

DOI: <https://doi.org/10.54338/18294200-2025.1-10>

ԻՆՏԵՆՏԻՎԱԿԱՆ ՄԱՐՔԱՎՈՐՈՒՄՆԵՐ ՈՒ ՑԱՆՑԵՐ

ՋԵՐՄԱՅԻՆ ՊՈՄՊՈՎ ՋԵՌՈՒՑՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐՈՒՄ ՋԵՐՄԱՅԻՆ ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ՊԱՀՈՒՍՏԱՎՈՐՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՅԻ ԿԻՐԱՌՄԱՆ ՕՊՏԻՄԱԼԱՑՈՒՄԸ

Կարեն Աշոտի Մովսիսյան

*Ճարտարապետության և շինարարության Հայաստանի ազգային համալսարան, ք. Երևան, ՀՀ
karen.movsisyan1999@gmail.com*

Շենքերի ջերմամատակարարման համակարգերն էկոլոգիապես արդյունավետ դարձնելու նպատակով առաջարկվում է անցում կատարել էլեկտրական ջեռուցման տեխնոլոգիաների, մասնավորապես, ջերմային պոմպերի (ՋՊ) կիրառմանը: Ջերմային պոմպերը բարձր արդյունավետությամբ էներգետիկ լուծում են, որոնք կարող են ինտեգրվել վերականգնվող էներգիայի աղբյուրների հետ: Ջերմային պոմպերը կարող են գույակցվել ջերմային էներգիայի պահուստավորման (ՋԷՊ) համակարգերի հետ, ինչը հնարավորություն է տալիս ոչ միայն բարձրացնել ընդհանուր համակարգի արդյունավետությունը, այլև ձկուն կառավարել ջերմապահանջի և էներգիայի ավելցուկի բաշխումը: ՋՊ-ՋԷՊ համակարգերի արդյունավետության գնահատման նպատակով կիրառվում են օպտիմալացման մոդելներ, որոնք հիմնված են տարեկան ջերմապահանջի, ջերմաստիճանային և բնակեցման մակարդակի տվյալների վրա: Վերլուծությունները ցույց են տալիս, որ ջերմային էներգիայի կուտակիչների ինտեգրումը զգալիորեն նվազեցնում է ջերմապոմպային համակարգերի շահագործման ծախսերը:

***Բանալի բառեր.** ջերմային պոմպ, ջերմոցային գազեր, վերականգնվող էներգիա, էներգաարդյունավետություն, ջերմային էներգիայի պահուստավորում*

Ներածություն

ՀՀ-ում էներգիայի սպառման ավելի քան 50 % -ը բաժին է ընկնում հիմնականում բնական գազով աշխատող ջերմամատակարարման համակարգերին, որոնց զգալի մասը բնակելի շենքերի ջերմապահանջն է: Այս համակարգերն էկոլոգիապես մաքուր դարձնելու արդյունավետ միջոցներից է էներգաարդյունավետության բարձրացումը: Նորակառույց շենքերում ջերմապահանջը նվազել է՝ շնորհիվ որակյալ ջերմամեկուսիչ նյութերի կիրառման:

Ջերմային պոմպերի կիրառումը վերականգնվող էներգիայով նվազեցնում է արտանետումները՝ ապահովելով կայուն ու մաքուր էներգետիկ համակարգ [1, 2]:

Ջերմային պոմպերի և ջերմային էներգիայի պահուստավորման համակցումը բարձրացնում է էներգետիկ համակարգերի արդյունավետությունը՝ օպտիմալացնելով էներգիայի օգտագործումը և հնարավորություն տալով պահեստավորել վերականգնվող էներգիայի ավելցուկը: Համակարգի նախագծման փուլում չափերի ընտրության սխալները կարող են նվազեցնել դրա ընդհանուր արդյունավետությունը: Չափերի սխալ ընտրությունը նվազեցնում է համակարգի

արդյունավետությունը: Փոքր ՋՊ-ն մեծացնում է լրացուցիչ ջեռուցման կարիքը, իսկ մեծը՝ ներդրումային ծախսերը: Էներգետիկ համակարգերի մոդելավորումն ու սիմուլյացիան սովորաբար իրականացվում է երկու հիմնական մոտեցումներից մեկի միջոցով՝ կախված խնդրի բնույթից և պահանջվող արդյունքների մակարդակից:

Առաջին մոտեցումը հիմնված է էներգետիկ սիմուլյացիոն հատուկ ծրագրերի վրա, ինչպիսիք են **TRNSYS** [3] և **ESP** [4]: Գործիքները հնարավորություն են տալիս համակարգի մանրամասն վերլուծություն՝ հաշվի առնելով ֆիզիկական բնութագրերը և միջավայրի ազդեցությունը: Դրանց առավելությունը ճշգրտությունն է, սակայն ունեն թերություններ՝ բարձր հաշվարկային ծախսեր և օպտիմալացման նպատակների բացակայություն:

Երկրորդ մոտեցումը ներառում է պարզեցված մոդելավորման տեխնիկան, հիմնված մաթեմատիկական ծրագրավորման մեթոդների վրա, ինչպիսիք են՝ **Էվոլյուցիոն ալգորիթմները** կամ **խառը ամբողջաթիվ գծային ծրագրավորումը (ԽԱԳԾ)**: Այս մոտեցումը նախագծված է էներգետիկ պահանջարկի բավարարումը և սարքավորումների օպտիմալացումն արդյունավետ կերպով մոդելավորելու և հաշվարկելու համար: Այն առանձնանում է բարձր ճկունությամբ, նվազեցված հաշվարկային բարդությամբ և օպտիմալացման խնդիրների լուծման հստակությամբ: ԽԱԳԾ մեթոդների օգտագործումը հատկապես նպատակահարմար է համակարգերի օպտիմալացման խնդիրների դեպքում՝ ապահովելով հաշվարկային բարձր արդյունավետություն և լուծումների գործնական կիրառելիություն: Մանրամասն վերլուծության համար օգտագործվում են սիմուլյացիոն գործիքները, իսկ օպտիմալացման համար՝ մաթեմատիկական ծրագրավորման մեթոդները:

Աշխատանքը ներկայացնում է ջեռուցման համակարգերի նախագծման և օպտիմալացման փուլը՝ գնահատելով շահագործումն ու ծախսերը: Մոդելը հաշվի է առնում արտաքին ջերմաստիճանը, ջերմապահանջը և բնակեցման աստիճանը: ՀՀ սակագների համատեքստում հետազոտվում են ջերմային պոմպերի, ՋԷՊ-ի չափերը և ջեռուցման ջերմաստիճանները, իսկ արդյունքները համեմատելի են TRNSYS մոդելի հետ:

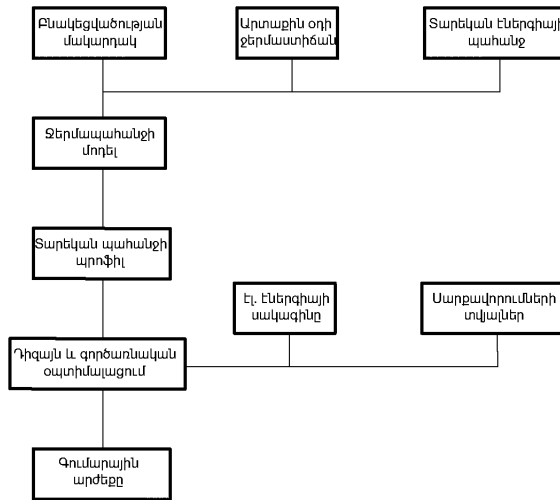
Նյութեր և մեթոդներ

Օպտիմալացման շրջափուլի հիմնական մասերը ջերմապահանջի մոդելն է, ինչպես նաև նախագծման և գործառնական օպտիմալացումը (նկ. 1):

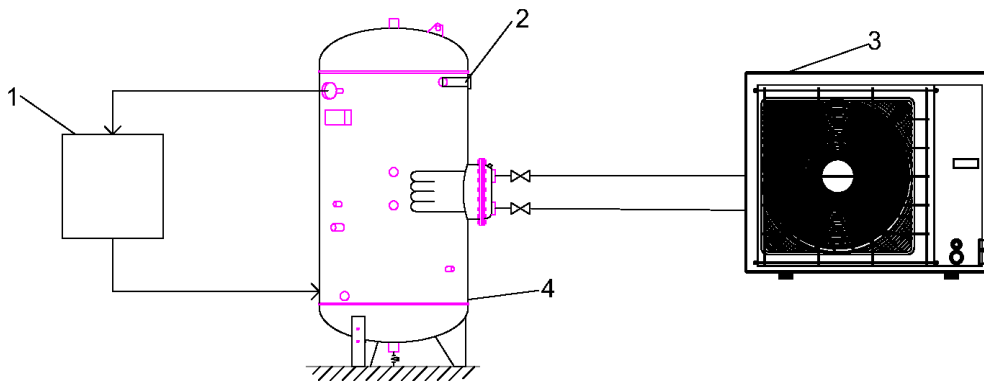
Ջերմապահանջի մոդելը ներառում է ինչպես ջեռուցման, այնպես էլ կենցաղային տաք ջրամատակարարման պահանջը: Մոդելավորված ջեռուցման համակարգը բաղկացած է օդային ջերմապոմպային համակարգից՝ համակցված ջերմային էներգիայի պահուստավորման համակարգով (նկ. 2): Ջերմային պոմպով ստացված էներգիան փոխանցվում է պահուստավորման բաքին՝ օգտագործելով ջերմափոխանակիչ, որը տեղադրված է բաքի ստորին հատվածում:

Ուսումնասիրության հիմնական օպտիմալացման խնդիրն այն է, որպեսզի գտնվի լավագույն չափը և գործառնական կորը, նվազագույնի հասցնելու ընդհանուր ծախսը՝ C_{total} , ինչը ներառում է ներդրման և շահագործման ծախսերը՝ C_{inv} , C_{sub} , և պետության կողմից դրամական աջակցությունը՝ R

$$C_{ընդ} = \min \left\{ C_{ներ} + \sum_{t=1}^7 \frac{C_{2ահ-R}}{(1+r)^t} \right\} : \quad (1)$$



Նկ. 1. Զերմապահանջի օպտիմալացման շրջանակի հիմնական տարրերը



Նկ. 2. Զեռուցման համակարգ. 1 - ջերմության պահանջ, 2 - երկրորդային տաքացուցիչ, 3 - օդային ջերմային պոմպ, 4 - տաք ջրի բաք

(1)-ում օգտագործվում է գուտ ներկայիս արժեքը՝ հաշվի առնելով ապագա գործառնական ծախսերն ու եկամուտները, առավելագույնը 5 % տոկոսադրույքով և 7 տարի ժամկետով: Այս ուսումնասիրությունում հաշվի առնված դրամական աջակցության տեսակը «էներգաարդյունավետ վերանորոգման վարկ»-ն է: Ներդրման ծախսերը ներառում են սարքավորումների գինը և տեղադրման ծախսերը, որոնք ընդունվում ենք 800000 դրամ և 300000 դրամ համապատասխանաբար, ՋՊ-ի և ՋԷՊ-ի համար:

$$C_{ներ} = C_{ՋՊ} + C_{ՋԷՊ} : \quad (2)$$

Տարեկան շահագործման ծախսը բաղկացած է ջերմային պոմպի և լրացուցիչ ջեռուցիչի համար մատակարարվող էլեկտրաէներգիայի ընդհանուր քանակից, բազմապատկված համապատասխան էլեկտրաէներգիայի սակագնով ($C_{էլ}$) (3) [5, 6]՝

$$C_{ընդ} = \sum_{t=0}^{8759} (P_{ՋՊ,ներ,ժ} + P_{հս,ժ}) \cdot \Delta t \cdot C_{էլ} : \quad (3)$$

ԽԱԳԾ մոդելն ընդունում է սարքավորումների, սակագնի և ջերմապահանջի տվյալներ՝ օպտիմալացնելով ՋՊ-ի հզորությունն ու ՋԷՊ-ի չափը՝ նվազագույն ծախս ապահովելու համար:

Օպտիմալացման կարևոր տվյալներից մեկը ջերմապահանջի կորերն են, որոնք ստեղծվում են ջերմապահանջի մոդելի միջոցով, իրական չափումների հիման վրա: Ջերմապահանջը կախված է եղանակից, շենքի բնութագրերից, ջեռուցման համակարգից և բնակիչների քանակից [7, 8]:

Բնակարանային էներգիայի պահանջը կարելի է մոդելավորել երկու մոտեցումներով՝ վերնից ներքև և ներքևից վերև: Վերնից ներքև մոտեցումները հիմնվում են խիստ համախմբված էներգիայի սպառման տվյալների վրա և համեմատաբար հեշտ են մշակման համար: Ներքևից վերև մոտեցումները, որոնք կարելի է դասակարգել որպես ներքևից վերև վիճակագրական և ներքևից վերև ինժեներական մոտեցումներ, պահանջում են ավելի մանրամասն ելակետային տվյալներ (օրինակ՝ շենքի բնութագրեր և հաշվարկային տվյալներ) և կարող են լինել հաշվարկային առումով ծանրաբեռնված:

Ուսումնասիրությունում ստեղծվում է ջերմապահանջի մոդել՝ համադրելով վերնից ներքև և ներքևից վերև մոտեցումները: Մոդելը պահանջում է ջերմապահանջ, արտաքին ջերմաստիճան և զբաղվածության կոր՝ ավելի իրական բեռի կորեր ստանալու համար: Մոդելը հիմնված է էներգիայի բնութագրերի մեթոդի վրա, որտեղ ջերմապահանջն արտաքին ջերմաստիճանից գծային ֆունկցիա է, ներառյալ զբաղվածության կորերը: Ջեռուցման համակարգի աշխատանքը կախված է արտաքին ջերմաստիճանից և զբաղվածության կորից:

Ակտիվ ժամանակահատվածներում համակարգը գործարկվում է, եթե արտաքին ջերմաստիճանն իջնում է սահմանված շեմից ներքև: Գիշերային ժամերը (23:00–07:00) համարվում են ոչ ակտիվ ժամանակահատված, որի ընթացքում կիրառվում է պասիվ շեմային ջերմաստիճանը՝ $T_{պ=0}^{\circ}\text{C}$: Մնացած ժամանակ՝ ակտիվ ժամերին, օգտագործվում է ակտիվ շեմային ջերմաստիճանը՝ $T_{ակ}=14^{\circ}\text{C}$:

Ընդունվում է մեծահասակների զբաղվածության երկու կոր՝ աշխատանքային օրերին 09:00-ից 18:00-ը: Կենցաղային տաք ջրամատակարարման պահանջը հաշվվում է DHWcalc ծրագրով [9]:

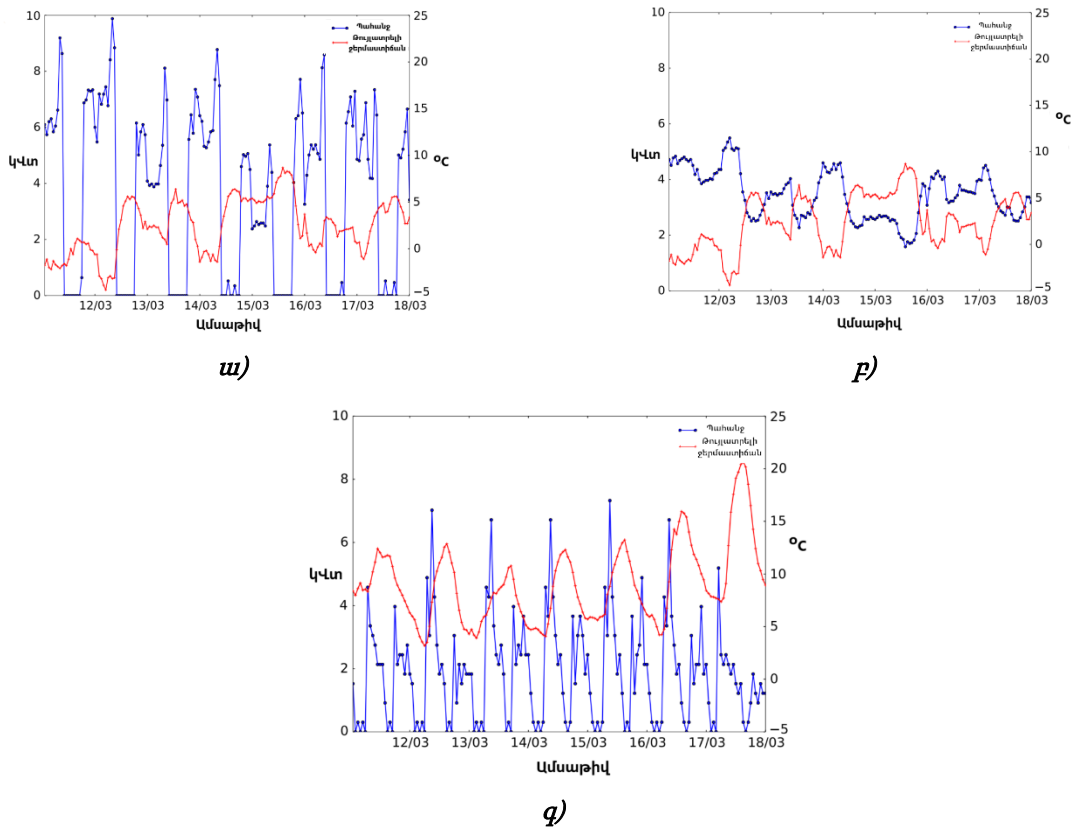
ՏՁՄ-ի մուծման կորը գնահատելիս, DHWcalc-ը պահանջում է մի շարք ելակետային տվյալներ, ինչպիսիք են տան տիպը, օրական ջրի սպառման միջին ծավալը և մուծումների հավանականության բաշխումները: Տվյալները ներկայացված են աղ. 1-ում:

Աղյուսակ 1

ՏՁՄ սպառման հավանականությունը

Ժամանակահատված, աշխատանքային / ոչ աշխատանքային	ՏՁՄ օրական հարաբերակցությունը, %
7.00-9.00 / 8.00-10.00	50
9.00-18.00 / 10.00-16.00	10
18.00-23.00 / 16.00-00.00	30
23.00-7.00 / 00.00-8.00	10

