

ԲԱԶՄԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿ ԼՈՒԾՈՒՄՆԵՐԻ ԿԻՐԱՌԵԼԻՈՒԹՅՈՒՆԸ ԲՆԱԿԵԼԻ ՇԵՆՔԵՐՈՒՄ

Մարիամ Արմենի Առաքելյան, Սերգեյ Աշոտի Մինասյան, Էդգար Գևորգի Ներսիսյան

*Ճարտարապետության և շինարարության Հայաստանի ազգային համալսարան, ք. Երևան, ՀՀ**mariamaraqelyan@nuaca.am*

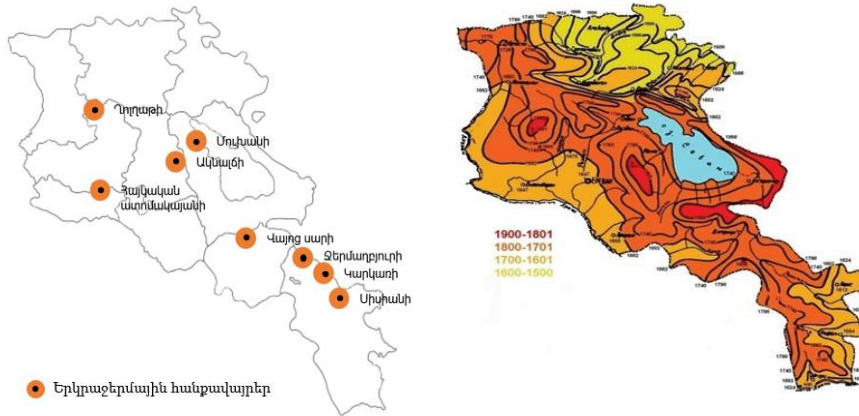
Հողվածում քննարկվում է բնակելի շենքերի ջերմային նախագծման մեթոդաբանության մշակումը, որը ներառում է վերականգնվող տեխնոլոգիաների ինտեգրմամբ բազմաէներգետիկ համակարգերի օպտիմալ ընտրությունն ու շահագործումը: Առաջարկվում է ֆոտովոլտային, արևային ջերմային և գեոթերմալ ջերմային պոմպերի տեխնոլոգիաների համակարգային կիրառելիության մոդելի մշակում և գնահատում: Ներկայացված մոդելը կարող է ծառայել որպես արդյունավետ տեխնոլոգիական լուծում էներգաարդյունավետ շենքային նախագծերի իրականացման, նախագծային և շինարարության փուլերում օպտիմալ տեխնոլոգիական որոշումների կայացման համար, հաշվի առնելով, որ ՀՀ-ն ունի վերականգնվող էներգետիկայի՝ հատկապես արևային և երկրաջերմային ռեսուրսների զգալի ներուժ: Նշված դրույթները կարող են նպաստել երկրի տնտեսական և էներգետիկ համակարգերի կայուն զարգացման ապահովմանը, շրջակա միջավայրի պահպանմանը:

Բանալի բառեր. բազմաէներգետիկ համակարգ, էներգաարդյունավետություն, էներգիայի պահի-հիմք, ինտեգրում, մոդել, գնահատում, կյանքի ցիկլ, օպտիմալացում

Ներածություն

Ապաածխածնացման գործընթացում շինարարական ոլորտն ունի առանցքային դեր՝ ուղղված էներգաարդյունավետ անցման տեմպերի բարձրացմանը, էներգետիկ աղքատության նվազեցմանը և կանաչ տեխնոլոգիաների խթանմանը:

Հայաստանի էներգետիկ կախվածությունը, հատկապես բնական գազի ներմուծումից, երկրի էներգետիկ անվտանգության և կայուն զարգացման հիմնական մարտահրավերներից մեկն է: Այն, ըստ էներգետիկ հաշվեկշռի տվյալների, կազմում է երկրի էներգիայի կիրառման մոտ 60% -ը, և մեծ մասն ուղղվում է տնային տնտեսություններին [1]: Սրանով պայմանավորված, վերականգնվող էներգետիկայի, մասնավորապես արևային և երկրաջերմային էներգիայի ներուժի արդյունավետ օգտագործումը կարևորագույն ռազմավարություն է Հայաստանի էներգետիկ համակարգի կայունության ապահովման համար: Կառուցվող և նախագծվող բնակելի շենքերում վերականգնվող էներգիայի համակարգերի ինտեգրումը միայն տեխնոլոգիական անհրաժեշտություն չէ, այլ նաև էական քայլ է դեպի էներգետիկ անկախությունը և կլիմայական փոփոխությունների դեմ պայքարը [2]:



Նկ. 1. Երկրաչեղմային և արևի էներգիայի ներուժը ՀՀ-ում

Անցումային շրջանը դեպի կայուն զարգացում և էներգախնայողության բարձրացման պահանջներ շինարարության ոլորտում դնում են նոր մարտահրավերներ, մասնավորապես, բազմաբնակարան շենքերի նախագծման և արդիականացման առումով, քանի որ այս շենքերը էներգիայի հիմնական սպառողներն են, ինչն ընդգծում է դրանց էներգաարդյունավետության և վերականգնվող էներգիայի տեխնոլոգիաների ինտեգրման անհրաժեշտությունը: Վերականգնվող էներգետիկ համակարգերի, օրինակ արևային ֆոտովոլտային, ջերմային պոմպերի, քամու տուրբինների և գեոթերմալ տեխնոլոգիաների կիրառումը բազմաբնակարան շենքերում կարող է զգալիորեն նվազեցնել էներգիայի ծախսը և ածխածնային արտանետումները [3]: Այս դեպքում մեծ կարևորություն է ստանում տեխնիկական և գործառնական համատեղելիության գնահատումը՝ հաշվի առնելով շենքի կառուցվածքային առանձնահատկությունները, էներգաբեռների պրոֆիլը և տեղային բնական ռեսուրսները (նկ. 1):

