

ԶԲԱՂՎԱԾՈՒԹՅԱՆ ԿԱՆԽԱՏԵՄՄԱՆ ՎՐԱ ՀԻՄՆՎԱԾ ՇԵՆՔԵՐԻ ԶԵՌՈՒՑՄԱՆ, ՀՈՎԱՑՄԱՆ ԵՎ ՕԴԱՓՈԽՄԱՆ ԷՆԵՐԳԱԱՐԴՑՈՒՆԱՎԵՏ ԿԱՌԱՎԱՐՈՒՄ

Դավիթ Գևորգի Հակոբյան

Ճարտարապետության և շինարարության Հայաստանի ազգային համալսարան, ք. Երևան, ՀՀ
Dawhak99@gmail.com

Շենքերի ջերմամատակարարման համակարգերի էկոլոգիական արդյունավետությունը բարձրացնելու համար առաջարկվում է անցնել էլեկտրական ջեռուցման, մասնավորապես, ջերմային պոմպերի կիրառմանը, որոնք կարող են ինտեգրվել վերականգնվող էներգիայի աղբյուրների և ջերմային էներգիայի պահուստավորման համակարգերի հետ՝ բարձրացնելով արդյունավետությունը և ճկունությունը: Համակարգի օպտիմալացման մոդելները հիմնված են տարեկան ջերմապահանջի, ջերմաստիճանի և բնակեցման տվյալների վրա: Շենքերի ջեռուցման, հովացման և օդափոխման համակարգերի էներգաարդյունավետության բարձրացման համար մշակվել է փոփոխական փոխադրման վերականգնման մոդել, որը գնահատում և կանխատեսում է շենքի զբաղվածությունը: Այս տվյալները ներառվել են մոդելային կանխատեսական կառավարման շրջանակում, որը ձևակերպվում է որպես բազմաօբյեկտիվ օպտիմալացման խնդիր՝ նվազեցնելով էներգիայի սպառումը և պահպանելով ջերմային հարմարավետության օպտիմալ մակարդակը: Մոդելավորումը ցույց է տալիս, որ այս մոտեցումն ապահովում է նշված համակարգերի էներգաարդյունավետության զգալի բարձրացում:

Բանալի բառեր. էներգաարդյունավետություն, փոխադրման մոդել, ջերմային պոմպեր, էներգախնայողություն, մոդելային կառավարում, բնակեցվածություն, ջերմային հարմարավետություն, օպտիմալացում

Ներածություն

Շենքերը պատասխանատու են համաշխարհային էներգիայի սպառման մոտ 40 %-ի համար: Հայաստանի Հանրապետությունում շենքերը կազմում են ջերմոցային գազերի արտանետումների գրեթե 40 %-ը և էլեկտրաէներգիայի սպառման 60 %-ը: Էներգաարդյունավետ կառավարման մեթոդների ներդրումը կարող է էականորեն նվազեցնել ինչպես արտանետումները, այնպես էլ շենքերի սեփականատերերի էլեկտրաէներգիայի ծախսերը: Բնակելի և առևտրային շենքերում էլեկտրաէներգիայի հիմնական սպառողներն են ջեռուցման, հովացման և օդափոխման (ՋՀՕ) համակարգերը, միացված սարքերը և լուսավորության համակարգերը, որոնք կազմում են շենքերի ընդհանուր էներգիայի սպառման մոտ 50 %-ը: Հաշվի առնելով, որ ժամանակակից շենքերի մեծ մասը կառավարվում է շենքերի ավտոմատացման համակարգերի (ՇԱՀ) միջոցով, ՋՀՕ համակարգերի էներգիայի սպառման նվազեցման ամենաարդյունավետ ուղիներից մեկը գոյություն ունեցող կառավարման համակարգերի կատարելագործումն է [1]: Մոդելային կանխատեսական

կառավարումը (ՄԿԿ) լայնորեն կիրառվում է ՋՀՕ համակարգերի օպտիմալ կառավարման համար՝ էներգաարդյունավետությունը բարձրացնելու նպատակով: Եղանակային անորոշությունները հաշվի առնելու համար առաջարկվել է Հավանական մոդելային կանխատեսական կառավարման (ՀՄԿԿ) ալգորիթմ՝ շենքի կլիմայի կառավարման համար: Շենքի զբաղվածության կանխատեսումը ներառվել է իրական ժամանակում ՄԿԿ շրջանակում՝ ՋՀՕ համակարգի արդյունավետ կառավարման համար՝ օգտագործելով թաքնված Մարկովի մոդելի վրա հիմնված բնակեցվածություն մակարդակի հայտնաբերման մեթոդ [2]:

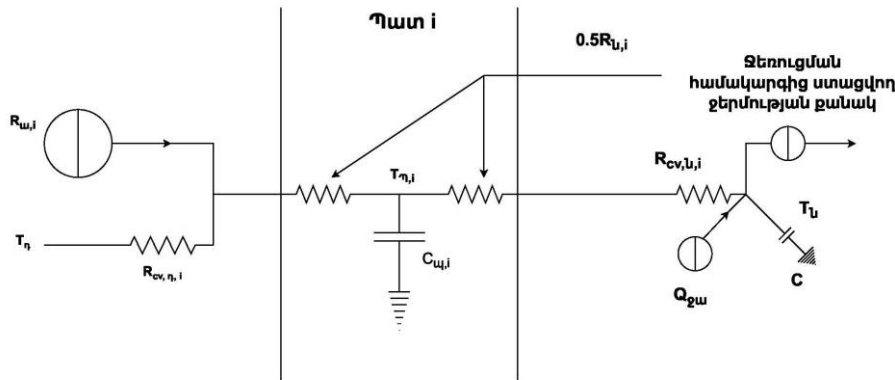
Աշխատանքներում բնակեցվածություն մակարդակի կանխատեսման համար կիրառվել են պատմական համամասնության մեթոդը և անհամասեռ Մարկովի շղթան՝ դրանք ներառելով ՋՀՕ համակարգի կառավարման ալգորիթմներում [3]: Մոդելավորումները ցույց են տվել, որ զբաղվածության վրա հիմնված ՄԿԿ մոտեցումները նպաստում են էներգախնայողությանը: Մասնավորապես, ստացված արդյունքները ցույց են տվել, որ բնակեցվածություն մակարդակի ավելի ճշգրիտ կանխատեսման ալգորիթմի կիրառմամբ կարելի է հասնել էներգաարդյունավետության ավելի բարձր մակարդակի: Այս հետազոտության շրջանակում առաջարկվում է բնակեցվածություն մակարդակի կանխատեսման նորարարական ալգորիթմ, որը հիմնված է փոփոխական փոխադրման վերականգնման մոդելի վրա [4]: Այն գերազանցում է պատմական համամասնության և անհամասեռ Մարկովի շղթայի մեթոդները՝ ապահովելով կանխատեսման ավելի ցածր սխալ: Ավելին, ներկայացվում է ՋՀՕ համակարգի կառավարման էներգախնայողության նորարարական ռազմավարություն, որը զբաղվածության կանխատեսման մոդելն ինտեգրում է ՄԿԿ շրջանակի մեջ:

Առաջարկվող մոտեցման առանձնահատկություններից է տուգանային գործակցի կարգավորումը, որը շենքի բնակիչներին հնարավորություն է տալիս ընտրել էներգաարդյունավետության և հարմարավետության միջև օպտիմալ հավասարակշռություն: Առաջարկվող կառավարման ռազմավարության արդյունավետությունը հաստատելու համար իրականացվել են մոդելավորումներ՝ հիմնված բնակեցվածություն մակարդակի կանխատեսման տվյալների վրա [5]:

Նյութեր և մեթոդներ

Շենքերի ջերմությունը պահող կոնստրուկցիաները հիմնականում պատերն են, հատակը և տանիքը: Ջերմափոխանցումը տեղի է ունենում երեք հիմնական եղանակներով՝ հաղորդականությամբ, ջերմափոխանցմամբ և ճառագայթումով: Շենքի ջերմային մոդելում պատի կոնստրուկցիայի ներսում ջերմափոխանցումն իրականացվում է ջերմահաղորդականության միջոցով, մինչդեռ պատերի և օդի միջև այն ուղղորդվում է ջերմափոխանցմամբ: Արևի ջերմային էներգիան հաշվի է առնվում ճառագայթման միջոցով [6]: Եթե ջերմահաղորդականությունը պատկերացնենք որպես հոսանք, ջերմաստիճանը՝ որպես լարում, իսկ պատող կոնստրուկցիաները՝ որպես կոնդենսատորներ, ապա շենքի ջերմային մոդելը հնարավոր է ներկայացնել դիմադրություն-կոնդենսատոր (RC) շղթայի ձևով: Ընդունվում է 2R1C մոդելը, որը համահունչ է պարզ, սակայն բավարար ճշգրտություն ապահովող մոտեցմանը: Դիտարկված է շենք, որի կազմում են չորս արտաքին պատեր, տանիք և հատակ, որոնք ենթադրաբար սպասարկվում են փոփոխական օդի ծավալով

(ՓՕՏ) համակարգով՝ օդի լավորակման համակարգով (ՕԼՀ) [7]: Մոդելավորման մեթոդը կարող է տարածվել ավելի բարդ շենքերի վրա՝ բազմաթիվ գոտիներով: Նկ. 1-ը ցույց է տալիս RC շղթան, որը միավորում է արևային ճառագայթումը, արտաքին օդը, պատը և սենյակի օդը:



Նկ. 1. Մեկ պատի RC միացում

Հիմնվելով այս RC շղթայի վրա, ձևակերպվում է հետևյալ հավասարումը՝ նկարագրելու համար i պատի ջերմային դինամիկան.

$$C_{w,i} \frac{dT_{w,i}}{dt} = \frac{T_{\eta} - T_{w,i}}{R_{cv,i,i} + 0.5R_{cd,i}} + \frac{T_{u,i} - T_{w,i}}{R_{cv,i,i} + 0.5R_{cd,i}} + \frac{R_{cv,i,i}}{R_{cv,i,i} + 0.5R_{cd,i}} R_{s,i}, \quad (1)$$

Արտաքին պատերի, տանիքի և հատակի ջերմադինամիկ հավասարումները համադրելով դինամիկ հավասարմանը, սենյակային ջերմաստիճանի համար կարելի է ստանալ հետևյալը

$$C \frac{dT_u}{dt} = \sum_{i=1}^6 \frac{T_{w,i} - T_u}{R_{cv,i,i} + 0.5R_{cd,i}} + Q_{\text{ջա}} - Q_{\text{sh}} m (T_u - T_{\text{Supply}}), \quad (2)$$

որտեղ $Q_{\text{ջա}}$ -ը նշանակում է ներքին ջերմանջատում, իսկ C , m և T_u ներկայացնում են մատակարարվող օդի տեսակարար ջերմունակությունը, զանգվածային հոսքի արագությունը և ջերմաստիճանը՝ համապատասխանաբար: (1) և (2) հավասարումներից առկա է, որ միագոտի շենքի ջերմային մոդելը յոթերորդ կարգի ոչ գծային համակարգ է բազմաթիվ մուտքերով [8]: Սահմանելով կառավարման u փոփոխականը որպես մատակարարվող օդի զանգվածային հոսքի արագություն, համակարգի հավասարումները կարող են արտահայտվել հետևյալ կերպ.

