

R.G. KHACHATRYAN, L.S. HOVHANNISYAN

COMPARISON OF ENERGY EFFICIENCY OF ABSORPTION AND VAPOR COMPRESSION HEAT PUMPS IN THE CYCLE OF TPP

The research of the most perspective ways of introduction of thermal transformers in the cycle of TPP is carried out, including: implementation of centralized cooling systems on the basis of centralized heating systems. The comparison of the efficiency of producing additional thermal energy by absorption and vapor compression heat pumps at the growth of the heat load in the TPP is performed.

Keywords: heat pump, combined heat and power (CHP), energy efficiency, absorption chiller.

ՀՏԴ 621.182.233

Լ.Ս. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ, Ա.Գ. ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ

ԳՐՈՒՆՏԻ ՋԵՐՄԱՅԻՆ ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ՕԳՏԱԳՈՐԾՈՒՄԸ ՇԻՆՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՋԵՌՈՒՑՄԱՆ ԵՎ ՕԴՈՐԱԿՄԱՆ ՀԱՄԱՐ

Իրականացվել է շինությունների ջեռուցման և կոնդիցիոնացման համար գրունտի ջերմային էներգիայի օգտագործման հնարավորությունների ուսումնասիրություն: Կատարվել է այդ նպատակով շահագործվող ջերմային պոմպերի սկզբունքային սխեմաների վերլուծություն և արդյունավետության համեմատում ավանդական ջերմագեներատորների հետ:

Առանցքային բաներ. ջերմային պոմպ, երկրաջերմային աղբյուր, ջեռուցում և օդափոխություն, ֆանկոյլ:

Հասարակությունը ձգտում է բոլոր էներգակիրների, առանց բացառության, գների մշտական աճով պայմանավորված՝ ջերմության և էլեկտրաէներգիայի ապահովման նոր, այլընտրանքային աղբյուրներ գտնել:

Վերջին 30 տարիներին համաշխարհային էներգասպառումն աճել է գրեթե երկու անգամ: Համաշխարհային էներգասպառման աճի միջին տարեկան տեմպերը կազմել են 2.7% [1]:

Էներգետիկ ռեսուրսների սպառման աճի այդօրինակ տեմպերի և հասանելի ծավալների պայմաններում ակնհայտ է դառնում տեսանելի ապագայում դրանց դեֆիցիտի առաջացումը (30...50 տարի հետո) [2]:

Ուստի և համաշխարհային տնտեսության զարգացման գերակա ուղղություններից մեկը էներգետիկ ռեսուրսների սպառման տեմպերի աճի սահմանափակումն է, այդ թվում՝ շինությունների էներգաարդյունավետության բարձրացման հաշվին:

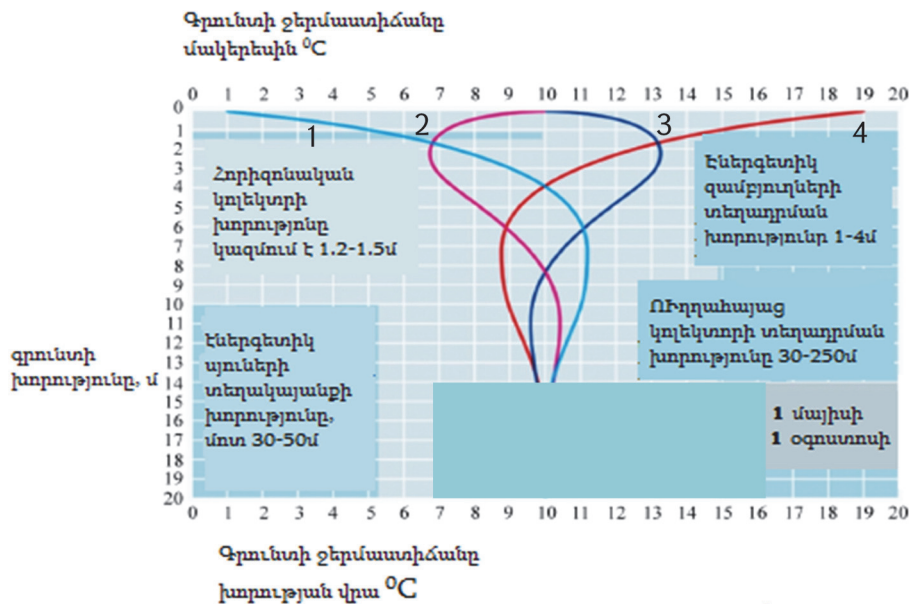
Էներգատնտեսման խնդիրը հատկապես արդիական է բարձր զարգացած տնտեսություն ունեցող երկրների համար (առաջին հերթին՝ Եվրոպայի), որոնց էներգասպառման 70%-ը բավարարվում է էներգառեսուրսների ներկրման հաշվին:

Վերջին տարիներին էներգատնտեսման խնդիրը Հայաստանի համար ևս զարգացման ռազմավարական ուղղություն է դարձել: Այսօր էներգառեսուրսների ոչ արդյունավետ սպառողներից են կոմունալ-բնակելի տնտեսությունները: Մասնավորապես, Հայաստանում 1ժ մակերեսի ջեռուցման համար ծախսվում է 5 անգամ ավելի շատ պայմանական վառելիք, քան Եվրոպայում:

Այս խնդրի լուծման առաջնային ուղղություններից են նոր էներգախնայող տեխնոլոգիաները, որոնց դեպքում օգտագործվում են ոչ ավանդական էներգիայի աղբյուրները, մասնավորապես՝ գրունտի ցածր պոտենցիալային ջերմաղբյուրները:

Գրունտի որոշակի խորության դեպքում ջերմաստիճանը մնում է հաստատուն ամբողջ տարվա ընթացքում, որը հնարավորություն է տալիս այն օգտագործել ձմռանը՝ որպես ջերմաղբյուր ջեռուցման համար, և ամռանը՝ հովացման համար:

Եվրոպայի տարածքի մեծ մասում գրունտի սեզոնային ջերմաստիճանը դառնում է հաստատուն 10-20մ-ից ցածր խորությունների դեպքում: Նկ.1-ում ցուցադրված է մինչև 20մ խորությամբ գրունտի ջերմաստիճանի բաշխումը. 1,2...1,5մ խորության դեպքում ջերմաստիճանը փոխվում է 7...13°C միջակայքում, 18մ խորությունից սկսած՝ ամբողջ տարվա ընթացքում ջերմաստիճանը մնում է հաստատուն՝ 10°C, այնուհետև գրունտի ջերմաստիճանը 2...3°C աճում է՝ յուրաքանչյուր 100մ խորությանից սկսած:



Նկ. 1. Ըստ գրունտի խորության՝ ջերմաստիճանի փարեկան փոփոխությունը.
 1. 1 փետրվարի, 2. 1 մայիսի, 3. 1 նոյեմբերի, 4. 1 օգոստոսի

Գրունտի ցածրպոտենցյալային էներգիայի օգտագործումը կապված է մինչև 400մ խորությամբ հորատանցքների ստեղծման հետ: Այս խորության դեպքում ջերմաստիճանը, ըստ խորության յուրաքանչյուր 100մ-ի, բարձրանում է միջինում 3°C-ով [3]:

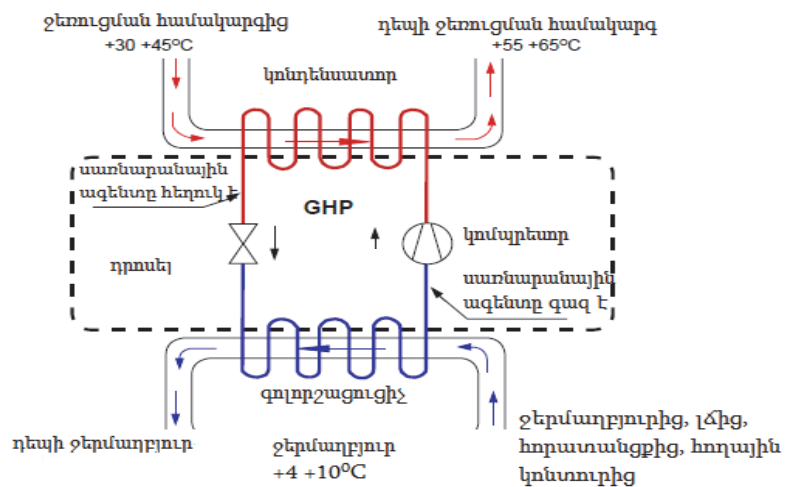
Երկրաջերմային համակարգեր նախագծելիս առաջնահերթ նշանակություն է տրվում տեղական ինժեներաերկրաբանական, հիդրոերկրաբանական և երկրաբանական պայմաններին: Պատշաճ ուշադրություն է հատկացվում գրունտի հատկությունների՝ խոնավության, ջերմահաղորդականության, խտության, տեսակարար ջերմունակության որոշմանը: Գրունտների ջերմային պոտենցյալի որոշման ու հաստատման համար անհրաժեշտ պայմանն է ջերմազանգվածափոխանակման զանազան պրոցեսների գնահատումը: Ստացվող ջերմային էներգիայի քանակը՝ ջերմաքանակի հաշվարկը, զգալիորեն ազդում է ջերմային պոմպի համակարգի օ.գ.գ.-ի վրա [4]:

Ջերմային պոմպերը (ՋՊ) շոգեկոմպրեսորային սարքեր են, որոնց միջոցով շրջակա միջավայրի ցածրջերմաստիճանային էներգիան կարող է օգտագործվել շենքերի ջեռուցման և օդորակման համակարգերում:

ՋՊ-ում ցիկլային աշխատանքը տեղի է ունենում չորս բաղադրիչների հաշվին. դրանք են գոլորշացուցիչը, կոմպրեսորը, կոնդենսատորը և ընդարձա-

կիչ փականը: Ջերմային էներգակիր է ծառայում շատ ցածր եռման ջերմաստիճանով սառնագենտը: Գոլորշացուցչում սառնագենտը կլանում է շրջակա միջավայրի ջերմությունը և անցնում է գազային վիճակի: Կոմպրեսորում սառնագենտը սեղմվում է և լրացուցիչ տաքանում:

Կոնդենսատորում ջերմային էներգիան փոխանցվում է ջեռուցիչ կոնստրուկցիային: Ընդարձակիչ փականում սառնագենտն ընդարձակվում է՝ ցիկլի կրկնման համար (նկ. 2):



