{C}$) հանգեցնում է ձևափոխման գործակցի աճին: Ընդ որում, տնտեսվում է գրունտի ջերմությունը, որը անսահմանափակ է: Տեղակայանքի աշխատանքի այս ռեժիմը բնութագրական է ձմեռային արևոտ օրերին:

Ռեժիմ 3. Արեգակնային էներգիայի կուտակումը հողում: Երբ սպառիչը ջերմություն չի սպառում, արեգակնային էներգիան կուտակվում է արտաքին կոնտուրի գրունտային զոնդերում: Այսպիսով, լուծվում է երկու խնդիր. արեգակնային

Էներգիայի ավելցուկի օգտահանում (արևային կոլեկտորը չի անցնում ստագնացիայի ռեժիմի) և էներգիայի կուտակում գրունտային կոլեկտորներում՝ ջերմային պոմպի ավելի արդյունավետ աշխատանքի համար: Տեղակայանքի այսպիսի ռեժիմը (նկ. 4) բնութագրական է տարվա տաք եղանակի համար (ուշ գարուն, վաղ աշուն), քանի որ այդ ժամանակահատվածում արեգակնային էներգիայի քանակությունը մի քանի անգամ գերազանցում է անհրաժեշտին:



Նկ. 4. Ջերմային պոմպի արևային աշխատանքը ջերմության ռեժիմում



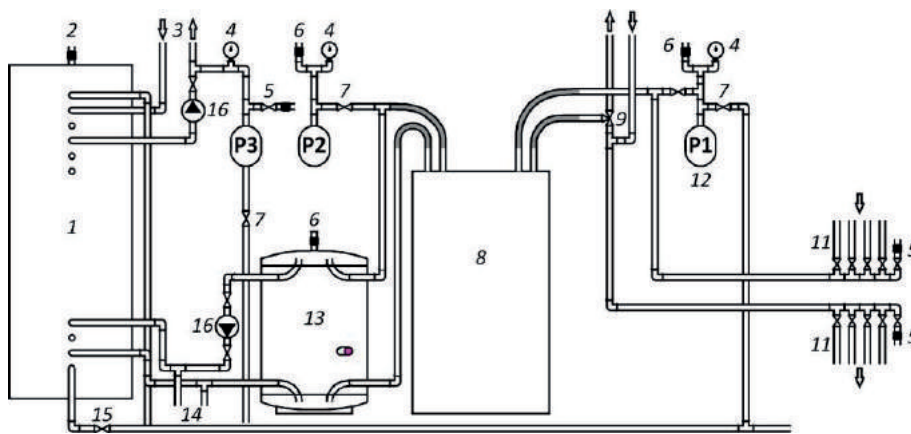
Նկ. 5. Արևային ջերմային պոմպի աշխատանքը գրունտային ջերմության կուտակման աղբյուրի օգտագործմամբ

Ռեժիմ 4. Տեղակայանքի աշխատանքը գրունտային ջերմության աղբյուրի օգտագործմամբ: Արևափայլի բացակայության դեպքում համակցված ջերմապոմպային-արևային տեղակայանքն աշխատում է որպես սովորական գրունտ-ջուր տիպի ջերմային պոմպ: Ջերմակիրը վերցնում է ջերմությունը գրունտից և անցնում է ջերմային պոմպի գոլորշիացուցիչ: Արևային ջերմային պոմպի (նկ. 5) աշխատանքի արդյունավետությունը զգալիորեն բարձր է, քան համանման ջերմային պոմպերինը, քանի որ այն օգտագործում է ջերմակիր՝ զգալիորեն ավելի բարձր ջերմաստիճանով՝ կուտակված արեգակնային էներգիայի հաշվին: Արևային ջերմային պոմպը լավ է աշխատում ուղղաձիգ և պարուրակային գրունտային ջերմափոխանակիչների օգտագործմամբ: Տեղակայանքի այսպիսի աշխատանքային ռեժիմը բնութագրական է տարվա ցուրտ ժամանակահատվածին, քանի որ արեգակնային էներգիայի

քանակությունը այդ ժամանակահատվածում նվազագույնն է կամ բացակայում է: Համակցված ջերմապոմպային-արևային համակարգի արդյունավետությունը զգալիորեն բարձր է՝ համեմատած սովորական ջերմային պոմպերի հետ, իսկ այսպիսի պոմպերի ձևափոխման գործակիցը կարող է հասնել ութի:

Այսպիսի տեղակայանքների շահագործման կարևոր պայման է այն, որ արևային կոլեկտորի տիպը (հարթ, խողովակային) առանձնապես հատուկ նշանակություն չունի, այնուամենայնիվ, գերակայությունը տրվում է վակուում խողովակային կոլեկտորներին, քանի որ դրանց արդյունավետությունը կախված է արտաքին օդի ջերմաստիճանից և տարվա եղանակից:

Նկ. 6-ում ցույց է տրված նման համալիր էներգամատակարարման տեխնոլոգիական սխեման:



Նկ. 6. «Խելացի տան» ջերմային հանգույցի սխեման.