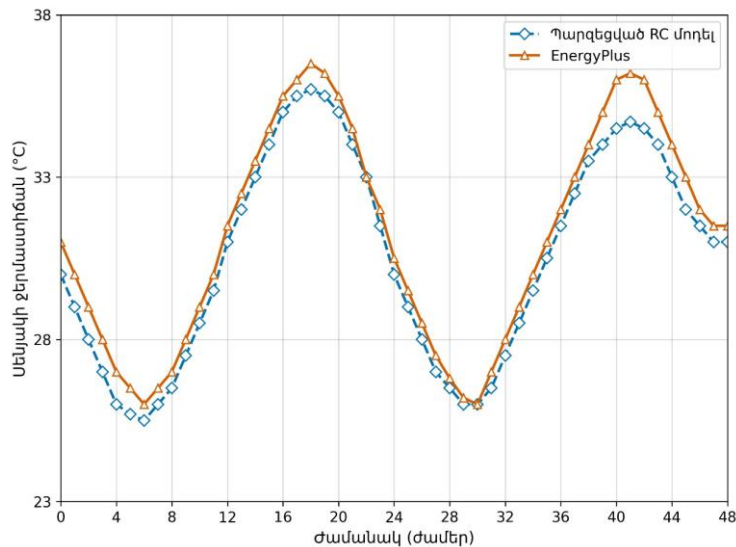
$$\dot{x} = Ax + f(x, u) + D, \quad (3)$$

որտեղ $x = [T_{w1}, \dots, T_{w7}, T_{\text{սենյակ}}]^T$ -ն վիճակի վեկտորն է, D -ն՝ շեղման վեկտորը, որը պարունակում է արևային ճառագայթումը՝ R_w , արտաքին օդի ջերմաստիճանը՝ T_{η} և ներքին ջերմանջատումը՝ $Q_{\text{ջա}}$: D շեղման վեկտորը կարող է գնահատվել գործնականում, օրինակ, արևային ճառագայթումը կարող է կանխատեսվել արհեստական նեյրոնային ցանցի (ԱՆՑ) միջոցով: Արտաքին օդի ջերմաստիճանը կարող է կանխատեսվել ժամային կտրվածքով՝ օգտագործելով գնահատման ալգորիթ: Ներքին ջերմային շահույթը կարող է գնահատվել էլեկտրական սարքերի անվանական հզորությունից և շենքում բնակիչների քանակից [9]:

Առաջարկվող շենքի ջերմային մոդելը հաստատելու համար անցկացվել են մոդելավորումներ *MATLAB* -ում: Փորձարկվող շենքի մոդելն ունի $10 \times 10 \times 3$ մ չափեր, որը ենթադրաբար

գտնվում է Վայքում: Եղանակի տեղեկատվությունը վերցված է 2024 թ. «Շինարարական կլիմայաբանություն» նորմից: Ջերմային դիմադրություններն առաջարկվող մոդելում հաշվարկվում են [10]-ում սահմանված համապատասխան պարամետրերից, ինչպիսիք են քամու արագությունը, նյութերը, պատերի հաստությունը և այլն: Նկ. 2-ը ցույց է տալիս առաջարկվող մոդելի և [10]-ի մոդելավորված սենյակի ջերմաստիճանները: Պարզեցված RC շղթայի մոդելից ստացված մոդելավորված ջերմաստիճանի ժամանակային շարքերը մոտավորապես համընկնում են [10]-ի մոդելի արդյունքների հետ:

Այս դիտարկումը ցույց է տալիս փորձարկվող շենքի պարզեցված ջերմային մոդելի վավերականությունը:



Նկ. 2. Սենյակի ջերմաստիճանը մոդելավորվել է պարզեցված RC շղթայի մոդելից և EnergyPlus-ից

Առաջարկվում է նոր մոդել՝ կանխատեսելու որոշակի ժամանակում շենքի բնակեցված լինելու հավանականությունը [11]: Սահմանված է $y(k)$ -ն որպես շենքի բնակեցվածության վիճակը k ժամանակային միջակայքում: Եթե շենքը բնակեցված է k ժամանակային միջակայքում, ապա $y(k) = 1$, հակառակ դեպքում $y(k) = 0$: Նշանակենք $y(k) = 1$ հավանականությունը որպես $P(y(k) = 1)$: Այսպիսով, նպատակն է կանխատեսել $P(y(k) = 1)$: Քանի որ բնակեցվածության վիճակը փոփոխական է, առաջարկվում է փոխադրման վերականգնման մոդել փոփոխականներով՝ բնութագրելու համար տվյալների վիճակագրական հատկությունները և կանխատեսելու բնակեցված լինելու վիճակները [9]:

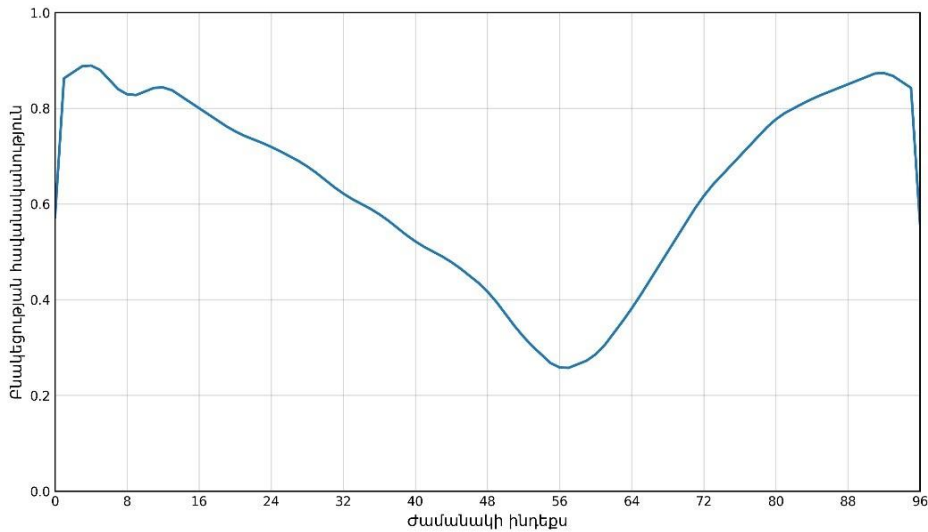
Փոխադրման վերականգնման մոդելն ընդհանրացված գծային ռեգրեսիայի մոդել է, որը լայնորեն օգտագործվում է տվյալների վերլուծության համար: Դրա հիմնական ձևը բերված է հետևյալ կերպ.

$$\text{logit}(p(xc)) = \ln\left(\frac{p(xc)}{1-p(xc)}\right) = \beta_0 + \beta^T x_c, \quad (4)$$

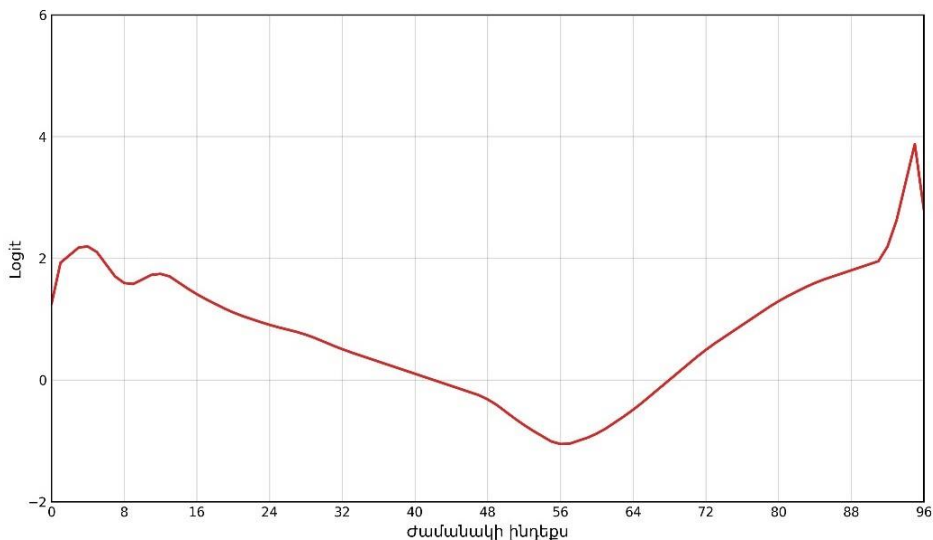
որտեղ $p(x_c) = P(Y = 1/x_c)$, logit-ը կապող ֆունկցիան է, որը փոխակերպում է $p(x_c)$ հավանականությունը գծային ռեգրեսիայի: Այսպիսով,

$$P(Y = 1/xc) = \frac{e^{\beta_0 + \beta^T x_c}}{1 + e^{\beta_0 + \beta^T x_c}}, \quad (5)$$

որտեղ β_0 -ն ազատ անդամն է, β - ն նշանակում է գործակիցների վեկտորը, x_c -ն ներկայացնում է անկախ փոփոխականի վեկտորը, իսկ Y -ը հավանական փոփոխականն է:



Նկ. 3. Բնակեցվածության հավանականության հաշվարկ պարզ համամասնության մեթոդի հիման վրա



Նկ. 4. Ջրադվածության հավանականության logit-ը համեմատած ժամանակի ցուցանիշի հետ

Այս կիրառության մեջ հավանական փոփոխականը $y(k)$ -ն է և կան նաև երկու փոփոխականներ: Շենքը զբաղեցնողների վարքը մեծապես կախված է օրվա ժամից, օրինակ, մարդիկ հակված են մնալ տանը երեկոյան և դուրս գալ տնից օրվա ընթացքում [12]: Այսպիսով, ընտրած է ժամանակային ինդեքսը՝ h , որը համապատասխանում է $y(k)$ -ին, որպես առաջին փոփոխական: Եթե օրվա մեջ կան H ժամանակային միջակայքեր, ապա ժամանակային ինդեքսը h ներկայացնում է օրվա h -րդ ժամանակային միջակայքը: h -ի և k -ի միջև կապը ձևակերպվում է հետևյալ կերպ.

$$h = \begin{cases} H, \text{mod}(k, H) = 0, \\ \text{mod}(k, H), \text{mod}(k, H) < H: \end{cases} \quad (6)$$