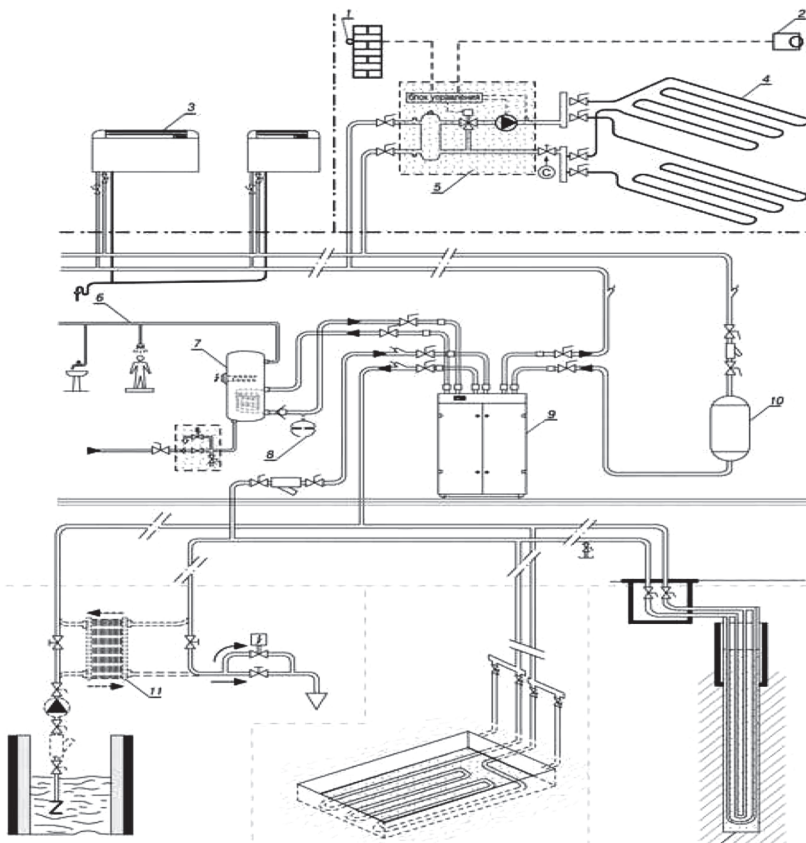
Նկ. 2. ՋՊ-ի սխեման

Ջերմային պոմպերը ստորաբաժանվում են ըստ աշխատանքային սկզբունքի (կոմպրեսորային, աբսորբցիոն) և ըստ «աղբյուր-ջերմության սպառիչ» փոխանցման շղթայի (օդ-օդ, օդ-ջուր, ջուր-օդ, ջուր-ջուր, գրունտ-օդ, գրունտ-ջուր):

Էներգիապես արդյունավետ են երկրաջերմային և ստորերկրյա ջրեր օգտագործող ՋՊ-ները: ԱՄՆ-ում դաշնային օրենսդրությամբ հաստատված են երկրաջերմային ջերմային պոմպերի (ԵՋՊ) պարտադիր օգտագործման պահանջները նոր հասարակական շենքերի և շինությունների համար: Շվեդիայում ընդհանուր ջեռուցման 50%-ն ապահովում է ԵՋՊ-ն: 2020թ Համաշխարհային էներգետիկ հանձնաժողովի կանխատեսումներով՝ ԵՋՊ-ի տեսակարար կշիռը ջերմամատակարարման համակարգում կկազմի 75%: ԵՋՊ-ի ծառայության ժամկետը 25-50 տարի է:

Գրունտային ՋՊ-ում օգտագործվում է Արեգակի կամ այլ աղբյուրների հաշվին գրունտում կուտակված ջերմային էներգիան: Գրունտում կուտակված ջերմությունը կերպափոխվում է հորիզոնական հարթության մեջ գցված գրունտային ջերմափոխանակիչներով (որոնք անվանվում են նաև գրունտային

կոլեկտորներ) կամ ուղղաձիգ տեղակայված ջերմափոխանակիչներով (գրունտային զոնդեր) (նկ. 3): Խողովակաշարի հորիզոնական տարբերակով իրականացման պարագայում խողովակաշարը, որով շրջանառվում է հեղուկը, թաղվում է հողում սառցակալման մակարդակից ցածր խորությամբ (1.0...1.5մ): Խողովակների միջև նվազագույն հեռավորությունը 0.8...1.0մ է: Նախընտրելի է խոնավ գրունտը: 1մ խողովակաշարին ընկնող մոտավոր ջերմային հզորությունը 20...30Վտ է: Այսպիսով, 10կՎտ ջերմաքանակի ստացման համար անհրաժեշտ է 350...500մ հողային կոնտուր, որը կարող է տեղակայվել 400...500մ² հողակտորի վրա:



Նկ. 3. Ջերմային պոմպի սկզբունքային սխեման.