Ներկայացվող ուսումնասիրության նպատակն է մշակել համակողմանի մեթոդաբանություն, որը հնարավորություն կտա ՀՀ-ում կառուցվող բազմաբնակարան շենքերում տարբեր վերականգնվող էներգետիկ համակարգերի ինտեգրման արդյունավետությունը գնահատել տեխնիկատնտեսական և գործառնական տեսանկյունից: Արդյունքները հնարավորություն են տալիս առաջարկել օպտիմալ նախագծային որոշումներ, որոնք նպաստում են շենքերի էներգետիկ արդյունավետության բարձրացմանը, կայուն շինարարության զարգացմանը և վերականգնվող էներգիայի լուծումների արդյունավետ ներդրմանը:

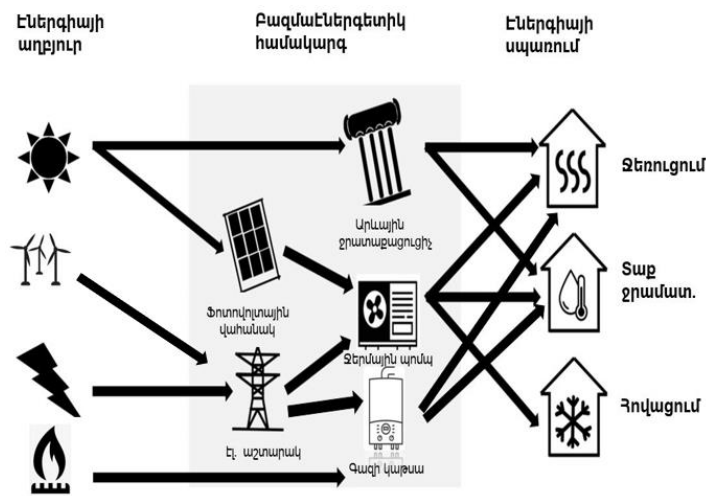
Նյութեր և մեթոդներ

Վերականգնվող էներգետիկ համակարգերի ինտեգրման տեխնիկական իրագործելիության, ինչպես նաև բազմաբնակարան շենքերի տարբեր տիպերի հետ դրանց համատեղելիության գնահատումը պահանջում է համապարփակ մաթեմատիկական մոդելավորում: Մոդելը պետք է ներառի շենքի էներգաբեռի ժամանակային և սեզոնային պահանջի գնահատումը, վերականգնվող էներգիայի արտադրող տեխնոլոգիաների (օր.՝ արևային ֆոտովոլտայիկ համակարգեր,

արևային ջրատաքացուցիչներ, փոքր հողմային տուրբիններ) կիրառելիության վերլուծությունը [4], ջերմային պոմպերի աշխատանքային բնութագրերի հաշվարկը, ինչպես նաև տեխնիկատնտեսական, էներգետիկ և էկոլոգիական ցուցանիշների համալիր գնահատումը: Տեխնիկատնտեսական վերլուծության համադրմամբ հնարավոր է նույնականացնել առավել արդյունավետ ինտեգրման գործիքակազմերը, ինչպես նաև որոշել դրանց տեխնիկական, տարածական և գործառական սահմանափակումները [5]:

Մոդելի կառուցման հիմքում բազմաէներգետիկ համակարգի (Multi-Energy Systems, MES)՝ այսուհետ ԲԷՀ, վերլուծությունն է, որի տեխնոլոգիական ընտրությունը պետք է հիմնված լինի շենքի էներգասպառման, բեռների դինամիկայի և տվյալ տարածքի էներգառեսուրսային ներուժի վրա: Այս մոտեցումը հնարավորություն է տալիս օպտիմալացնել էներգասպառումը, նվազեցնել ածխածնային արտանետումները և բարձրացնել շենքային ֆոնդի էներգաարդյունավետությունը:

ԲԷՀ-ը դիտարկվում է որպես փոխկապակցված ենթահամակարգերի դինամիկ ամբողջություն, որի նպատակն է ապահովել էներգիայի արդյունավետ, հուսալի և շրջակա միջավայրին նվազ վնաս հասցնող արտադրություն, փոխակերպում, կուտակում և սպառում [6]: Մոդելի ձևակերպումը հիմնված է էներգետիկ հոսքերի հավասարակշռության, տեխնոլոգիական փոխազդեցությունների, ինչպես նաև տնտեսական և էկոլոգիական ցուցանիշների օպտիմալացման վրա (նկ. 2):



Նկ. 2. Բազմաէներգետիկ համակարգի կառուցվածքը

Համակարգի աշխատանքը տեղի է ունենում հետևյալ սկզբունքով. ֆոտովոլտային կայանն արտադրում է էլեկտրական էներգիա, որն առաջնահերթ ուղղվում է շենքի սպառմանը, ավելցուկը լիցքավորում է մարտկոցները, իսկ մնացածը հնարավոր է վաճառել ցանցին: Գեոթերմալ ջերմային պոմպն ապահովում է ջեռուցում և հովացում, աջակցվում է արևային ջերմային կոլեկտորների արտադրած տաք ջրով, անհրաժեշտության դեպքում լրացվում է բնական գազի կաթսայով: Մարտկոցները թույլ են տալիս գազաթային բեռները կրճատել և ֆոտովոլտային կայանից կամ ցանցից էլեկտրաէներգիա պահել՝ խնայողություն և կայունություն ապահովելու համար:

Ավտոմատ համակարգը հսկում է բոլոր բաղադրիչների աշխատանքի ժամանակը, բեռի բաշխումը, էներգիայի արտահոսքը և մարտկոցների լիցքավորման մակարդակները:

ԲԷՀ-ի մոդելավորման և օպտիմալացման գործընթացում անհրաժեշտ է հաշվի առնել էներգետիկ հավասարակշռության և պահի պահպանողականության օրենքը, որն արտահայտում է հետևյալ տրամաբանական և ֆիզիկական պահանջը. մուտքային և արտադրած էներգիան պետք է հավասարվի տվյալ պահին շենքի ընդհանուր էներգետիկ պահանջարկին, ներառյալ ներքին ջերմանջատումները և օժանդակ տեխնոլոգիաների ներդրումները: Այսպիսով, շենքի էներգետիկ պահանջարկի բավարարման գործընթացը ներկայացվում է էներգիայի պահի-հիմք հավասարակշռության միջոցով, ըստ որի համակարգի տվյալ պահին պահանջվող ամբողջական էներգաբեռը պետք է հավասարվի բոլոր հասանելի էներգետիկ աղբյուրների համախառն ներդրմանը: Այս սկզբունքը մաթեմատիկորեն արտահայտվում է հետևյալ կերպ [7].

$$Q_{բեռ}(t) = Q_{ֆվ}(t) + Q_{ջլ}(t) + Q_{լե}(t), \quad (1)$$

որտեղ $Q_{բեռ}(t)$ – ը պահին պահանջվող ջերմային կամ էլեկտրական բեռն է, $Q_{ֆվ}(t)$ – ն՝ ֆոտովոլտային համակարգի կողմից տվյալ պահին մատչելի էներգիան (հաշվի առնելով փոխակերպման և կորուստների գործոնները), $Q_{ջլ}$ – ն՝ ջերմային պոմպի արտածած ջերմային էներգիան, որը կախված է ՕԳԳ-ից և արտաքին պայմաններից [5], $Q_{լե}(t)$ – ն՝ լրացուցիչ էներգիայի աղբյուրների (օր.՝ էլեկտրական ռեզիստիվ ջեռուցում, գազային կաթսա) ներդրումը:

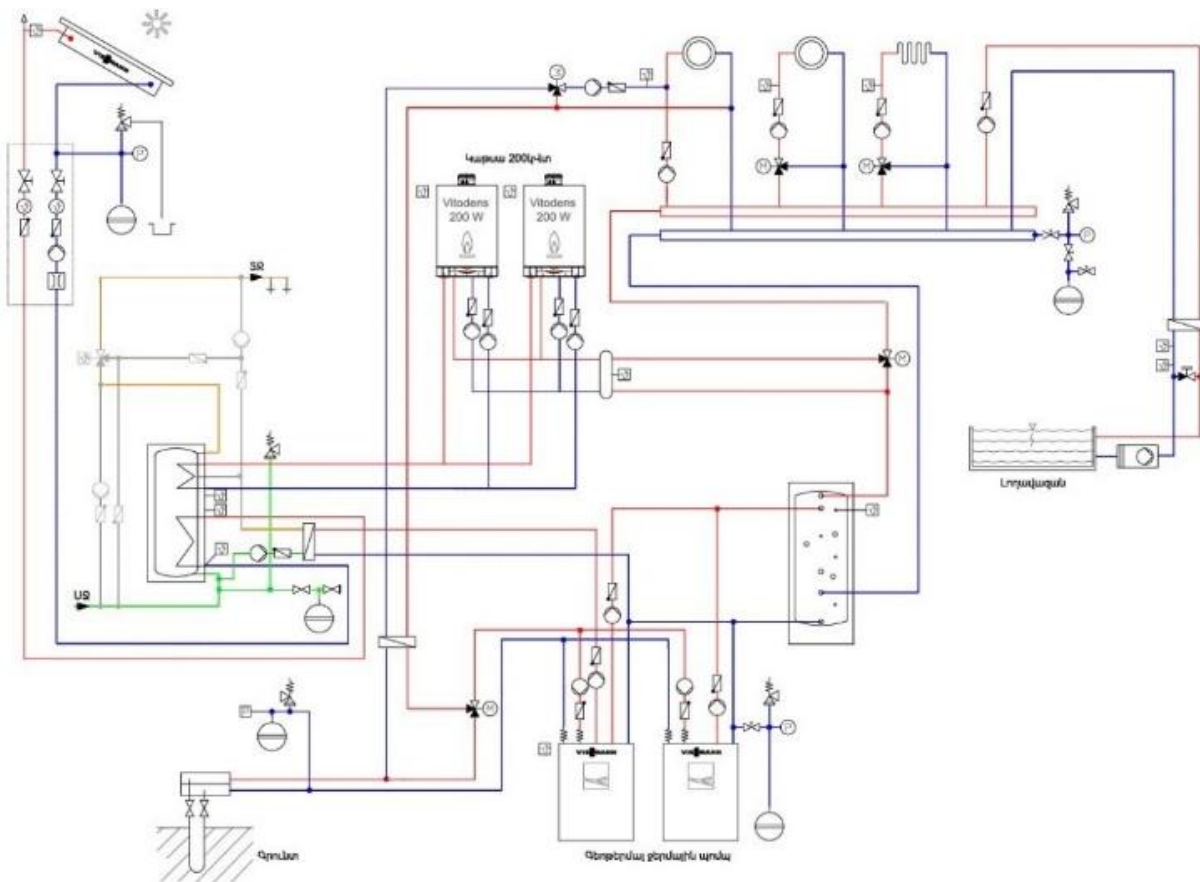
Հավասարումը ցույց է տալիս, որ բազմաէներգետիկ համակարգն ունի էներգիայի պահպանման բնույթ՝ տվյալ պահին շենքի պահանջարկը չի կարող գերազանցել առկա էներգետիկ աղբյուրների միակցված ներուժը [8]:

Բացի այդ, ֆոտովոլտային համակարգն ու ջերմային պոմպն ունեն ոչ հաստատուն և պայմաններից կախված արտադրողականություն՝ ֆոտովոլտային համակարգի արտադրողականությունը $Q_{ֆվ}(t)$ կախված է արևի ճառագայթման ինտենսիվությունից, ջերմաստիճանից և գործարկման այլ պարամետրերից, իսկ ջերմային պոմպի արտադրողականությունը՝ $Q_{ջլ}(t)$, ՕԳԳ-ից, որը կախված է արտաքին միջավայրի ջերմաստիճանից [9]: Այս հանգամանքից ելնելով գործում է համակարգերի փոխլրացման բնույթը՝ ամբողջ համակարգն ունի մուլտիմոդալ դինամիկ հնարավորություն, երբ աղբյուրներից որևէ մեկը ժամանակավորապես խափանվի կամ նվազի:

Այս դինամիկական պահանջում է էներգետիկ հավասարակշռություն ապահովող օժանդակ աղբյուրի առկայություն՝ $Q_{լե}(t)$, որն ապահովում է ֆոտովոլտային համակարգի (ՖՀ) և ջերմային պոմպի (ՋՊ) արտադրողականության կայունությունը: Եթե որևէ աղբյուր չի բավարարում այդ պահանջարկի իր բաժինը՝ համակարգը տեղափոխում է բեռն այլ աղբյուրների վրա (օրինակ՝ ՋՊ-ի փոխարեն օգտագործվում է գազային կաթսա) և ներմուծում էներգիա արտաքին աղբյուրից (հիմնականում՝ էլեկտրական ցանցից): Այսպիսով, լրացուցիչ էներգաբաժինը $Q_{լե}(t)$ հանդես է գալիս որպես փոխհատուցող հանգույց (*balancing node*), որն ապահովում է, որ համակարգում որևէ պահանջված էներգիա չմնա չմարված (նկ. 3):

ԲԷՀ-ի մոդելավորումն իրականացվում է հետևյալ փուլերով.

1. շենքի կամ համակարգի ամբողջական էներգասպառման գնահատում,
2. մոդելում ներառվող էներգակիրների ընտրություն (էլեկտրաէներգիա, ջերմային էներգիա, գազ, վերականգնվող աղբյուրներ և այլն),
3. ջերմային պոմպերի, կաթսաների, մարտկոցների, էլեկտրական փոխակերպիչների մոդելավորում,
4. համակարգի ամբողջական ինտեգրված էներգետիկ մոդելի կառուցում,
5. ներդրումային և շահագործման ծախսերի հաշվարկ,
6. հետզման ժամկետի որոշում,
7. տարեկան շահույթ, էներգախնայողության մակարդակ,
8. ածխածնային արտանետումների հաշվարկ:



Նկ. 3. Բազմաէներգետիկ համակարգի աշխատանքի սկզբունքային գծապատկեր

Համակարգերի մաթեմատիկական մոդելի կազմումը հիմնված է էներգասպառման բեռի հաշվարկի և գնահատման վրա, ինչը կատարվում է ժամային քայլով՝ հնարավորություն տալով ավելի ճշգրիտ գնահատել համակարգի աշխատանքն ամբողջ տարվա ընթացքում: Կախված արտաքին օդի ջերմաստիճանի փոփոխություններից, ներքին ջերմանջատումներից, շենքի ջերմամեկուսացման և կորուստների հատկանիշներից որոշվում է շենքում էներգիայի պահանջի ճշգրիտ բաշխումը ջեռուցման, հովացման և տաք ջրամատակարարման համար, որպես տարվա էներգիայի ամբողջական բեռ [10]:

$$Q_{տար} = \sum_{t=1}^N (Q_{ջեռ}(t) + Q_{սառ}(t)) , \quad (2)$$

որտեղ $Q_{տար}$ – ը շենքի տարեկան էներգետիկ բեռն է ($կՎտ\cdotժ$), $Q_{շեն}(t)$ – ն՝ ջեռուցման բեռը t -րդ ժամին, $Q_{սառն}(t)$ – ը՝ սառեցման բեռը t -րդ ժամին, N – ը՝ ժամերի կամ ենթաժամային քայլերի թիվն ամբողջ տարվա ընթացքում:

Ջեռուցման համակարգերի նախագծման համար հաշվարկվում է նաև տաք ջրամատակարարման բեռը [11]՝

$$Q_{տք} = m \cdot cp \cdot (T_{ել} - T_{մտ}) , \quad (3)$$

որտեղ m – ը ջրի զանգվածային հոսքն է ($կգ/ժ$ կամ $կգ/վ$), cp – ն՝ ջրի ջերմունակությունը ($կՋ/կգ\cdot C$ կամ $կՎտ/կգ\cdot C$), $T_{ել}$ – ն՝ ցանկալի էլքային ջերմաստիճանը, $T_{մտ}$ – ն՝ մուտքային ջրի ջերմաստիճանը:

էներգիայի բեռի ճշգրիտ գնահատումը հնարավորություն է տալիս արդյունավետորեն ինտեգրել արևային ֆոտովոլտային և ջերմային պոմպերի համակարգերը:

Ֆոտովոլտային համակարգի արտադրողականությունը որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ [5]՝

$$E_{ֆվ}(t) = A \cdot G(t) \cdot \eta_{ֆվ}(t) \cdot PR_{ֆվ} , \quad (4)$$

որտեղ A – ն ֆոտովոլտային մոդուլի մակերեսն է ($մ^2$), $G(t)$ – ն՝ տվյալ պահին ընկնող ճառագայթվածությունը ($Վտ/մ^2$), $\eta_{ֆվ}(t)$ – ն՝ ֆոտովոլտային մոդուլի արդյունավետությունը տվյալ պահին, $PR_{ֆվ}$ – համաշխարհային կորուստների գործակից:

Ջերմային պոմպի աշխատանքային ցուցանիշը (COP) ներկայացվում է որպես արտադրած ջերմության և սպառած էլեկտրաէներգիայի հարաբերակցություն [8]՝

$$COP(t) = \frac{Q_{արտ}(t)}{W_{ներ}(t)} : \quad (5)$$

Պարզեցված ջերմաստիճանային կախվածությունը՝

$$COP(t) = a - b \cdot (T_{արտ} \cdot (t) - T_{ներ}(t)) , \quad (6)$$

որտեղ a, b – ն սարքավորողի տրամադրած կամ փորձարարական տվյալներն են, $T_{արտ}, T_{ներ}$ – ը՝ ջերմային հեղուկի համապատասխանաբար էլքային և մուտքային ջերմաստիճանները ($^{\circ}C$):

Սեզոնային արդյունավետությունը (SCOP) հաշվարկվում է ամբողջ ժամանակահատվածի համար՝

$$SCOP = \frac{\sum t Q_{արտ}(t)}{\sum t W_{ներ}(t)} : \quad (7)$$

Բազմաբնակարան շենքի ԲԷՀ-ի օրինակային մոդելի կազմման համար դիտարկվում է բնակելի նշանակության շենք, որի ընդհանուր մակերեսը կազմում է 5000 $մ^2$ և ներառում է 60 բնակարան: Շենքի տարեկան էլեկտրաէներգիայի սպառումը կազմում է 420 000 $կՎտ\cdotժ$, ջեռուցման և հովացման տարեկան պահանջը՝ 650 000 $կՎտ\cdotժ$, իսկ տաք ջրի պահանջը՝ 220 000 $կՎտ\cdotժ$ (2):

Տարածաշրջանային էներգետիկ ներուժից կախված, որպես էներգակիրներ, մոդելավորման համար ընտրվել են արևային էներգիա, երկրաջերմային էներգիա և բնական գազ (նկ. 1):

Կիրառվող տեխնոլոգիական համակարգերը ներառում են արևային ֆոտովոլտային (PV) համակարգ՝ էլեկտրաէներգիայի արտադրության համար, արևային ջերմային կոլեկտորներ՝ տաք

ջրի ապահովման համար, գեոթերմալ ջերմային պոմպ՝ ջեռուցման, հովացման և տաք ջրի աջակցման նպատակով, բնական գազի կաթսա՝ գազաթային բեռների ծածկման համար, և Li-ion (լիթիում-իոնային)՝ մարտկոցներով վերականգնվող էներգիայի պահեստավորում՝ համակարգի կայունությունն ապահովելու համար [12]: Կիրառվող համակարգերն ընտրվել են ըստ տեխնիկական տվյալների՝ արտադրողականության և կատարված հաշվարկների.

1. Արևային ֆոտովոլտային կայանը 600 $մ^2$ մակերեսով տեղադրված է տանիքին և ունի 90 կՎտ/պիկ հզորություն: Կայանն աշխատում է ավտոմատ կառավարման համակարգով (EMS), որը թույլ է տալիս արտադրած էներգիան ուղղել անմիջապես շենքի սպառմանը կամ մարտկոցային պահեստավորմանը: ՀՀ պայմաններում կայանի տարեկան արտադրությունը կազմում է մոտ 148000 կՎտ-ժ, ինչը հնարավորություն է տալիս զգալիորեն նվազեցնել արտաքին էլեկտրաէներգիայի պահանջը:

2. Արևային ջերմային կոլեկտորները զբաղեցնում են 175 $մ^2$ մակերես և նախատեսված են տաք ջրի արտադրության համար: Տարեկան էներգիա՝ 70000...80000 կՎտ-ժ, փոխանցվում է պահեստային ջրի բաքին, ինչն ապահովում է կայուն ջերմաստիճան և էներգիայի արդյունավետ օգտագործում ողջ տարվա ընթացքում:

3. Գեոթերմալ ջերմային պոմպը գործում է հող-ջուր սկզբունքով և տեղադրված է երկու միավոր՝ յուրաքանչյուրն 90 կՎտ հզորությամբ, ընդհանուր հզորություն՝ 180 կՎտ, COP \approx 4,2: Պոմպն աջակցում է ջեռուցմանը, հովացմանը և տաք ջրի արտադրությանը՝ պահպանելով կայուն արդյունավետություն տարբեր սեզոններում և ապահովելով նվազագույն տատանումներ [10]:

4. Բնական գազի կաթսան, 150 կՎտ հզորությամբ, օգտագործվում է արտաքին օդի ծայրահեղ ցածր ջերմաստիճանային պայմաններում՝ գազաթային բեռների ծածկման համար, աջակցելով էներգիայի ապահովմանը և բեռնման հավասարակշռմանը:

5. Մարտկոցային պահեստավորումն իրականացվում է 200 կՎտ-ժ տարողությամբ, ավտոմատ կառավարվող, Li-ion տեխնոլոգիայով, ինչն ապահովում է ֆոտովոլտային համակարգի արտադրած էներգիայի կլանումը և գազաթային բեռի նվազեցումը:

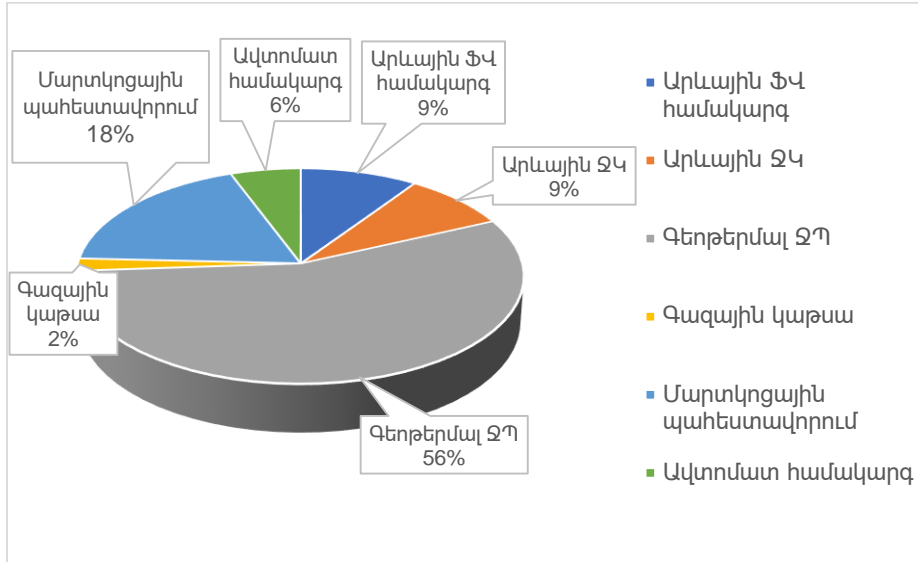
Համակարգերի այս ինտեգրումը նպաստում է շենքի էներգաարդյունավետության բարձրացմանը, էներգիայի ինքնավար օգտագործման մեծացմանը և արտաքին էներգակիրների պահանջի նվազեցմանը:

Արդյունքներ և քննարկում

Մշակված ԲԷՀ-ի մոդելավորման և տեխնիկատնտեսական գնահատման արդյունքները ցույց են տալիս, որ ՀՀ կլիմայական պայմաններում վերականգնվող էներգիայի տեխնոլոգիաների ինտեգրումը բազմաբնակարան շենքերում ապահովում է նշանակալի էներգետիկ, տնտեսական և էկոլոգիական արդյունավետություն:

Մոդելավորված բնակելի շենքի համար հաշվարկված ընդհանուր ներդրումային ծախսը կազմել է 161 438 000 ՀՀ դրամ: Ներդրումների կառուցվածքում առավել մեծ բաժինը կազմում է

գեոթերմալ ջերմային պոմպերի համակարգը (56 %), որին հաջորդում են մարտկոցային պահեստավորումը (18 %) և արևային ֆոտովոլտային կայանը (9 %): Այս բաշխվածությունը վկայում է, որ համակարգի հիմնական կապիտալ ծախսերը պայմանավորված են ջերմային էներգիայի արտադրության և բեռի կայունացման ենթահամակարգերով:



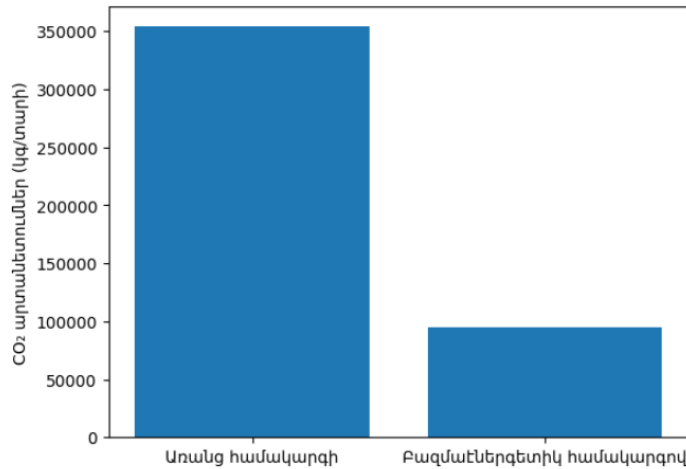
Նկ. 4. Ներդրումային ծախսերի բաշխվածություն

Շահագործման տարեկան ծախսը բազմաէներգետիկ համակարգի կիրառման դեպքում կազմել է 21 225 460 ՀՀ դրամ, մինչդեռ առանց այդ լուծումների նույն շենքի տարեկան էներգետիկ ծախսը գնահատվել է 28 508 800 ՀՀ դրամ: Տարեկան խնայողությունը կազմել է 7 697 200 ՀՀ դրամ, ինչը բերում է ընդհանուր տարեկան ծախսերի շուրջ 27% կրճատման:

Կատարված հաշվարկներով ներդրումների պարզ հետզնումը կազմում է մոտավորապես 21 տարի: Չնայած հարաբերականորեն երկար հետզնման ժամկետին, կյանքի 25...30 տարվա շահագործման ցիկլում համակարգն ապահովում է դրական զուտ տնտեսական արդյունք՝ նվազեցված շահագործման ծախսերի և էներգակիրների գնաճի պայմաններում բարձրացող խնայողությունների հաշվին: Էներգետիկ հավասարակշռության վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ շենքի ընդհանուր տարեկան էներգապահանջի զգալի մասն ապահովվում է տեղական վերականգնվող աղբյուրներով: Ֆոտովոլտային համակարգը տարեկան արտադրում է շուրջ 148 000 կՎտ·ժ էլեկտրաէներգիա, իսկ արևային ջերմային կոլեկտորները՝ 70 000...80 000 կՎտ·ժ ջերմային էներգիա: Ջերմային պոմպի բարձր COP≈4,2 ցուցանիշը թույլ է տալիս նվազագույնի հասցնել ցանցից սպառվող էլեկտրաէներգիան ջեռուցման և հովացման ռեժիմներում:

Բնապահպանական գնահատումը ցույց է տալիս արտանետումների էական կրճատում: Առանց համակարգի շենքի տարեկան CO₂ արտանետումները կազմում են մոտ 353900 կգ/տարի: Բազմաէներգետիկ համակարգի կիրառման դեպքում այդ ցուցանիշը նվազում է մինչև 95 183 կգ/տարի: Արտանետումների տարեկան կրճատումը կազմում է շուրջ 258 700 կգ CO₂, ինչը համարժեք է մոտ 73% նվազման (նկ. 5): Եթե դիտարկվի համակարգի 30 տարվա շահագործման

ցիկլը, ապա կրճատումը կգերազանցի 7 700տ CO₂, ինչը կարևոր ներդրում է ածխածնային հետքի նվազեցման և ապակարբոնիզացիայի գործընթացում:



Նկ. 5. CO₂ արտանետումների համեմատություն

Համակարգի դինամիկ աշխատանքը կնպաստի վերականգնվող աղբյուրների՝ որպես առաջնային էներգամատակարարներ հանդես գալուն, իսկ գազային կաթսան կգործի միայն որպես գազաթային բեռի հավասարակշռման աղբյուր (մոտ 10% բեռի ծածկում): Այս կառուցվածքը նվազեցնում է ներմուծվող բնական գազի օգտագործումը և բարձրացնում շենքի էներգետիկ ինքնաբավության մակարդակը:

Եզրակացություն

- Մշակվել է բազմաբնակարան շենքերի համար բազմաէներգետիկ համակարգերի ինտեգրման համալիր մեթոդաբանություն՝ հիմնված էներգետիկ հավասարակշռության մոդելավորման, տեխնիկատնտեսական գնահատման և CO₂ արտանետումների քանակական վերլուծության վրա: Վերականգնվող էներգիայի համակցված կիրառումը (PV, արևային ջերմային համակարգեր, գեոթերմալ ջերմային պոմպ, էներգիայի պահեստավորում) ապահովում է տարեկան CO₂ արտանետումների շուրջ 73% կրճատում: Համակարգը զգալիորեն նվազեցնում է բնական գազի սպառումը և բարձրացնում շենքի էներգետիկ ինքնաբավության մակարդակը:
- Տարեկան տնտեսական խնայողությունը կազմում է մոտ 7,7 մլն ՀՀ դրամ: Ներդրման պարզ հետզնումը գնահատվել է շուրջ 21 տարի՝ ապահովելով երկարաժամկետ տնտեսական կայունություն:
- Բազմաէներգետիկ ինտեգրված լուծումները կարող են դիտարկվել որպես արդյունավետ գործիք շենքային հատվածի ապակարբոնիզացիայի և էներգաարդյունավետ զարգացման ռազմավարությունների իրականացման համար:

Գրականության ցանկ

- [1] **Ս. Սարգսյան**, Վերականգնվող էներգիայի օգտագործումը աշխարհում – Հայաստանում: Նորարարությամբ դեպի մաքուր տեխնոլոգիաներ. Լուսաբաց, Երևան, 2009, 82 էջ:
- [2] **A. Karamyan, M. Arakelyan, S. Khachatryan**, Wood heating efficiency improvements in regions of Armenia: IEP conference Proceedings (2026) 3247, 050018, <<https://doi.org/10.1063/5.0306484>>.
- [3] **Ռ.Ս. Խարազյան**, Վերականգնվող էներգիայի աղբյուրներ և տեխնոլոգիաներ. Արևիկ, Երևան, 2012, 279 էջ:
- [4] IEA, International Energy Agency. Solar Heating and Cooling Programme: Annual Report, 2022.
- [5] **C.A. Balaras, et al.**, Solar Air Conditioning in Europe—An Overview. Energy and Buildings 39(7) (2007) 823–832.
- [6] **Վ.Ա. Սովիսյան**, Գեոթերմալ ջերմապոմպային կայանքների կիրառման հնարավորությունները և համակցված համակարգերի նորարարական լուծումները. ՃՇՀԱՀ գիտական աշխատություններ 3(90) (2024) 84-93, <<https://doi.org/10.54338/18294200-202.3-10>>:
- [7] **M.A. Rosen, B.Rezaie**, District Heating and Cooling with Renewable Energy: Review, Opportunities, and Challenges. Energy 45(1) (2012) 138–149.
- [8] **C. Felsmann, et al.**, Modeling of Multi-Energy Systems in Residential Buildings. Energy Procedia 62 (2014) 445–452.
- [9] **Г.П. Васильев**, Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев Земли: монография. Издательский дом “Граница”, Москва, 2006, 176с.
- [10] **Ս.Գ. Ավետիսյան**, Ջերմագազամատակարարման և օդափոխության համակարգերի էկոնոմիկա և էներգատնտեսական արդյունավետության բարձրացման մեթոդաբանություն, ուսումնամեթոդական ձեռնարկ. Ճարտարապետության և շինարարության Հայաստանի ազգային համալսարան, Երևան, 2018, 64 էջ:
- [11] **ՀՀՇՆ 22-01-2024**. Շինարարական կլիմայաբանություն. ՀՀ շինարարական նորմեր, 259 էջ:
- [12] **П.А. Трубаев, Б.М. Гришко**, Тепловые насосы. Белгород, 2009, 142 с.