$y(k-1)$ -ն ընտրվում է որպես երկրորդ փոփոխական, քանի որ k ժամային միջակայքում գտնվող զբաղվածության վիճակը կապ ունի $(k-1)$ ժամային միջակայքի զբաղվածության վիճակի հետ [13]: Ընդլայնված է փոխադրման վերականգնման մոդելը՝ ժամանակային ինդեքսի փոփոխականները որպես լրացուցիչ հավանական փոփոխականներ ներմուծելով, արտացոլելու համար *logit* ֆունկցիայի ոչ գծայնությունը $\text{logit}(p(x_c))$ [14]: Առաջարկվող զբաղվածության կանխատեսման մոդելը կարող է ձևակերպվել հետևյալ կերպ.

$$g(h, y(k-1)) \triangleq \beta_0 + \beta_1 h + \beta_2 y(k-1) + \sum_{i=1}^p \beta_{i+2} (h - h_i), \quad (7)$$

$$P(y(k) = 1/h, y(k-1)) = g(h, y(k-1)) = \frac{e^{g(h, y(k-1))}}{1 + e^{g(h, y(k-1))}}, \quad (8)$$

որտեղ β_i - ն նշանակում է i -րդ գործակիցը, h_i - ն ներկայացնում է i -րդ փոփոխականը, p -ն փոփոխականների քանակն է և $(h - h_i)_+ = \max(0, h - h_i)$ [15]:

Առաջարկվող մոդելի արդյունավետությունը բնակեցվածության կանխատեսման մեջ հաստատելու համար հավաքվել են զբաղվածության 73 օրվա տվյալներ Վայք քաղաքի ցածր եկամուտ ունեցող բնակելի շենքից: Յուրաքանչյուր ժամանակային միջակայքի տևողությունը 15 րոպե է: Օրվա մեջ կան 96 ժամանակային միջակայքեր և $h = 1, 2, \dots, 96$: Հաշվի առնելով, որ աշխատանքային օրերի զբաղվածության օրինաչափությունը սովորաբար տարբերվում է հանգստյան օրերի օրինաչափությունից, տվյալները բաժանվել են երկու խմբի՝ աշխատանքային (ընդհանուր 53 օր) և հանգստյան օրեր (ընդհանուր 20 օր) [16]: Հաստատման նպատակով դիտարկվել է միայն աշխատանքային օրերի բնակիչների զբաղվածության կանխատեսումը: Հանգստյան օրերի դեպքը կարող է վերլուծվել նման ձևով: Աշխատանքային օրերի տվյալներն այնուհետև բաժանվել են երկու հավաքածուների՝ ուսուցման տվյալների հավաքածու (ընդհանուր 30 օր) և թեստավորման տվյալների հավաքածու (ընդհանուր 23 օր): Նկ. 3-ը ցույց է տալիս բնակիչների զբաղվածության հավանականությունը, հաշվարկված պարզ համամասնության մեթոդով, իսկ նկ. 4-ը՝ համապատասխան *logit*-ի և ժամանակային ինդեքսի կապը՝ հիմնված ուսուցման տվյալների հավաքածուի վրա: Երեք փոփոխականներ են ներմուծվել ժամանակային ինդեքսում՝ հարմարեցնելու համար նկ. 3-ում ցուցադրված ոչ գծային *logit* ֆունկցիան [17]: Փոփոխականների օպտիմալ համակցությունը (44, 56 և 68) և մոդելի հավանական փոփոխականների գործակիցները գնահատվել են առավելագույն հավանականության մեթոդով:

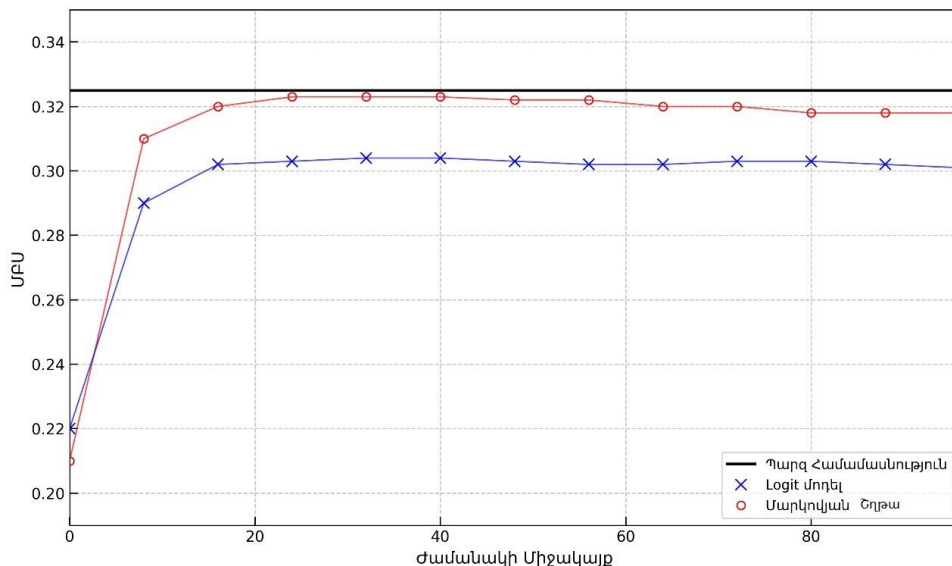
Արդյունքներ և քննարկում

Երկարատև մոդելային հավանական կառավարման իրականացումը պահանջում է տարբեր ժամանակների զբաղվածության կանխատեսումներ: Այս ուսումնասիրության մեջ տարբեր ժամանակների բնակեցվածության մակարդակի կանխատեսումները կատարվում են՝ կրկնելով մեկ ժամանակաշրջանի կանխատեսման մոդելը, որը ներկայացված է (7) և (8) հավասարումներով: Պետք է նշել, որ $y(k-1)$ -ը թարմացվում է կրկնվող գործընթացի ընթացքում նախորդ ժամանակային միջակայքի զբաղվածության հավանականությամբ: Իրականացվում է զբաղվածության վիճակների ընթացքային կանխատեսում մեկ ժամանակային միջակայքից մինչև 96 ժամանակային միջակայք առաջ կանխատեսում թեստավորման տվյալների հավաքածուի վրա: Ընթացքային