- ա. ջրամբար, բ. գրունտային կոլեկտոր, գ. երկրաջերմային հորատանցք,
 1. արտաքին ջերմաստիճանի փոխիչ, 2. սենյակային օդի ջերմաստիճանի փոխիչ,
 3. ֆանկոյլ, 4. ջեռուցվող հարկ, 5. Հիդրոմոդուլ, 6. փաթ ջրամատակարարման համակարգ,
 7. կաթսա, 8. ընդարձակման բաթ, 9. ջերմային պոմպեր, 10. լիցքավորող բաթ,
 11. միջանկյալ ջերմափոխանակիչ

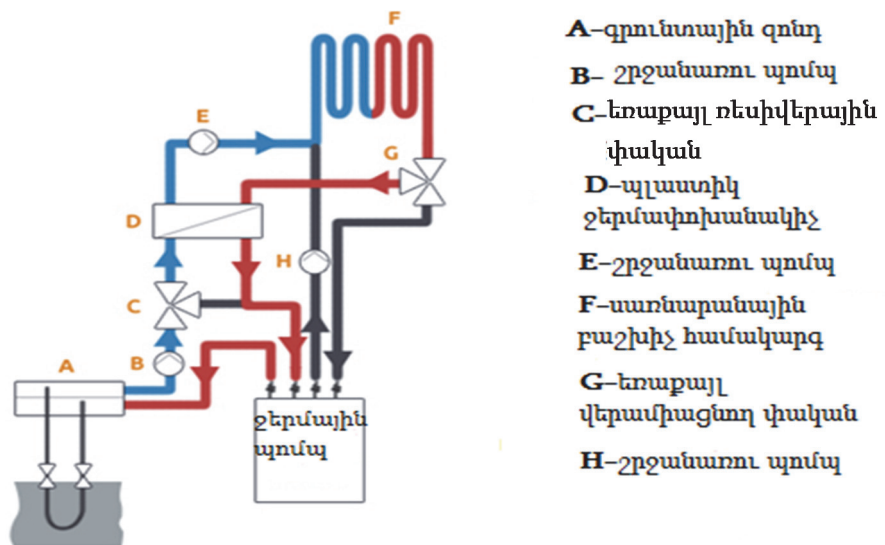
Գրունտային ՋՊ-ի ուղղաձիգ տարբերակով իրագործման դեպքում հորատում են 60...200մ խորությամբ հորատանցք, որտեղ իջեցվում է Ս-աձև խողովակաշար: Գրունտային կոլեկտորի ծառայության ժամկետը կախված է հողի թթվայնությունից. նորմալ թթվայնության պայմաններում ($pH=5,0$) ծառայության ժամկետը 50...75 տարի է, իսկ բարձր թթվայնության դեպքում ($pH > 5,0$)՝ 25...30 տարի:

ՋՊ-ի առավելություններից է համապիտանիությունը, քանի որ այն թույլ է տալիս լուծել ջեռուցման խնդիրը ձմռանը և հովացման խնդիրը՝ ամռանը:

Ըստ ՋՊ-ով հովացման բնույթի՝ տարբերակվում է օդափոխության երկու տեսակ.

- պասսիվ օդափոխություն,
- ակտիվ օդափոխություն:

Պասսիվ (բնական) օդափոխությունը պահանջում է նվազագույն էլեկտրաէներգիայի ծախս, սակայն փոքր արտադրողականությամբ (նկ. 4):