Նախագծվել է 10 %-ոց օրական ջրօգտագործման ենթադրություն՝ առանց զբաղվածության ժամերի (օրինակ՝ աշխատանքային օրեր, 09:00–18:00), որպեսզի հաշվի առնվեն զբաղվածության կորերում փոքր անբավարարությունները և սարքավորումների հնարավոր պահանջը: Մոդելավորված բնակարանի տարեկան էներգիայի սպառումը հաշվարկվում է՝ բազմապատկելով տարածքի և ջրի տաքացման համար միջին բնական գազի սպառումը (առավելապես 15000 կՎտժ/տարի [10])՝ ընդունելով 90%-անոց ՕԳԳ: Ջերմապահանջի կորը գնահատելու համար դիտարկվել է ք. Երևանում գտնվող առանձնատուն, որի գազի տարեկան սպառումը 13,456 կՎտժ է (նկ. 3գ): Ջերմության պահանջարկի կորի ընդհանուր միտումը համադրելի է ընտրված տան պահանջի կորի հետ: Զբաղվածության կորի ներառումը զգալիորեն ազդում է ջերմապահանջի վրա (նկ. 3ա), իսկ առանց դրա ստացված կորը չի ցույց տալիս էքստրեմումներ և բացակայող պահանջարկ (նկ. 3բ), ինչը չի համապատասխանում իրական վիճակին:



Նկ. 3. Մոդելավորված ջերմապահանջի օրինակ. ա - առանց զբաղվածության կորի, բ - զբաղվածության կորով, գ - առանձնատան օրինակով

Ջերմային պոմպի աշխատանքը կարելի է քանակապես գնահատել COP գործակցով, որը սահմանվում է որպես ստացված ջերմային ($Q_{\text{զէ}}$) և ծախսված էլեկտրական հզորությանների ($P_{\text{զէ}}$) հարաբերակցություն (4): COP-ն կախված է արտաքին ջերմաստիճանից, մատակարարվող ջրի և մուտքային ջրի ջերմաստիճաններից և բեռնվածության գործակցից: Պարզեցումներ կարելի է կատարել այս բարդությունը նվազեցնելու համար, սակայն դա պետք է անել զգուշությամբ, քանի

որ դա կարող է ազդել օպտիմալ կառավարման արդյունքի վրա: Օրինակ, ցույց է տրվել, որ պարզեցված մոդելը, որն անտեսում է COP-ի կախվածությունն արտաքին ջերմաստիճանից, կարող է հանգեցնել ավելի բարձր էլեկտրաէներգիայի սպառման՝ համեմատած ավելի բարդ մոդելի հետ:

$$COP = \frac{Q_{\text{զէՊ}}}{P_{\text{զէՊ}}} : \quad (4)$$

Ջերմային պոմպի COP-ն մոդելավորված է որպես ջերմաստիճանի բարձրացման ֆունկցիա, որը ներկայացնում է մատակարարվող ջրի և արտաքին օդի ջերմաստիճանների տարբերությունը: Կիրառվող տվյալները՝ գծային ռեգրեսիայի համապատասխանը ստեղծելու համար, բխում են արտադրողի տվյալներից:

Սարքավորումների մոդելավորումը ԽԱԳԾ մոդելում իրականացվում է սահմանային պայմաններով, որոնք արտացոլում են սարքավորումների բնութագրերը: Հաշվի է առնվում ջերմային պոմպերի տարանջատված հավաքածու, որոնցից միայն մեկը պետք է ընտրվի: Ջերմային պոմպի ջերմային հզորության արդյունքը սահմանափակված է նվազագույն բեռնվածության գործակցով և առավելագույն հզորությամբ: Ներառված ջերմային էներգիայի պահուստավորման համակարգը տաք ջրի բաք է՝ 120...300 լիտր՝ ծավալային միջակայքով: Իդեալականորեն ջերմամեկուսացված ջերմային էներգիայի պահուստավորման համակարգի (ՋԷՊ) էներգիայի պարունակությունը հաշվարկվում է (5)-ով: Ջերմային պոմպի ջեռուցման համակարգի համար բաքում ջերմաստիճանի բարձրացումը՝ $\Delta T_{\text{զէՊ}}$, սահմանված է $10 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$Q = \frac{V_{\text{զէՊ}} \cdot \rho_w \cdot C_p \cdot \Delta T_{\text{զէՊ}}}{3600} : \quad (5)$$

Ջերմային էներգիայի պահուստը ՋԷՊ -ում t ժամանակահատվածում, $Q_{\text{sto},t}$, հաշվարկվում է (6)-ով, և սահմանափակվում է առավելագույն էներգիայի պարունակությամբ (7): Կորուստները՝ Q_{loss} , հավաքվել են արտադրողի տվյալաշարից [11]:

$$Q_{\text{sto},t} = Q_{\text{sto},t-1} + (Q_{\text{ch},t} - Q_{\text{ach},t} - Q_{\text{loss}}) \cdot \Delta t, \quad (6)$$

$$Q_{\text{sto},t} \leq Q_{\text{cap}} : \quad (7)$$

Տան ջերմության պահանջարկը բավարարվում է ՋԷՊ-ից էներգիա դուրս բերելով, նաև հավելյալ ջեռուցիչի օգնությամբ, ինչպես նշված է (8)-ում: Ռեգիստրիվ ջեռուցիչի ON/OFF վիճակը ներկայացվում է բինար փոփոխական δ_t -ի միջոցով, իսկ ջերմային հզորության արդյունքը Q_{im} -ն կայուն է՝ 3 կՎտ , սկզբնական օպտիմիզացման համար:

$$\eta_{\text{ach},t} \cdot Q_{\text{ach},t} + \eta_{\text{im}} \cdot Q_{\text{rh}} \geq Q_{\text{dem},t} : \quad (8)$$