կանխատեսման մոտեցումն օգտագործում է նշագրված տվյալները՝ մոդելի պարամետրերը վերագնահատելու համար, երբ նոր տվյալներ են հասանելի դառնում: Հավանականության մոդելի ճշգրտությունը գնահատվում է միջին բացարձակ սխալի (UFU) չափանիշով.

$$UFU = \frac{\sum_{k=s}^{s+N_k-1} |P(y(k)=1) - y(k)|}{N_k}, \quad (9)$$

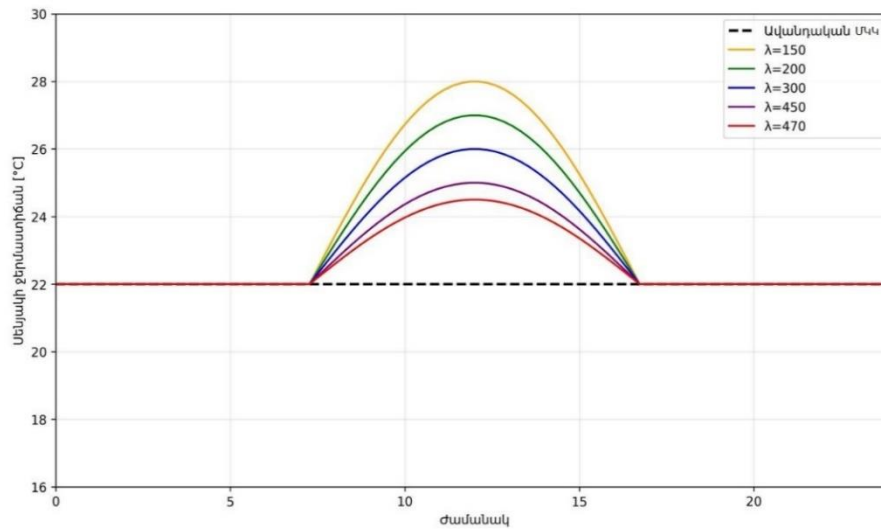
որտեղ s -ը առաջին կանխատեսվող ժամանակային միջակայքն է, իսկ N_k -ն թեստավորման տվյալների հավաքածուի տվյալների կետերի քանակն է: Որպես համեմատություն, նաև իրականացվում են նույն կանխատեսումները՝ օգտագործելով պարզ համամասնության [10] և անհամասեռ Մարկովյան շղթայի մեթոդները [17]: Նկ. 5-ը ներկայացնում է երեք մեթոդների կանխատեսման արդյունքները: Հորիզոնական առանցքի թվերը ներկայացնում են համապատասխան ժամանակային միջակայքերը, օրինակ՝ 10-ը ներկայացնում է տասը ժամանակային միջակայք առաջ կանխատեսումը: Ցույց է տրվում, որ առաջարկվող փոփոխականներով փոխադրման վերականգնման մոդելը սովորաբար գերազանցում է մյուս երկու մեթոդներին: Բացի այդ, առաջին երեք ժամանակային միջակայքերի կանխատեսումներում նոր մեթոդը և Մարկովյան շղթան աշխատում են շատ ավելի լավ, քան պարզ համամասնության մեթոդը:



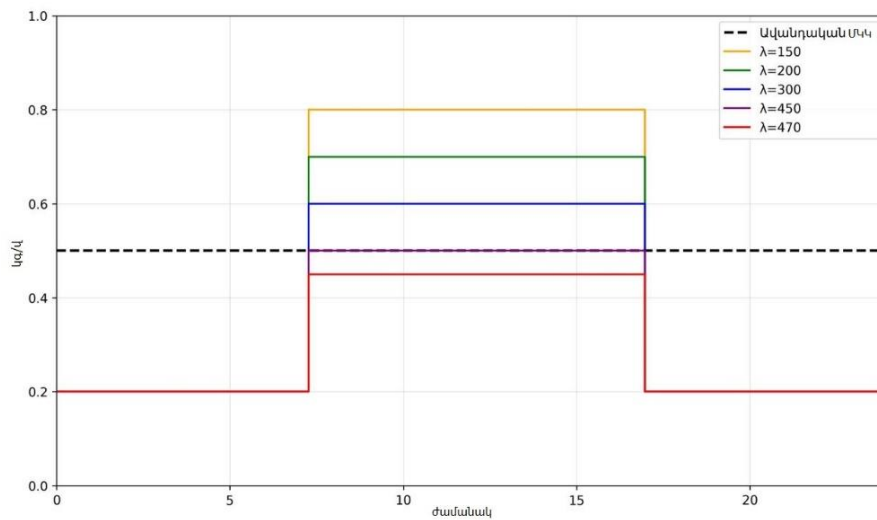
Նկ. 5. Զբաղեցվածության կանխատեսման մեթոդների UFU

Արդյունավետությունը գնահատվել է թվային մոդելավորման միջոցով՝ օգտագործելով փորձարկվող շենքը: Հարմարավետ պայմանները սահմանվել են 20...24 °C, իսկ ջերմաստիճանի թույլատրելի տիրույթը՝ 18...28 °C: Ցանկալի ջերմաստիճանը սահմանվել է 22 °C:

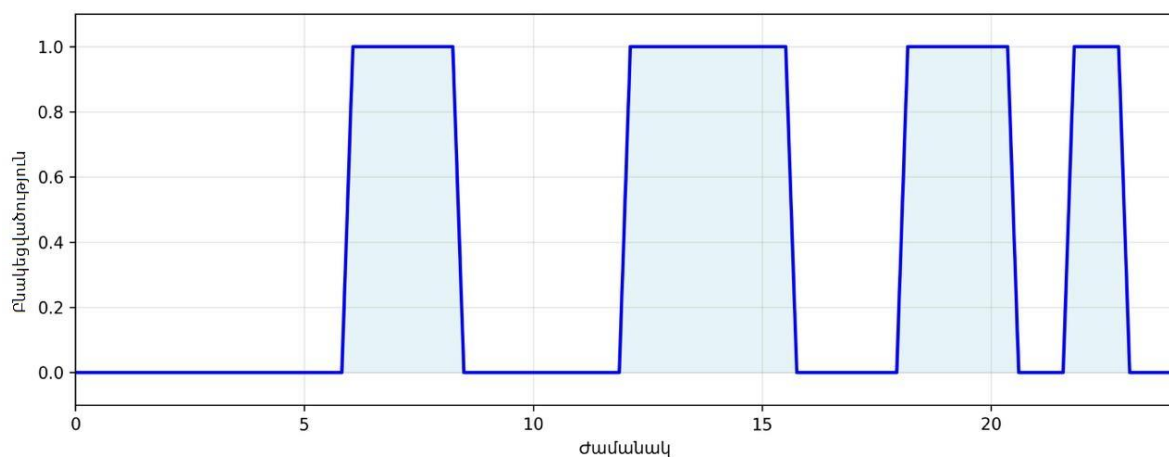
Համեմատական վերլուծության համար կատարվել են մոդելավորումներ՝ կիրառելով առաջարկվող օկուպացիոն ռազմավարությունը և դասական ՄԿԿ-ն: Երկու մոտեցումն էլ գործում է հետևյալ սկզբունքով՝ յուրաքանչյուր t ժամանակում լուծելով օպտիմիզացիոն խնդիրը $[t, t+w]$ միջակայքի համար, բայց գործարկելով միայն առաջին քայլը: Առաջին օրվա արդյունքները ներկայացված են նկ. 6-8-ում:



Նկ. 6. Սենյակի ջերմաստիճանը տարբեր ժամանակներում



Նկ. 7. Կառավարման փոփոխությունը տարբեր ժամանակներում



Նկ. 8. Մպառումն առաջին օրվա տվյալներով

Կարգավորման արդյունավետությունը գնահատելու համար կիրառվել են երկու անհարմարավետության չափիչներ՝ DI-I և DI-II, ինչպես նաև ՋՀՕ-ի միջին հզորության պահանջը: Աղյուսակի արդյունքների համաձայն՝ $\lambda \approx 230$ դեպքում առաջարկվող ռազմավարությունը թույլ է տալիս

ավելի քան 8 % էլեկտրաէներգիայի խնայողություն և միաժամանակ նվազեցնում է DI ցուցանիշները, դրանով իսկ բարձրացնելով սպառողների հարմարավետությունը:

Աղյուսակ

DI-I, DI-II և միջին հզորության ցուցանիշներ՝ տարբեր λ արժեքների դեպքում

	ՄԿԿ	$\lambda = 150$	$\lambda = 230$	$\lambda = 330$	$\lambda = 450$
DI-I	4349,0	473,0	2745,0	1681,0	1092,0
DI-II	123,7	365,0	122,2	37,6	14,0
Միջին հզորություն (Վտ)	1807,0	1447,0	1660,0	1841,0	1984,0

Արդյունքները ցույց են տալիս, որ առաջարկվող մեթոդը $\lambda \approx 230$ արժեքի դեպքում ապահովում է ավելի քան 8 % էներգախնայողություն և միաժամանակ բարելավում է DI-I և DI-II ցուցանիշները՝ պահպանելով հարմարավետության համարժեք մակարդակ:

Եզրակացություն

Առաջարկվում է շենքի ՋՀՕ համակարգի համար էներգախնայողության նոր կառավարման ռազմավարություն՝ զբաղվածության կանխատեսման ալգորիթը ներառելով ՄԿԿ շրջանակում: Փոփոխականներով փոխադրման վերականգնման մոդել է առաջարկվում՝ շենքի զբաղվածության վիճակը կանխատեսելու համար: Առաջարկվող կանխատեսման ալգորիթը գերազանցում է պարզ համամասնության մեթոդին և Մարկովյան շղթայի ալգորիթին: Սողելավորման արդյունքները ցույց են տալիս, որ իրական ժամանակում զբաղվածության վրա հիմնված շենքի ՋՀՕ կառավարման ալգորիթը ոչ միայն բարելավում է շենքը զբաղեցնողների հարմարավետության մակարդակը, այլ նաև նվազեցնում է էլեկտրաէներգիայի սպառումը:

Գրականության ցանկ

- [1] W. Sisson, C. van-Aerschot, C. Kornevall, R.Cowe, D.Bridoux, T.B. Bonnaire, J. Fritz, Energy efficiency in buildings: Transforming the market. World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), Switzerland, 2009.
- [2] Building energy data book of DOE, 2011. URL: <http://buildingsdatabook.eren.doe.gov/>.
- [3] M. Maasoumy, Sangiovanni-Vincentelli A. Total and peak energy consumption minimization of building hvac systems using model predictive control. IEEE Design & Test of Computers. 2012 Aug 1;29.
- [4] F. Oldewurtel, A. Parisio, C.N. Jones, D. Gyalistras, et al., Use of model predictive control and weather forecasts for energy efficient building climate control. Energy and Buildings 45 (Feb 2012) 15-27.
- [5] B. Dong, K.P.Lam, A real-time model predictive control for building heating and cooling systems based on the occupancy behavior pattern detection and local weather forecasting. Building Simulation 7(1) (Feb 2014) 89-106.
- [6] F.C. McQuiston, J.D. Parker, Heating, ventilating, and air conditioning: analysis and design, 6th Edition. John Wiley & Sons, New York, NY, 2004.