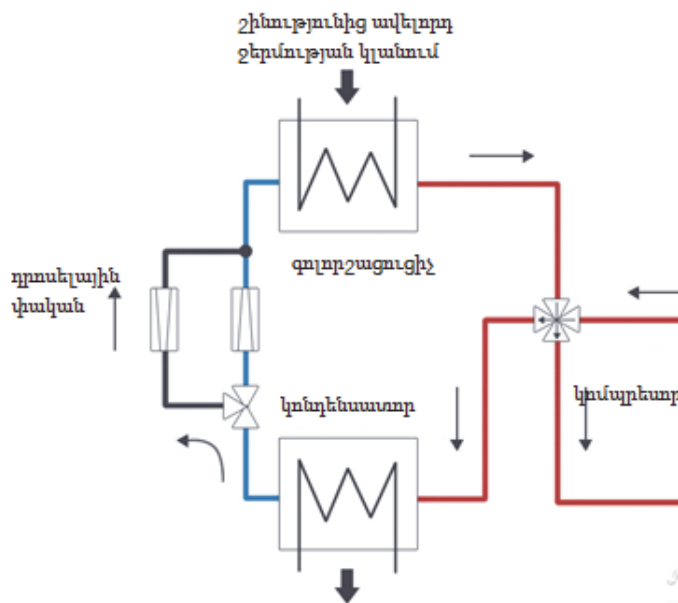


Նկ. 4. «Գրունտ-ջուր» ջերմային պոմպի պասսիվ օդափոխության սխեման

Պասսիվ օդափոխություն իրականացնելու համար ՋՊ-ի կոնտուրում տեղադրվում են լրացուցիչ սարքավորումներ՝ եռաքայլ փական, թիթեղավոր ջերմափոխանակիչ և լրացուցիչ պոմպեր: Այն թույլ է տալիս օգտագործել գրունտի և գրունտային ջրերի ցածր ջերմաստիճանը ($6...10^{\circ}C$) սենյակը հովացնելու համար: Գրունտում սառած ջերմակիրը (աղաջուրը) ուղղվում է անմիջապես լրացուցիչ ջերմափոխանակիչ՝ շրջանցելով ՋՊ-ի կոմպրեսորը: Այնուհետև սառեցված ջեր-

մակիրը լցվում է էներգիայի բաշխման համակարգ և կլանում է սենյակի ավելորդ ջերմությունը: Ընդ որում, կոմպրեսորը մնում է չօգտագործված, իսկ էլեկտրաէներգիան ծախսվում է միայն ցրտամատակարարման համակարգի պոմպերը և այլ էլեկտրասարքավորումներն օգտագործելու համար: Յրտարտադրողականության լավ ցուցանիշ գրանցվում գրունտային ջրերի օգտագործման դեպքում, քանի որ ջերմաստիճանը ամբողջ տարվա ընթացքում գործնականում նույնն է: Պասսիվ օդափոխության առավելությունն է լրացուցիչ ջերմության կուտակումը գրունտում ջեռուցման սեզոնից առաջ: Պասսիվ օդափոխությունը չի կարող ամբողջությամբ ծածկել տան հովացման բեռնվածքը, սակայն տնտեսապես նպատակահարմար է, քանի որ փոխակերպման հարաբերակցությունը հասնում է 15...20-ի:

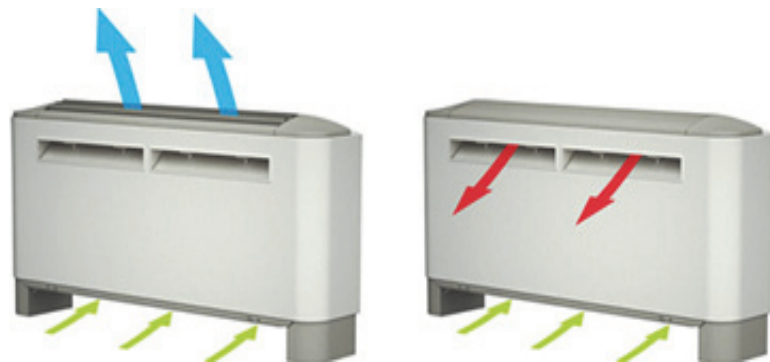
Ակտիվ հովացման դեպքում ՋՊ-ն աշխատում է հակառակ ցիկլով, կամ այս պրոցեսն անվանում են «հակառակ ռեժիմ»: Ակտիվ օդափոխությունն ապահովելու համար ՋՊ-ի կոնտուրում տեղադրվում են քառաքայլ փական և լրացուցիչ դրոսելային փական: Այս դեպքում աշխատող հեղուկի շրջանառությունը կատարվում է հակառակ ուղղությամբ (նկ. 5):



Նկ. 5. ՋՊ-ի աշխատանքային սխեման ակտիվ օդափոխման դեպքում

Օդափոխության համար ջերմապոմպային համակարգի նախագծման դեպքում անհրաժեշտ է ապահովել ցրտի բաշխումը: Ջեռուցման շատ սարքեր, ինչպիսիք են ջեռոցները կամ տաք հատակների համակարգը, բազմակողմանի չեն