1.բոյլեր, 2.բոյլերի դադարկման փական, 3. գծեր դեպի արևային տաքացուցիչ, 4. արևային ջրատաքացուցիչ տեղակայանքի, երկրորդային և առաջնային կոնվուրների մանոմետրեր (ծախից դեպի աջ), 5. արևային ջրատաքացուցիչ տեղակայանքի և առաջնային կոնվուրի լիցքավորման ծորակ, 6. ավտոմատ կերպով օդի արտանետում երկրորդային կոնվուրից, բուֆերային տարողությունից և առաջնային կոնվուրից, 7. արևային ջրատաքացուցիչ տեղակայանքի երկրորդային և առաջնային կոնվուրների ենթասնման ծորակ, 8. ջերմային պոմպ, 9. առաջնային կոնվուրի եռաքայլ TK2 փական, 10. գծեր դեպի ֆանկոյլեր, 11. գրունտային զոնդերի մուտքերը և ելքերը, 12. առաջնային և երկրորդային կոնվուրների և արևային ջրատաքացուցիչ տեղակայանքի ընդարձակիչ տարողություններ, 13. բուֆերային տարողություն, 14. ջեռուցման համար առումներ, 15. սառը ջրի ենթասնման ծորակ, 16. բոյլերի և արևային ջրատաքացուցիչ տեղակայանքի շոջանառության պոմպեր

Այդպիսի «խելացի տան» ջերմային հանգույցը բաղկացած է հետևյալ սարքավորումներից.

- 8 կոմպրեսիոն ջերմային պոմպից՝ նախատեսված ջեռուցման և տաք ջրամատակարարման համար,

▪ 4 հատ 11 երկրաջերմային գրունտային զոնդերից (ջերմափոխանակիչներից), որոնք գրունտի ցածր պոտենցիալային ջերմությունն օգտագործում են ջերմային պոմպի աշխատանքի համար,

▪ 1 բոյլերից, որում ջուրը տաքացվում է տաք ջրամատակարարման համար,

▪ 13 բուֆերային տարողությունից, որը կիրառվում է ջերմային պոմպի կոնտուրի և ջեռուցման ու տաք ջրամատակարարման համակարգի հիդրավլիկական բաժանման համար,

▪ 3 արևային ջրատաքացուցիչ տեղակայանքից, որը ցերեկային ժամերին իրականացնում է տաք ջրամատակարարում,

▪ պասսիվ օդափոխության 10 ֆանկոյլերից, որոնք հովացնում են օդը սենյակում,

▪ ստանդարտ տաքացուցիչ սարքերից (տաքացվող հատակներ) և օժանդակ կապուղիներից, ինչպես նաև օժանդակ շարժիչներով եռաքայլ TK1 (14) և TK2 (9) փականներից, որոնցով իրականացվում է անցում մի աշխատանքային ռեժիմից մյուսին:

Էներգամատակարարման նման վակուումային արևային կոլեկտորը թույլ է տալիս փոխակերպել արևի ուղիղ և ցրված ճառագայթները ջերմության, որը կուտակվում է բոյլերում և օգտագործվում տաք ջրամատակարարման համար: Բերված համակարգում ջեռուցման և տաք ջրամատակարարման համար ջերմային պոմպը նույնպես օգտագործում է արևի՝ գրունտում ակումուլացված ջերմությունը:

Տեխնոլոգիական սխեման բաղկացած է 5 կոնտուրներից՝

▪ Առաջնային (գրունտային) կոնտուր, որի մեջ մտնում են իրար հետ փոխկապակցված ջերմային պոմպի շոգեցուցիչը՝ տեղակայված ջերմային պոմպի իրանում, երկրաջերմային զոնդերը, առաջնային կոնտուրի շրջանառության պոմպը (նույնպես տեղակայված ջերմային պոմպի իրանում) և ֆանկոյլերը, որոնք աշխատում են, եթե համակարգը գտնվում է պասսիվ օդափոխության ռեժիմում:

▪ Երկրորդային կոնտուրը, որը միավորում է ջերմային պոմպի իրանում տեղակայված կոնդենսատորը, երկրորդային կոնտուրի շրջանառության պոմպը և ջերմային պոմպի բուֆերային տարողությունը:

▪ Ջեռուցման կոնտուրը, որի մեջ մտնում են ջերմային պոմպի բուֆերային տարողությունը և տաքացվող հատակները:

▪ Արևային կոնտուրը՝ արևային վակուումային կոլեկտորը, արևային կոլեկտորի շրջանառության պոմպը և տաք ջրամատակարարման բոյլերի ջերմափոխանակության մակերևույթը (գալարաշարերը):

▪ Ջերմային պոմպի ֆրեոնային կոնտուրը՝ բաղկացած պարուրած և կոմպրեսորից, երկու ջերմափոխանակիչներից (շոգեցուցիչ և կոնդենսատոր) և ընդարձակման փականից:

Սենյակի օդի ջերմաստիճանի նվազեցման նպատակով պասսիվ օդափոխանակությունն իրականացվում է գրունտի ցրտի ($8...12^{\circ}\text{C}$) օգտագործմամբ: Ջերմափոխանակիչը շրջանառում է գրունտային զոնդերի և ֆանկոյլի միջև՝ գրունտի սառնությունը փոխանցելով սենյակ. այդ դեպքում ջերմային պոմպը չի աշխատում, եթե չկա տաք ջրամատակարարում, աշխատանքի մեջ է միայն առաջնային կոնտուրի շրջանառության պոմպը: Դրանով է պայմանավորված օդափոխության նման սխեմայի բարձր արդյունավետությունը: Միևնույն հովացնողունակության դեպքում էլեկտրաէներգիայի սպառումը $9...10$ անգամ ավելի ցածր է, քան ավանդական split-համակարգերում: Ներկայացված սխեմայում ջերմակիրը շրջանառում է ջերմային պոմպի շոգեցուցիչով և վերջինի կողմից լրացուցիչ հովացվում պասսիվ հովացման համակարգում, երբ տաք ջրամատակարարման նպատակով բոյլերի տաքացման համար միացվում է ջերմային պոմպը:

Ջեռուցման համար աշխատանքի դեպքում ջերմային պոմպի շոգեցուցիչում ջերմությունը փոխանցվում է ցածր ջերմաստիճանների պայմաններում եռացող ներքին ջերմակրին (ֆրեոնային լուծույթ), որը եռում է՝ խլելով ցածր պոտենցիալային աղբյուրի ջերմությունը: Առաջացած գոլորշիները տրվում են կոմպրեսոր, որտեղ նրանց ճնշումը և ջերմաստիճանը բարձրացվում են: Ջերմային պոմպի կոնդենսատորում $55...60^{\circ}\text{C}$ պայմաններում տեղի է ունենում ֆրեոնային լուծույթի գոլորշիների ջերմության անջատում և կոնդենսացում: Ապա լուծույթն անցնում է ընդարձակման փականով, ճնշումն ընկնում է, և այն կրկին տրվում է շոգեցուցիչ: Այնուհետև ցիկլը կրկնվում է:

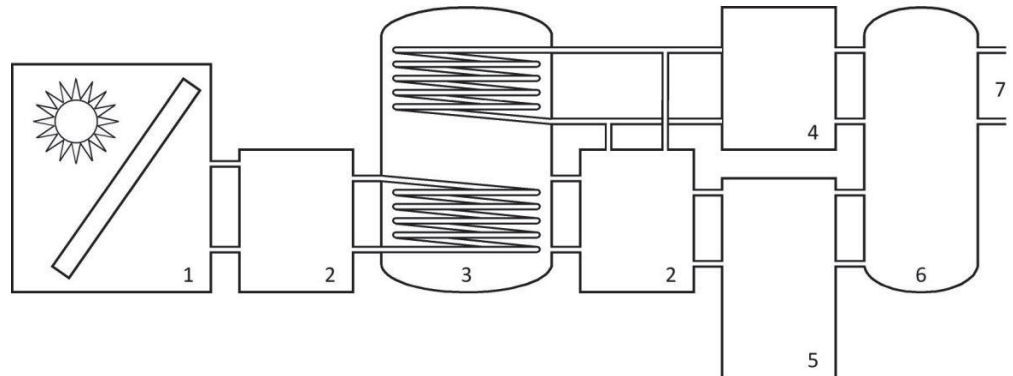
Տաք ջրամատակարարումը ցերեկային ժամերին իրականացվում է արևային կոլեկտորի միջոցով: Եթե դրա հզորությունը չի բավարարում, ապա օգտագործվում է նաև ջերմային պոմպը: Իսկ գիշերային ժամերին տաք ջրամատակարարումն ամբողջությամբ ապահովվում է ջերմային պոմպի աշխատանքի հաշվին:

Արդյունավետ սեզոնային կուտակիչի առկայությունը, արևային և երկրաջերմային ջերմության մասի հարաբերակցությունը նախագծի արժեքի և հետզնման ժամկետի որոշիչ գործոններն են:

Նկ. 7-ում ցույց է տրված սպառողների ջերմամատակարարման համակարգի ֆունկցիոնալ սխեման:

Նման համակարգի աշխատանքի սկզբունքը հիմնվում է շենքի ջեռուցման համար արեգակնային էներգիայի և երկրաթերմալ ջերմության կիրառման վրա:

Ամռանն օգտագործվում է անվճար արևային ջերմությունը. արևային կոլեկտորում տաքացված ջերմակիրը ($+40...+60^{\circ}\text{C}$) շրջանառվում է գրունտային կոնտուրում և տաքացնում է սեզոնային գրունտային ջերմակուտակիչի (ՋԿ) ծավալը, բարձրացնելով թրջված գրունտի ջերմաստիճանը մինչև $+20...+40^{\circ}\text{C}$:



Նկ. 7. Վերականգնվող էներգիայի աղբյուրներով ջերմամատակարարման համակարգի սխեման.

1. արևային կոլեկտոր, 2. հիդրոբլոկ, 3. ջրային բուֆերային ջերմության կուտակիչ (ջերմության կարճաժամկետ պահուստավորման համար), 4. գրունտային ջերմային պոմպ, 5. սեզոնային (երկարաժամկետ) գրունտային ջերմության կուտակիչ՝ ԶԿ BTES տիպի (Borehole Thermal Energy Storage)՝ կազմված Ս-աձև պոլիէթիլենային ջերմային զոնդերից, իջեցված հորատանցքերի մեջ այնպես, որ դրանք ստորգետնյա փարածության մեջ շրջագծեն խորացված գլանի կամ գուգահեռագծի տեսք, 6. բոյլեր, 7. ջերմային բեռ

Ջեռուցման սեզոնում համակարգն աշխատում է բուֆերային ջերմափոխանակչի միջոցով՝ սեզոնային ջերմակուտակիչից ջերմություն վերցնելով, ինչը չի բացառում արևային օրերին արևային կոլեկտորից բուֆերային կուտակչում ջերմային պաշարների ավելացումը:

Երբ սեզոնային ԶԿ-ն հովացվում է մինչև 10...15°C՝ մոտ շրջակա գրունտի ջերմաստիճանին, ջերմային պոմպը սկսում է դրանից վերցնել ցածրպոտենցիալային ջերմությունը:

Օժանդակ տաքացուցիչ-բոյլերը անհրաժեշտության դեպքում «լրացուցիչ տաքացնում է» ջեռուցման կոնտուրը և իրականացնում է տաք ջրամատակարարումը:

Տնտեսական ցուցանիշների հաշվարկման համար կազմվել է համակարգի ինժեներական մոդել, որը նկարագրում է հիմնական աշխատանքային պրոցեսները.

- հեղիոկոլեկտորների միջոցով արևային ջերմության ստացում,
- սեզոնային ԶԿ-ում ջերմության պահպանում,
- սեզոնային ԶԿ-ից կուտակված արևային ջերմության առումը ջերմային պոմպով,
- սեզոնային ԶԿ-ի հովացումից հետո շրջապատող գրունտից ցածրպոտենցիալային ջերմության հեռացումը ջերմային պոմպերով:

Համակարգի բնութագրերի հաշվարկի համար օգտագործվում են ինժեներական մեթոդներ՝ հիմնված բազային ֆիզիկական կախվածությունների և փորձնական տվյալների վրա՝ ըստ առանձին պարամետրերի: Այդպիսի հաշվարկների

ճշգրտությունը թույլ է տալիս կատարել ջերմամատակարարման համակարգի նախնախագծային տեխնիկատնտեսական վերլուծություն:

Արևային ջերմության ստացման պրոցեսը նկարագրվում է արևային կոլեկտորում ջերմակրի տաքացման հավասարությամբ [2].

$$P_u = F_r \cdot A [H \cdot R(r \cdot a) - V_i(t_m - t_a) \cdot T]_{hc},$$

որտեղ P_u -ն կոլեկտորից ստացված ջերմությունն է, F_r -ն՝ ջերմության հեռացման կոմպլեքս գործակիցը, A -ն՝ կոլեկտորի կլանող մակերեսը, H -ը՝ հորիզոնական հարթության վրա արևային ճառագայթման ինտենսիվությունը տվյալ տարածաշրջանում, R -ը՝ «հորիզոն-թեքություն» ձևափոխման գործակիցը, r -ը՝ ճաճկույթի թողունակությունը, V_i -ն՝ ջերմափոխանցման գործակիցը, a - ն՝ թիթեղների կլանման ունակությունը, t_m -ը՝ կոլեկտորի մուտքում ջերմակրի ջերմաստիճանը, t_a -ն՝ շրջապատող միջավայրի ջերմաստիճանը, T_{hc} -ն արևային կոլեկտորի աշխատանքի արդյունարար ժամանակը:

Արևային կոլեկտորի մնացած բոլոր բնութագրերը ընդունված է կիրառել ամառային և ձմեռային սեզոններում աշխատող վակուումային գլանային տաքացուցչի համար:

Գրունտային սեզոնային ՋԿ-ում ջերմափոխանցման հաշվարկը որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

$$P_{BTES} = U_A \cdot (t_f - t_{slk}),$$

որտեղ P_{BTES} - ՋԿ-ում ջերմությունն է, t_f -ը՝ ջերմափոխանակչում ջերմակրի միջին ջերմաստիճանը (գնահատվում է որպես մուտքի և ելքի միջին ջերմաստիճան), t_{slk} - ն՝ ՋԿ-ում գրունտի միջին ջերմաստիճանը, U_A -ն՝ սեզոնային ՋԿ-ի կուտակման հատկությունը՝ կախված հորի գումարային հզորությունից և մինչհորային շրջակայքի ու գրունտի ջերմային դիմադրությունից:

Գրունտի ջերմային դիմադրությունը հաշվարկվում է յուրաքանչյուր հորի շրջակայքի համար առանձին: Քառակուսային կամ վեցանկյունաձև տեղակայված հորերի համար սեզոնային ՋԿ-ն բնութագրվում է հետևյալ կերպ [3].

$$R_{sf} = \frac{1}{2} \pi \lambda \left[\ln \left(\frac{\sqrt{A_p}}{\sqrt{\pi}} \right) \cdot r_b - 0.75 \right] + R_b^*, \text{ ընդ որում } \frac{\sqrt{A_p}}{\sqrt{\pi}} \cdot r_b \geq 15,$$

որտեղ R_{sf} -ն հաստատուն ռեժիմում գրունտի ջերմային դիմադրությունն է, λ - ն՝ գրունտի միջին ջերմահաղորդականությունը, r_b -ն՝ հորի փորման շառավիղը, R_b^* - ն՝ հորի արդյունավետ ջերմության դիմադրությունը, A_p -ն՝ յուրաքանչյուր հորի շրջակայքում ջերմապահուստավորման մակերեսը:

Այսպիսով, պահուստավորման ունակությունը պայմանավորված է BTES-ի կառուցվածքային պարամետրերով՝

$$U_A = \frac{(n \cdot H)}{R_{sf}},$$

որտեղ n -ը գրունտային ջերմափոխանակչի հորերի-զոնդերի քանակությունն է, H – ը՝ զոնդերի խորությունը:

BTES-ի տեսակարար ջերմունակությունը գնահատվում է գրունտի ջերմունակության ծավալով և ՋԿ-ի ծավալով.

$$C_{sp} = \rho c \cdot V_{BTES} = \rho c \cdot n \cdot A_p \cdot H,$$

որտեղ ρc -ն միջին ծավալային ջերմունակությունն է, V_{BTES} –ը՝ սեզոնային ՋԿ-ի ծավալը, C_{sp} –ը՝ ՋԿ-ի տեսակարար ջերմունակությունը:

Ջերմային էներգիայի առավելագույն քանակությունը, որը կարող է պահուստավորվել սեզոնային ՋԿ-ում, կախված է սեզոնային ցիկլի ընթացքում պահուստավորման առավելագույն և նվազագույն ջերմաստիճաններից.

$$C = C_{sp}(t_{slk\ max} - t_{slk\ min})$$

որտեղ $t_{slk\ max}$ -ը պահուստավորման առավելագույն ջերմաստիճանն է, $t_{slk\ min}$ – ը՝ պահուստավորման նվազագույն ջերմաստիճանը:

Ջերմության պահուստավորման ժամանակ ՋԿ-ի ջերմակորուստները հիմնականում պայմանավորված են կոնդուկտիվ ջերմափոխանակչով, այդ իսկ պատճառով ջերմային զոնդերի փորման տեղի ընտրության ժամանակ առավելություն է տրվում ստորգետնյա ջրերի ֆիլտրացման փոքր գործակից ունեցողին (≤ 10 մ/տարի)

$$P_{loss} = U_A \cdot (t_{slk\ moy} - t_o) \cdot t_{year},$$

որտեղ P_{loss} -ը տարեկան ջերմակորուստներն են ՋԿ-ից, $t_{slk\ moy}$ –ը՝ ջերմության պահուստավորման միջին տարեկան ջերմաստիճանը, t_o –ն՝ գրունտի շրջակա ջերմաստիճանը, t_{year} –ը՝ պահուստավորման տարեկան տևողությունը:

Ընդհանուր առմամբ, BTES տիպի սեզոնային ՋԿ-ի կառուցվածքը պարզ է, որը հնարավորություն է տալիս գնահատել արժեքային ցուցանիշները նրա կառուցման ժամանակ:

Այսպիսով, համառոտ նկարագրված են արևային ջերմության ստացման և պահուստավորման գնահատման մեթոդաբանությունը: Մնում է գնահատել գրունտի ցածրպոտենցիալային ջերմությունն օգտագործող համակարգի գործառնությունների ռեժիմը (գրունտային ջերմակուտակչի մինչև $t_{stk} \approx t_o = 8...12^\circ\text{C}$ հովացման դեպքում):

Այս դեպքում շենքի ջեռուցումն իրականացվում է ջերմային պոմպով, շրջանցելով բուֆերային ջերմափոխանակիչը:

Ջերմության քանակությունը կարելի է գնահատել՝ ելնելով շրջանի միջինացված փորձարարական տվյալներից.

$$N_t = N_3 + N_{geo} = N_3(1 - COP),$$

որտեղ N_t -ն ջերմային պոմպի ելքում ջերմային հզորությունն է, N_3 -ն՝ կոմպրեսորում օգտագործվող էլեկտրական հզորությունը, COP -ը՝ ջերմային պոմպի կերպափոխման գործակիցը, $N_{geo} = N_3 \cdot COP$ -ը՝ գրունտից ավելցուկային ջերմության դուրսբերման ընթացքում գրունտից ստացված երկրաթերմալ ջերմային հզորությունը:

Ըստ Հայաստանում գրունտային ջերմային պոմպերի մոնտաժի և շահագործման փորձի, ջերմային զոնդը մեկ գծամետրից հանում է միջինում $g \approx 50 \text{ Վտ/մ}$ ջերմային հզորություն: Ջերմության այդքան արդյունահանումը կբացառի ջերմամատակարարման ժամանակահատվածում գրունտի «սառցակալումը» և ելնելով դրանից՝ ջերմային պոմպերի մեծ մասը կահավորվում է ջերմային զոնդերով:

Այստեղից հետևում է ջերմային հզորության բարձր արժեքը, որը կարելի է ստանալ ջերմային պոմպերի գրունտային զոնդերի ջերմակուտակիչների միջոցով.

$$N_t^* = (n \cdot H \cdot g) \cdot \frac{COP}{(COP - 1)},$$

որտեղ $N_{geo} = n \cdot H \cdot g$, P_{tp} -ն ջերմության քանակությունն է, որը կարող է տալ ջերմային պոմպը սառը գրունտում ($\leq 15^\circ\text{C}$) աշխատելիս.

$$P_{to} = N \cdot t_{tp},$$

որտեղ T_{tp} -ն ջերմային պոմպի աշխատանքի շարժիչային ժամանակն է:

Տարվա ընթացքում ջերմամատակարարման համակարգի տնտեսական ցուցանիշների գնահատման համար ընդունվել է հիմնական գործառնության տարրերի միջև էներգետիկական հոսքերի հաշվարկի հաշվեկշռային մեթոդ (նկ. 8):

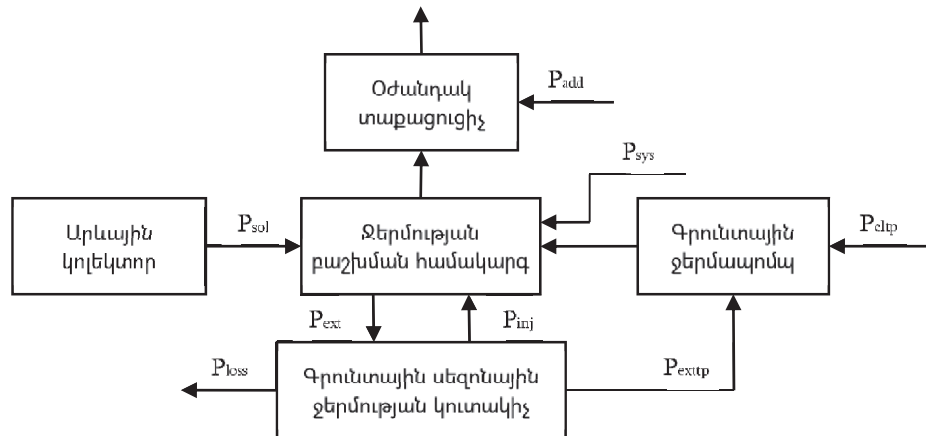
Որպես ջերմային էներգիայի արժեքի համալիր գնահատական ընդունված է ջերմամատակարարման համակարգի շահագործման և կապիտալ ծախսերը հաշվի առնող ցուցանիշը.