- [7] **S. Goyal, P. Barooah**, A method for model-reduction of non-linear thermal dynamics of multi-zone buildings. *Energy and Buildings* 47 (Apr 2012) 332-40.
- [8] **G. Fraisse, C. Viardot, O. Lafabrie, G. Achard**, Development of a simplified and accurate building model based on electrical analogy. *Energy and buildings* 34(10) (Nov 2002) 1017-31.
- [9] **Ս. Սարգսյան**, Վերականգնվող էներգիայի օգտագործումն աշխարհում – Հայաստանում: Նորարարությանը դեպի մաքուր տեխնոլոգիաներ. Լուսաբաց, Երևան, 2009, 82 էջ:
- [10] <https://newsolutions.org/programs/esp-program-nps/>
- [11] UK Energy Research Centre. UKERC Energy Data Centre, 2015.
- [12] **A. Walker**, Solar energy: Technologies and project delivery for buildings. John Wiley&Sons Inc, USA, 2011, 321 p.
- [13] **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
- [14] **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.
- [15] Energy Saving Trust. Our calculations. 2015.
- [16] **A. Majumdar, J.L. Setter, J.R. Dobbs, B.M. Hencsey, D.H. Albonesi**, Energy-comfort optimization using discomfort history and probabilistic occupancy prediction. In Green Computing Conference (IGCC), 2014 International, IEEE 3 (Nov 2014) 1-10.
- [17] **J.R. Dobbs, B.M. Hencsey**, Predictive HVAC control using a Markov occupancy model. In 2014 American Control Conference IEEE 4 (Jun 2014) 1057-1062.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОТОПЛЕНИЕМ, ОХЛАЖДЕНИЕМ И ВЕНТИЛЯЦИЕЙ ЗДАНИЙ НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗА ЗАНЯТОСТИ

Давид Геворгович Акобян

*Национальный университет архитектуры и строительства Армении, г. Ереван, РА
dawhak99@gmail.com*

Для повышения экологической эффективности систем теплоснабжения зданий предлагается переход на электрическое отопление, в частности, использование тепловых насосов, которые могут быть интегрированы с возобновляемыми источниками энергии и системами хранения тепловой энергии, повышая тем самым общую эффективность и гибкость. Модели оптимизации системы основываются на данных о годовой потребности в тепле, температуре и заселённости зданий. Для повышения энергоэффективности систем отопления, охлаждения и вентиляции разработана модель восстановления переменной занятости, которая оценивает и прогнозирует уровень использования здания. Эти данные включены в контур моделируемого предиктивного управления, который формулируется как задача многокритериальной оптимизации с целью снижения энергопотребления при сохранении оптимального уровня теплового комфорта. Моделирование демонстрирует, что данный подход обеспечивает значительное повышение энергоэффективности указанных систем.

Ключевые слова: *энергоэффективность, модель перемещения, тепловые насосы, энергосбережение, модель предиктивного управления, заселённость, тепловой комфорт, оптимизация*

ENERGY EFFICIENT MANAGEMENT OF HEATING, COOLING AND VENTILATION OF BUILDINGS BASED ON OCCUPANCY PREDICTION

Davit Hakobyan

National University of Architecture and Construction of Armenia, Yerevan, RA
dawkhak99@gmail.com

To enhance the environmental efficiency of building heating systems, a transition to electric heating specifically the use of heat pumps is proposed. These systems can be integrated with renewable energy sources and thermal energy storage solutions, thereby increasing overall efficiency and flexibility. System optimization models are based on data regarding annual thermal demand, temperature, and building occupancy. To improve the energy efficiency of heating, cooling, and ventilation systems in buildings, a variable occupancy recovery model has been developed, which assesses and forecasts building usage. This data has been incorporated into a model predictive control framework, formulated as a multi-objective optimization problem aimed at reducing energy consumption while maintaining optimal thermal comfort levels. Simulation results demonstrate that this approach significantly enhances the energy efficiency of the aforementioned systems.

Keywords: energy efficiency, movement model, heat pumps, energy saving, model predictive control, occupancy, thermal comfort, optimization

Հակոբյան Դավիթ Գևորգի (ՀՀ, ք.Երևան) – ՃՇՀԱՀ, ԶԳՄՕ ամբիոն, ասպիրանտ, (+374)77947353, dawkhak99@gmail.com

Акобян Давид Геворгович (РА, г. Ереван) - НУАСА, кафедра Теплогазоснабжения и вентиляции, аспирант, (+374)77947353, dawkhak99@gmail.com

Hakobyan Davit (RA, Yerevan) - NUACA, Chair of ventilation, gas and heat supply, phd student, (+374)77947353, dawkhak99@gmail.com

Ներկայացվել է՝ 21.05.2025թ.

Գրախոսվել է՝ 18.06.2025թ.

Ընդունվել է տպագրության՝ 29.08.2025թ.