և չեն համապատասխանում ցրտամատակարարման պահանջին: Մասնավորապես, «սառը հատակը» նաև վտանգավոր է առողջության համար: «Սառը պատ» և «սառը առաստաղ» տեղադրման պրակտիկան ավելի արդյունավետ է, քանի որ սառը օդը սենյակում այդ դեպքում բաշխվում է վերևից ներքև: Սակայն այս համակարգի իրականացման համար անհրաժեշտ են զգալի լրացուցիչ ծախսեր: Առավելագույն օպտիմալ եղանակ է ցրտի բաշխման համար ֆանկոյլների օգտագործումը (նկ. 6): Այս սարքը հագեցած է լրացուցիչ անաղմուկ օդափոխիչով, որը հավասարաչափ բաշխում է ցուրտը և ջերմությունը սենյակում և ունի նաև կոնդենսատի հովացուցիչ [5]:



Նկ. 6. Սառը և տաք օդի հոսքերի բաշխումը ֆանկոյլներում

Ջերմային պոմպերի արդյունավետության հիմնական ցուցանիշ է փոխակերպման կամ COP ջեռուցման գործակիցը, որը հավասար է ջերմային պոմպի ջերմարտադրողականության և կոմպրեսորի սպառած հզորության հարաբերությանը: Հովացման ռեժիմում արդյունավետությունը գնահատելու համար կիրառվում է EER սառնարանային գործակիցը, որը հավասար է ջերմային պոմպի ցրտարտադրողականության և կոմպրեսորի սպառած հզորության հարաբերությանը: Եթե սառնագենտի կոնդենսացման և եռման ջերմաստիճանները համապատասխանաբար լինեն $T_0=281.16\text{ }^\circ\text{C}$ և $T_k=323.16\text{ }^\circ\text{C}$, ապա COP-ը հավասար կլինի 7.7: Երբ ջերմային պոմպը միաժամանակ օգտագործվում է ջեռուցման ու հովացման նպատակով, ապա նշված ջերմաստիճաններում փոխակերպման գումարային գործակիցը կարող է հասնել 12.7-ի, ինչը բնութագրում է ջերմային պոմպի բարձր էներգաարդյունավետությունը:

Աբսորբցիոն ջերմային պոմպերում փոխակերպման գործակիցն ավելի փոքր է: Մասնավորապես, երբ $T_0=281.16\text{ }^\circ\text{C}$, իսկ $T_k=323.16\text{ }^\circ\text{C}$, արսորբցիոն ՋՊ-ի փոխակերպման գործակիցը կազմում է 1.45 [6]:

Գրականության մեջ առկա տվյալները վկայում են այն մասին, որ ի համեմատություն գազային կաթսաների՝ ՋՊ-ները 1.2...1.5 անգամ ավելի արդյունավետ են, իսկ ի համեմատություն էլեկտրական կաթսաների՝ 6..7 անգամ:

Ամփոփելով կատարված ուսումնասիրությունը՝ կարող ենք եզրակացնել, որ ջեռուցման և օդորակման նպատակով ջերմության վերականգնվող աղբյուր օգտագործող ՋՊ-ները էներգաարդյունավետ, հուսալի, անվտանգ և շահագործման մեծ ժամկետ ունեցող սարքավորումներ են, որոնք միաժամանակ նաև էկոլոգիապես մաքուր են:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Огуречников Л.А.** Геотермальные ресурсы в энергетике // Альтернативная энергетика и экология. – 2005. – № 11 (31). – С. 58–66.
2. **Баева А.Г., Москвичева В.Н.** Геотермальная энергия: проблемы, ресурсы, использование / Ин-т теплофизики. – Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1979. – 350 с.
3. **Бакиева И.Д.** Использование низкопотенциальной энергии грунтов как способ повышения энергоэффективности зданий//Вестник ПНИПУ.-2016. - Т.7, N 1.- С.123-130.
4. **Захаров А.В.** Применение геотермальной энергии грунта для отопления зданий в климатических и инженерно-геологических условиях Пермского края // Вестник гражданских инженеров. – 2010. – № 2 (23). – С. 85–89.
5. **Սարգսյան Ա.Գ.** Տարբեր ջերմաաղբյուրներով ջերմային պոմպերի ներդրման էներգաարդյունավետությունը՝ շինության տեղակայման վայրի բնակլիմայական պայմանների և էներգետիկական բնութագրերի հաշվառմամբ//ՀԱՊՀ Լրաբեր. Գիտական հոդվածների ժողովածու. Մաս II.-2017.- էջ 784-795:
6. Тепловой насос-энергетически эффективная составляющая систем кондиционирования воздуха /Под ред. В. Степаненко. -Дайджест № 2.-2011.