$$C_{out} = (K \cdot f_a + 3_{exp}) + \frac{3_{exp}}{P_{out}},$$

որտեղ K -ն ջերմամատակարարման համակարգի համար գումարային կապիտալ ծախսերն է՝

$$K = K_{zg} + K_{zUU} + K_{O\phi} + K_{q,q\eta} + K_{q,q\gamma},$$

K_{zg} -ն՝ արևային կոլեկտորի կապիտալ ծախսեր, K_{zUU} -ն՝ բուֆերային ջերմափոխանակչով ջերմության բաշխման համակարգի կապիտալ ծախսեր, $K_{O\phi}$ -ը՝ օժանդակ տաքացուցչի կապիտալ ծախսեր, $K_{q,q\eta}$ -ն՝ գրունտային ջերմային պոմպի կապիտալ ծախսեր, $K_{q,q\gamma}$ -ն՝ սեզոնային գրունտային ջերմային կուտակչի կապիտալ ծախսեր, f_a -ն՝ աննուրիների գործակիցը.



Նկ. 8. Ջերմամատակարարման համակարգի հաշվեկշռային մեթոդը.

P_{out} - համակարգից սպառման տրված ջերմային էներգիայի ելքային հոսք, P_{add} - օժանդակ տաքացուցչով (էլեկտրական, գազային, կոշտվառելիքային) ջերմակրի տաքացման վրա ծախսված էներգիա, P_{eltp} - գրունտային ջերմային պոմպի աշխատանքի վրա ծախսված էլեկտրաէներգիա, P_{ext} - սեզոնային ՋԿ-ից արտամղվող ջերմային էներգիա, P_{inj} - սեզոնային ՋԿ ներմղվող ջերմային էներգիա, P_{exttp} - գրունտային ջերմային պոմպով արտամղվող ցածրպոտենցիալային երկրաթերմալ ջերմային էներգիա

$$f_a = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n} - 1,$$

որտեղ i -ն վարկի ամսական տոկոսադրույքն է, n -ն՝ վարկի տարիների քանակը, P_{out} -ը՝ տարվա ընթացքում արտադրված ջերմային էներգիան (կՎտժ), 3_{exp} -ը՝ համակարգի սպասարկման շահագործման ծախսերը (ամորտիզացիա, օպերատորի վճարումներ և այլն), 3_{enter} -ը՝ ջերմային էներգիայի արտադրության ծախսերը.

$$3_{enter} = 3P_{add} + 3P_{eltp} + 3P_{sys},$$

որտեղ $3P_{add}$ -ն սպառողի համար ջերմակրի լրացուցիչ տաքացման էներգակիրների ծախսերն են, $3P_{eltp}$ -ը՝ կոմպրեսորային ցիկլում աշխատող գրունտային ջերմային պոմպի էլեկտրաէներգիայի ծախսեր, արևային $3P_{sys}$ -ը՝ ջերմային էներգիայի սպառման էլեկտրականության ծախսերը, ինչպես նաև համակարգում ջերմակրի շրջանառություն իրականացնող պոմպերի էլեկտրաէներգիայի, ավտոմատիկայի աշխատանքի և այլ ծախսերը:

Տվյալ հաշվարկի մեթոդիկայի կիրառման դեպքում կարելի է հանգել հետևյալ եզրակացությունների.

1. Հայաստանում ջեռուցման համար արևային կոլեկտորների օգտագործումը գրունտային ջերմային պոմպերի հետ նորարարական է սեզոնային կուտակիչների

արդյունավետ օգտագործման դեպքում, որը հնարավորություն կտա դուրս բերել ամռանը կուտակած ջերմության ավելի քան 50%-ը: Այս դեպքում նախագծի հետզնման փոքր ժամկետ՝ մինչև 3...4 տարի, նկատվում է, երբ արևային գումարային էներգիայի մասնաբաժինը ջեռուցման մեջ կազմում է 70...75%: Արևային էներգիայի մասնաբաժնի հետագա ավելացումը սահմանափակվում է սեզոնային կուտակչի ջերմունակությամբ:

2. Ջերմաստիճանային ռեժիմներով կոմպրեսորային գրունտային ջերմային պոմպերի օգտագործումը հնարավորություն է տալիս արդյունավետ կերպով օգտագործել սեզոնային գրունտային ջերմային կուտակիչները՝ գրունտում ջերմության պահուստավորման ոչ բարձր ջերմաստիճաններում՝ 20...25°C ավելի ինտենսիվ ջերմափոխանակության հաշվին: Սեզոնային պահուստավորման ցածր ջերմաստիճանները, իրենց հերթին, նվազեցնում են ջերմության կորուստները և չեն պահանջում ավելացված աշխատանքային ջերմաստիճաններով ջերմային զոնդերի կիրառում:

3. Ջեռուցման մեջ արեգակնային էներգիայի մասնաբաժնի 65%-ից նվազեցման դեպքում այդպիսի համակցված համակարգերի տնտեսական պարամետրերը մոտենում են գրունտային ջերմային պոմպերով (5...7 տարի հետզնման ժամկետ) սովորական համակարգերի պարամետրերին: Բացի այդ, անշահավետ է թանկարժեք բուֆերային ջերմային պահուստարանների կառուցումը: Արևային ջերմության ոչ ինտենսիվ օգտագործման դեպքում արևային կոլեկտորները միայն վատացնում են տնտեսական էֆեկտը, և որպես ջերմության աղբյուր ավելի արդյունավետ է ջերմային պոմպերի օգտագործումը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Перспективы использования тепловых насосов [Электронный ресурс] / Всероссийский теплотехнический научно-исследовательский институт. Обзор инноваций и научно-технических разработок.- 2009.- №6.- Режим доступа: <http://copy.yandex.net> .- Загл. с экрана.
2. Бекман У., Клейн С., Даффи Дж. Расчет систем солнечного теплоснабжения - М.: Энергоиздат, 1982. - 80 с.
4. Daniel Pahud. The design of a borehole thermal energy storage requires dynamic system simulation, especially for a system without heat pump // SUPSI-DCT-LEE Laboratoria di Energia, Ecologia ed Economia. - 12/05/2002. - P. 66-81.

Л.С. ОГАНЕСЯН, Н.Р. АРУТЮНЯН, В.А. АВЕТИСЯН

**СИСТЕМА ОТОПЛЕНИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ И ГОРЯЧЕГО
ВОДОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ
ЭНЕРГИИ**

Рассмотрены небольшие системы теплоснабжения на основе возобновляемых источников энергии – солнечного нагревателя и грунтового теплового насоса с сезонным аккумулятором тепла.

Ключевые слова: солнечный коллектор, тепловой насос, сезонный грунтовой аккумулятор тепла.

L.S. HOVHANNISYAN, N.R. HARUTYUNYAN, V.H. AVETISYAN

**A HEATING, CONDITIONING AND HOT WATER SUPPLY SYSTEM
BASED ON RENEWABLE POWER SOURCES**

Small systems of heat supply based on renewable power sources – a solar heater and a ground thermal pump with a seasonal heat accumulator are considered.

Keywords: solar collector, thermal pump, seasonal ground heat accumulator.

ՀՏԴ 541.124

Գ.Ե. ԱՅՎԱԶՅԱՆ, Ռ.Ն. ԲԱՐՍԵԴՅԱՆ, Ա.Ա. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ, Ի.Պ. ՉՈՒՆՉՈՒԶՈՎ

**ՄԹՆՈԼՈՐՏԻ ՎՐԱ ԱԿՈՒՍՏԻԿԱԿԱՆ ԱԼԻՔՆԵՐԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ
ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ**

Վերլուծվել են ակուստիկական մակարդման հետևանքով ամպերում կաթիլների փոխազդեցության մեխանիզմները և առանձնահատկությունները: Ցույց է տրվել, որ մթնոլորտի վրա ակուստիկական ալիքների զգալի ներազդման համար ալիքների ինտենսիվությունը պետք է լինի ոչ փոքր 100 դԲ-ից, իսկ հաճախականությունը ոչ մեծ 150 Հց-ից: Այս դեպքում ամպերում կաթիլների տեղաշարժը կկազմի 1,5 մմ:

Առանցքային բառեր. ակուստիկական ալիք, հաճախականություն, ինտենսիվություն, մթնոլորտ, կաթիլ:

Մթնոլորտի վրա ակուստիկական ալիքների ազդեցության հիմքում ընկած է ակուստիկական մակարդման երևույթը [1-3]: Ենթադրվում է, որ ակուստիկական մակարդման հետևանքով ամպերում տեղի են ունենում կաթիլների չափային սպեկտրի ընդլայնում և տեղաշարժում դեպի խոշորացման կողմը:

Ակուստիկական մակարդման հետևանքով մթնոլորտում կաթիլների փոխազդեցության մեխանիզմը կարող ենք նկարագրել հետևյալ կերպ [3]: Հզոր կույտաանձրևային ամպերի վերին շերտերում զրոյից ցածր իզոթերմով բարձրությունների