Էլեկտրաէներգիայի սակագնի երկու տեսակ է ընդունվում՝ ցերեկային (Ց) և գիշերային (Գ): Ց և Գ-ն երկաստիճան սակագներ են, որտեղ Ց-ի սակագինը 48,48 դրամ/կՎտժ է, իսկ Գ սակագինը՝ 38,48 դրամ: Գիշերային սակագինը գործում է ժամը 23:00-07:00-ն:

Գծային ծրագրավորման խնդիրը ձևակերպվել է *Pyomo 6.8.1* [12] ծրագրում և լուծվել *CPLEX 22.1.0* [13] գործիքի միջոցով *Windows*-ով աշխատող համակարգչով:

Արդյունքներ և քննարկում

Էլեկտրաէներգիայի տարբեր սակագների դեպքում օպտիմալացման արդյունքները ներկայացված են աղ. 2-ում: Օպտիմալացված ջերմային պոմպի հզորությունը՝ 8,5 կՎտ: Մյուս կողմից, օպտիմալ ՋԷՊ-ի չափը 300 լ է Գ և 210 լ՝ Ց սակագների համար: Նվազագույն ընդհանուր ծախսը ստացվում է Գ սակագնի դեպքում: Համարժեք CO₂ արտանետումը հաշվարկվում է էլեկտրաէներգիայի ցանցի միջին ածխաթթու գազի ինտենսիվության հիման վրա, որը կազմում է 0,49 կգCO₂/կՎտ.ժ [14]: Ստանդարտ սակագնի դեպքում ջերմային էներգիայի պահանջարկը ՋԷՊ-ի միջոցով տեղափոխելու որևէ խթան չկա, քանի որ դա առաջացնում է լիցքավորման/լիցքաթափման և ինքնալիցքաթափման կորուստներ, ինչի արդյունքում էլեկտրաէներգիայի մուտքն ամենափոքրն է: Հետևաբար, այս դեպքում համարժեք CO₂ արտանետումները նույնպես ամենացածրն են: Այնուամենայնիվ, սա հաշվի չի առնում ցածր սակագնի ժամերին սովորաբար ավելի փոքր CO₂ ինտենսիվությունը:

Աղյուսակ 2

Էլեկտրաէներգիայի տարբեր սակագների արդյունքները

Փոփոխականներ	Ց	Գ
ՋԷՊ-ի հզորությունը, կՎտ	8,5	8,5
ՋԷՊ տարողությունը, լ	210	300
ՋԷՊ էլ. ծախսը, կՎտ ժ/տարի	5449	5483
CO ₂ արտանետում, կգ/տարի	2670	2687
Տարեկան շահագործման ծախսեր, ՀՀ դրամ	196266	151344
Ընդհանուր արժեքը 20 տարվա համար, ՀՀ դրամ	3341875	2716188

Նաև հետաքրքիր է համեմատել ՋՊ–ՋԷՊ ջեռուցման համակարգերն ավանդական գազի կաթսայի հետ: Ենթադրելով, որ գազի գինը կազմում է 143,7 դրամ/կՎտ.ժ, մոդելավորված ջերմապահանջը կունենա շահագործման ծախսեր մոտ 2146891 դրամ/տարի: Աղ. 2-ում ներկայացված օպտիմալ լուծումն ունի 6% -ով ցածր շահագործման ծախսեր: Ավելին, օգտագործելով բնական գազի CO₂ գործակիցը՝ 0,185 կգCO₂/կՎտ.ժ, կաթսայի տարբերակը կունենա համարժեք արտանետում մոտ 2850 կգ CO₂: Սա 6...7% -ով ավելի բարձր է, քան ՋՊ–ՋԷՊ համակարգերի համարժեք CO₂ արտանետումները:

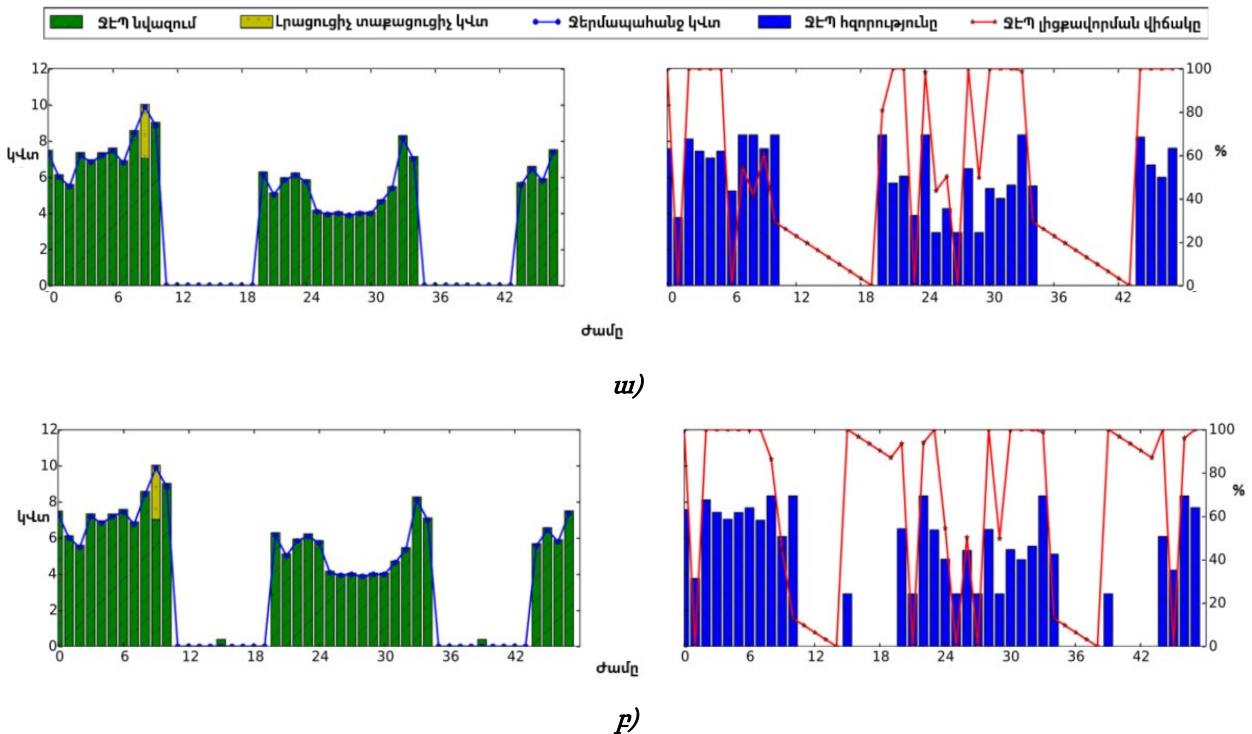
Եվս մի ուսումնասիրություն է կատարվել, որը ենթադրում է 50 °C ջեռուցման մատակարար ջերմաստիճանի ջուր, որն ընդգրկում է պահանջվող միջակայքն այն համակարգերի համար, որոնք ունեն սովորական մարտկոցներ: Այս տարբերությունը կարող է մեծ ազդեցություն ունենալ COP-ի վրա, քանի որ ջերմաստիճանի բարձրացումն ավելի բարձր է երկրորդ համակարգում, ինչը նվազեցնում է COP-ն: Դրա համար լուծվել է օպտիմալացման խնդիր, որտեղ ջեռուցման մատակարար ջերմաստիճանը 35 °C է, որը բնորոշ է հատակային ջեռուցման համակարգի համար: Երկու տարբեր մատակարար ջերմաստիճանների համար ստացված արժեքները Գ սակագնի դեպքում ներկայացված են աղ. 3-ում:

Մատակարար ջրի ջերմաստիճանի ազդեցությունը շահագործման ծախսերի վրա

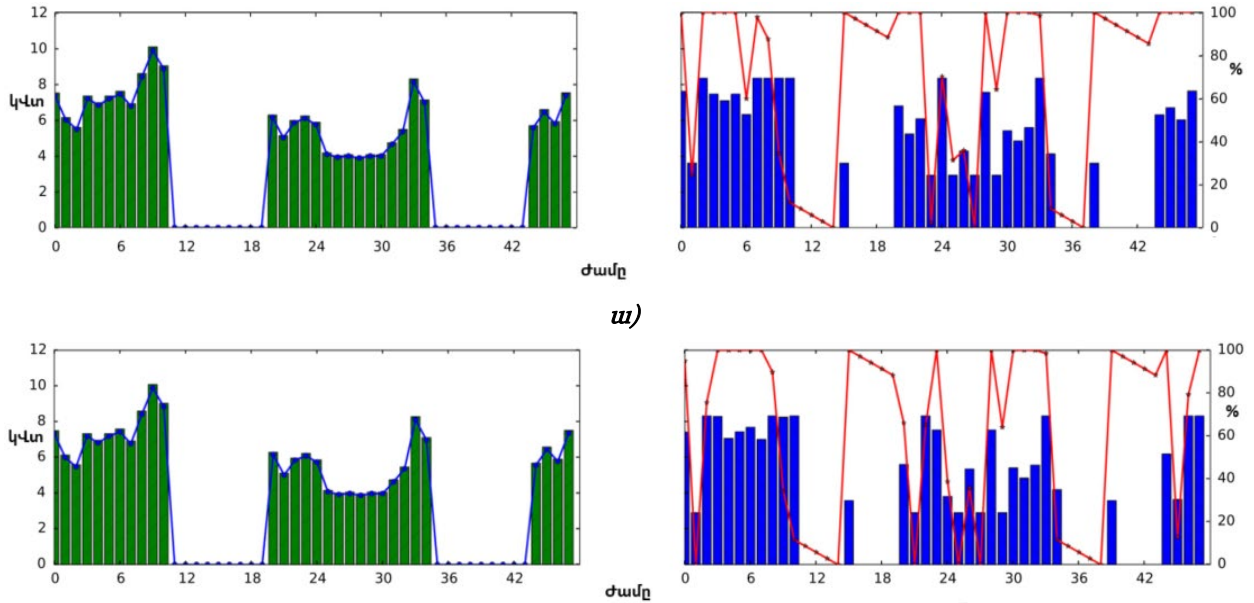
Փոփոխականներ	$T_{մատ} = 50^{\circ}C$	$T_{մատ} = 35^{\circ}C$
ՋՊ-ի հզորությունը, կՎտ	8,5	8,5
ՋԷՊ տարողությունը, լ	300	300
ՋՊ էլ. ծախսը, կՎտ ժ/տարի	5483	3678
CO ₂ արտանետում, կգ/տարի	2687	1802
Արտանետումների կրճատում գազի կաթսայի համեմատ, %	5,7	37

Աղ. 2-ում ներկայացված են շահագործման կորերը երկու ձևաչափի օրերի համար՝ 210 և 300 Լ ՋԷՊ չափերով ջեռուցման համակարգերի համար համապատասխանաբար: Աղ. 2-ում կարելի է նկատել, որ երկրորդային ջեռուցիչն աշխատում է առավելագույն պահանջարկի ժամանակ էլեկտրաէներգիայի յուրաքանչյուր սակագնի դեպքում: Փոքր էներգիայի լիցքաթափում է տեղի ունենում պահանջարկի բացակայության ընթացքում 15-րդ և 39-րդ ժամերին՝ 210 Լ ՋԷԿ դեպքում 3 սակագնով (նկ. 4):

Սակագների հիմնական տարբերությունը ցուցադրված է նկ. 4 և 5-ում: 210 Լ ՋԷՊ ունեցող համակարգը փորձում է պահպանել 100 % լիցքավորումը ցածր սակագնի ժամանակ, մինչդեռ Գ սակագնի դեպքում լրացուցիչ լիցքավորում է տեղի ունենում: 300 Լ ՋԷՊ համակարգերում լիցքավորումը պահանջարկի բացակայության ժամանակ նկատելի է բոլոր սակագների համար, ինչը կարող է պայմանավորված լինել կորուստների աճով: Արդյունքում, ավելի մեծ ՋԷՊ ունեցող համակարգը կարող է լինել պակաս արդյունավետ և բարձրացնել շահագործման ծախսերը:



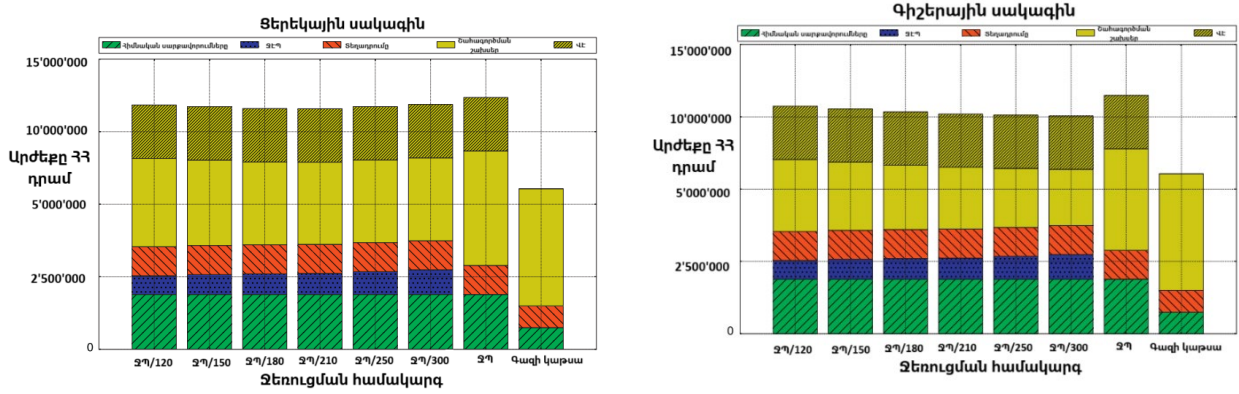
Նկ. 4. Շահագործման կորերը երկու ձևաչափի օրվա ընթացքում 210 Լ ՋԷՊ.
 ա - ցերեկային, բ - գիշերային սակագներով



Նկ. 5. Շահագործման կորերը երկու ձևերային օրվա ընթացքում 300 L ՋԵՊ.
 ա - ցերեկային, բ - գիշերային սակագներով

Երկրորդային ջեռուցչի ազդեցությունն օպտիմալացման արդյունքների վրա (աղ. 2) աննշան է, քանի որ ջերմային պոմպը կարող է բավարարել ջերմության պահանջն էներգիայի պահեստավորմամբ: Ավելի փոքր՝ 5 կՎտ ջերմապոմպի տեղադրումը նվազեցնում է ներդրումային ծախսերը, բայց պահանջում է երկրորդային ջեռուցիչ առավել ցուրտ օրերին, հատկապես մեծ տարողությամբ բաքերի դեպքում: Գ տարբերակի օպտիմալացման արդյունքում 300 L ՋԵԿ-ի և 6 կՎտ լրացուցիչ ջեռուցիչի կիրառմամբ հնարավոր է նվազեցնել ՋՊ-ի հզորությունը: Սակայն սկզբնական խնայողությունները չեզոքացվում են էլեկտրաէներգիայի ծախսի աճով:

8,5 կՎտ հզորությամբ ՋՊ-ի ընդհանուր ծախսերը՝ տարբեր պահուստների չափերով և սակագներով, ցուցադրված են նկ. 6-ում: ՋԵՊ-ի օգտագործումը նվազեցնում է շահագործման ծախսերը՝ համեմատած միայն ջերմային պոմպի հետ:



Նկ. 6. Տարբեր ջեռուցման համակարգերի ընդհանուր արժեքը.
 ա – ցերեկային, բ - գիշերային սակագների դեպքում

Առանց Վերականգնվող Էներգիայի(ՎԷ), ջերմային պոմպի բոլոր սցենարներն ունեն ընդհանուր ծախսեր, որոնք զգալիորեն ավելի բարձր են, քան գազային կաթսայի դեպքում: Դա պայմանավորված է ջերմային պոմպի և ՋԷՊ համակարգի սարքավորումների զգալիորեն ավելի բարձր արժեքով: ԳՋԷՊ-ի դեպքում (նկ. 6բ) ավելի մեծ պահեստավորման ծավալն ապահովում է ավելի ցածր ընդհանուր ծախս, թեև այդ նվազումը համեմատաբար փոքր է: Բացի այդ, ջերմային պոմպի ընդհանուր ծախսերը ՋԷՊ-ով ավելի ցածր են: Դա պայմանավորված է նրանով, որ ՋԷՊ-ի շնորհիվ շահագործման ծախսերի խնայողությունները փոխհատուցում են դրա կապիտալ ծախսերը: Հետաքրքիր է նշել, որ նման միտում չի նկատվում Ց -ի դեպքում (նկ. 6բ): ՋԷՊ -ի չափը 210 լիտրից ավելի մեծացնելը Ց սակագնի դեպքում կհանգեցնի ընդհանուր ծախսերի ավելացման: Շահագործման արդյունավետության անկումը և պահեստավորման չափի մեծացումը համապատասխանում են փորձարարական դիտարկմանը [15]: Կոնկրետ սակագնի դեպքում ամենաէժեքն ու ամենաթանկ ՋՊ-ՋԷՊ լուծումների միջև ծախսերի տարբերությունը 2...7 % է:

Վերականգնվող էներգիան զգալիորեն կրճատում է ՋՊ համակարգերի ծախսերը, ինչպես ցույց է տրված նկ. 6-ում, և կարող է ջերմային պոմպը գազային կաթսայի հետ մրցակցային դարձնել:

Եզրակացություն

- Թեստերը ցույց են տվել, որ օպտիմալացման շրջանակը գեներացնում է TRNSYS սիմուլյացիային համադրելի արդյունքներ՝ օգտագործելով միայն հասանելի տվյալներ, ինչը հնարավորություն է տալիս կիրառել այն էկոլոգիապես մաքուր ջեռուցման համակարգերի գնահատման մեջ:
- Հատակային ջեռուցման կիրառմամբ, որը պահանջում է ավելի ցածր մատակարար ջերմաստիճաններ, ջերմային պոմպի համակարգը խնայում է 37 % ծախսեր և արտանետումներ՝ համեմատած գազային կաթսայի հետ:
- Ուսումնասիրված ջեռուցման համակարգերի ծախսերը տարբեր սակագների դեպքում տարբերվում են. Գ սակագնով ՋՊ-ՋԷՊ համակարգերի ծախսը նվազում է պահուստավորման տարողության աճով, մինչդեռ Ց սակագնի դեպքում ծախսերը աճում են՝ գերազանցելով 210 լիտրը: Ընդհանուր առմամբ, ՋՊ-հիմքով համակարգերը, անկախ ՋԷՊ-ի առկայությունից, ավելի բարձր ծախսեր ունեն, քան գազի կաթսաները:
- ԽՍԳԾ-ի վրա հիմնված օպտիմալացման շրջանակը, կիրառելով ցածր բարդության մոդելներ, լուծվում է արագ՝ համեմատած TRNSYS-ի նման գործիքների հետ, ինչը թույլ է տալիս իրականացնել ամբողջ տարվա օպտիմալացում՝ առանց ժամանակային հորիզոնը կրճատելու:

Գրականության ցանկ

- [1] **ГОСТ Р 58536.2-2022.** Кондиционеры, агрегатированные охладители жидкости, тепловые насосы, технологические чиллеры и осушители с компрессорами с электроприводом, Российский институт стандартизации, Москва, 2022, 27 с.
- [2] **K.D. Timmerhaus, R.P.Reed,** Cryogenic Engineering Fifty Years. 2007, 379 p.
- [3] Transient System Simulation Tool, <https://www.trnsys.com/>
- [4] The Experienced Services Program, <https://newsolutions.org/programs/esp-program-nps/>
- [5] UK Energy Research Centre. UKERC Energy Data Centre, 2015.
- [6] **A.R. Jha,** Cryogenic Technology and Applications. USA-Oxford, 2006, 288 p.
- [7] **Սարգսյան, Վերականգնվող էներգիայի օգտագործումն աշխարհում- Հայաստանում:** Նորարարությամբ դեպի մաքուր տեխնոլոգիաներ. Լուսաբաց, Երևան, 2009, 82 էջ:
- [8] **A. Walker,** Solar energy: Technologies and project delivery for buildings. John Wiley&Sons Inc, USA, 2011, 321 p.
- [9] **U. Jordan, K. Vajen,** DHWcalc: Program to generate domestic hot water profiles with statistical means for user defined conditions. In: ISES solar world congress, Orlando, USA, 2005.
- [10] **S. Walker,** Energy use in the home – measuring and analysing domestic energy use and energy efficiency in Scotland. Scottish House Condition Survey, The Scottish Government, 2012.
- [11] Mitsubishi Electric. ecodan renewable heating technology data book, 2024.
- [12] Pyomo Documentation 6.9.2, <https://pyomo.readthedocs.io/en/stable/>
- [13] Quantum annealing versus classical solvers: Applications, challenges and limitations for optimisation problems, <https://www.ibm.com/docs/en/icos/22.1.0?topic=2210-release-notes-cplex>
- [14] Energy Saving Trust. Our calculations, 2015.
- [15] **H. Charlick,** Investigation of the interaction between hot water cylinders, buffer tanks and heat pumps, Kiwa GASTEC at CRE, Department of Energy & Climate Change, 2013.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В ТЕПЛОВЫХ НАСОСНЫХ СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ

Карен Ашотович Мовсисян

*Национальный университет архитектуры и строительства Армении, г. Ереван, РА
karen.movsisyan1999@gmail.com*

Потребление энергии в системах теплоснабжения зданий оказывает существенное влияние как на общий энергетический баланс, так и на рост выбросов парниковых газов, что обусловлено широким использованием ископаемого топлива. Для повышения экологической эффективности систем теплоснабжения рекомендуется переходить на электрические технологии отопления, в частности, использовать тепловые насосы (ТН). Тепловые насосы представляют собой высокоэффективное энергетическое решение, которое можно интегрировать с возобновляемыми источниками энергии. Тепловые насосы могут комбинироваться с системами накопления тепловой энергии (НТЭ), что позволяет не только повысить эффективность работы всей системы, но и гибко управлять распределением потребности в тепле и излишков энергии. Для оценки эффективности систем ТН-НТЭ используются модели оптимизации, основанные на данных о годовой потребности в тепле, коэффициенте теплопроизводства и уровне занятости. Анализы показывают, что интеграция накопления тепловой энергии значительно снижает эксплуатационные расходы теплонасосных систем.

Ключевые слова: *тепловой насос, парниковые газы, возобновляемая энергия, энергоэффективность, хранение тепловой энергии*

OPTIMIZATION OF THE USE OF THERMAL ENERGY STORAGE SYSTEMS IN HEAT PUMP HEATING SYSTEMS

Karen Movsisyan

National University of Architecture and Construction of Armenia, Yerevan, RA

karen.movsisyan1999@gmail.com

To improve the environmental efficiency of heating systems, it is recommended to switch to electric heating technologies, in particular, to use heat pumps (HP). Heat pumps are a highly efficient energy solution that can be integrated with renewable energy sources. Heat pumps can be combined with thermal energy storage systems (TES), which allows not only to increase the efficiency of the entire system, but also to flexibly manage the distribution of heat demand and surplus energy. To assess the efficiency of HP- TES systems, optimization models are used based on data on annual heat demand, heat production coefficient and occupancy level. Analyses show that the integration of thermal energy storage significantly reduces the operating costs of heat pump systems.

Keywords: *heat pump, greenhouse gases, renewable energy, energy efficiency, thermal energy storage*

Սովորիչյան Գարեն Աշոտի (ՀՀ, ք. Երևան) – ՃՇՀԱՀ, ՋԳՄՕ ամբիոն, ասպիրանտ, (+374)96230440, karen.movsisyan1999@gmail.com

Мовсисян Карен Ашотович (РА, г. Ереван) - НУАКА, кафедра Теплогазоснабжения и вентиляции, аспирант, (+374)96230440, karen.movsisyan1999@gmail.com

Movsisyan Karen (RA, Yerevan) - NUACA, Chair of ventilation, gas and heat supply, PhD student, (+374)96230440, karen.movsisyan1999@gmail.com

Ներկայացվել է՝ 23.12.2024թ.

Գրախոսվել է՝ 28.01.2025թ.

Ընդունվել է տպագրության՝ 30.04.2025թ.