Ջ.Տ. ՕԳԱՆԵՍՅԱՆ, Ա.Գ. ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ГРУНТА ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ

Изучены возможности использования тепловой энергии грунта для отопления и кондиционирования зданий. Произведены анализ принципиальных схем используемых для этой цели тепловых насосов и сравнение эффективности с традиционными теплогенераторами.

Ключевые слова: тепловой насос, геотермальный источник, отопление и вентиляция, фанкойл.

L.S. HOVHANNISYAN, A.G. MANUKYAN

**USING THE HEAT ENERGY OF THE GROUND FOR HEATING AND
CONDITIONING OF BUILDINGS**

The possibility of using heat energy of the ground for heating and conditioning of buildings is studied. The flow diagrams of the heat pumps used for that purpose are analyzed, and their efficiency is compared with that of the traditional heat generators.

Keywords: heat pump, geothermal source, heating and ventilation, fancoil.

ՀՏԴ 621.31.001.86

Ռ.Վ. ԾՈՎՅԱՆ, Խ.Ա. ՇԱՀՐԱԶՅԱՆ

**ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՄԵԾԱԾԱԽ ՇՈՒԿԱՅԻ ԱԶԱՏԱԿԱՆԱՑՄԱՆ
ՄԻՋԱԶԳԱՅԻՆ ՓՈՐՁԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆԸ**

Ուսումնասիրվել է էլեկտրաէներգետիկական ոլորտի ազատականացման միջազգային փորձը, և կատարվել էլեկտրաէներգետիկական շուկայի գործող մոդելների գործունեության վերլուծություն: Առանձնացվել են բազային մոդելները, ինչպես նաև իրականացվել է էլեկտրաէներգետիկական մեծածախ շուկայի ազատականացման գործընթացի առավելությունների և թերությունների վերլուծություն:

Առանցքային բաներ. օր առաջ շուկա (ՕԱՀ), հաշվեկշռման շուկա, էլեկտրաէներգետիկական համակարգի գործունեություն, ազատականացում, էլեկտրաէներգետիկա, շուկայի օպերատոր, էլեկտրակայան, բնական մենաշնորհ:

Էլեկտրաէներգետիկական համակարգի զարգացումը պայմանավորված է մի շարք գործոններով, որոնցից կարևորագույնը էլեկտրաէներգետիկական մեծածախ շուկայի ազատականացումն է: Աշխատանքը նվիրված է էլեկտրաէներգետիկական մեծածախ շուկայի ազատականացման միջազգային փորձի հետազոտմանը և ստացված արդյունքների կիրառմանը ՀՀ մեծածախ շուկայի հնարավոր նոր մոդելում:

Մի շարք զարգացած և զարգացող երկրներ դեռևս 20-րդ դարի վերջին սկսել են էլեկտրաէներգետիկական ոլորտի ազատականացման գործընթացը: Ոլորտի ազատականացման առաջին փուլը ենթադրում է մրցակցային միջավայրի ստեղծում, որի միջոցով հնարավոր կլինի բարձրացնել համակարգի արդյունավետությունը, ինչը իր հերթին կհանգեցնի սպառողների հիմնական պահանջարկի մաքսիմալ բավարարմանը:

Էլեկտրաէներգետիկական մեծածախ շուկայի ազատականացման գործընթացը բոլորի կողմից միանշանակ չի կարող ընդունվել, և հաճախ այս