ПРИМЕНИМОСТЬ МУЛЬТИЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ

Мариам Арменовна Аракелян^{*}, Сергей Ашотович Минасян, Эдгар Геворгович Нерсисян

Национальный университет архитектуры и строительства Армении, г. Ереван, РА

**mariamaraqelyan@nuasa.am*

В статье рассматривается разработка методологии теплового проектирования жилых зданий, включающей оптимальный выбор и эксплуатацию мультиэнергетических систем с интеграцией возобновляемых технологий. Предлагается разработка и оценка модели системного применения фотоэлектрических, солнечных тепловых и геотермальных тепловых насосных технологий. Представленная модель может служить эффективным технологическим решением для реализации энергоэффективных строительных проектов и принятия оптимальных технологических решений на этапах проектирования и строительства, учитывая значительный потенциал возобновляемой энергии в Республике Армения, особенно солнечных и геотермальных ресурсов. Указанные положения способствуют обеспечению устойчивого развития экономической и энергетической систем страны, а также сохранению окружающей среды.

Ключевые слова: *мультиэнергетическая система, интеграция, энергоэффективность, основа момента энергии, модель, оценка, жизненный цикл, оптимизация*

APPLICABILITY OF MULTI-ENERGY SOLUTIONS IN RESIDENTIAL BUILDINGS

Mariam Arakelyan*, Sergey Minasyan, Edgar Nersisyan

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

**mariamaraqelyan@nuaca.am*

This article discusses the development of a methodology for thermal design of residential buildings, which includes the optimal selection and operation of multi-energy systems integrated with renewable technologies. A model is proposed and evaluated for the systematic application of photovoltaic, solar thermal, and geothermal heat pump technologies. The presented model can serve as an effective technological solution for implementing energy-efficient building projects and making optimal technological decisions during the design and construction phases, taking into account the significant potential of renewable energy resources in the Republic of Armenia, particularly solar and geothermal. These provisions can contribute to the sustainable development of the country's economic and energy systems, as well as environmental protection.

Keywords: *multi-energy system, integration, energy efficiency, energy baseload, model, assessment, life cycle, optimization*

Առաքելյան Մարիամ Արմենի (ՀՀ, ք. Երևան) – ՃՇՀԱՀ, ՋԳՄՕ ամբիոն, հայցորդ, (+374)77890666, *mariamaraqelyan@nuaca.am*, **Մինասյան Սերգեյ Աշոտի, ւ.գ.դ., պրոֆեսոր** (ՀՀ, ք. Երևան) – ՃՇՀԱՀ, ՋԳՄՕ ամբիոն, (+374)91408689, *sergey.minasyan@yahoo.com* **Ներսիսյան Էդգար Գևորգի** (ՀՀ, ք. Երևան) – ՃՇՀԱՀ, ՋԳՄՕ ամբիոն, մագիստրոս, (+374)91451505, *nyan_edgar@mail.ru*

Արակелян Мариам Арменовна (РА, г. Ереван) - НУАСА, кафедра Теплогазоснабжения и вентиляции, соискатель, (+374)77890666, *mariamaraqelyan@nuaca.am*, **Минасян Сергей Ашотович, д.т.н., профессор** (РА, г. Ереван) - НУАСА, кафедра Теплогазоснабжения и вентиляции, (+374)91408689, *sergey.minasyan@yahoo.com*, **Нерсисян Эдгар Геворгович** (РА, г. Ереван) - НУАСА, кафедра Теплогазоснабжения и вентиляции, магистр, (+374)91451505, *nyan_edgar@mail.ru*

Arakelyan Mariam (RA, Yerevan) - NUACA, Chair of ventilation, gas and heat supply, postgraduate student, (+374)77890666, *mariamaraqelyan@nuaca.am*, **Minasyan Sergey, doctor of science (engineering), professor**, (RA, Yerevan) - NUACA, Chair of ventilation, gas and heat supply, (+374)91408689, *sergey.minasyan@yahoo.com*, **Nersisyan Edgar** (RA, Yerevan) - NUACA, Chair of ventilation, gas and heat supply, master's degree, (+374)91451505, *nyan_edgar@mail.ru*

Ներկայացվել է՝ 10.03.2026թ.

Գրախոսվել է՝ 02.04.2026թ.

Ընդունվել է տպագրության՝ 30.04.2026թ.