

QUYOSH ENERGIYASI ASOSIDA BINONING ELEKTR VA ISSIQLIK TA'MINOTINI AI VA MPC USULLARI YORDAMIDA ADAPTIV BOSHQARISH ALGORITMI

Jo'rayev Bekzod Faxriddin o'g'li

Tel: +998912206766 e-mail: jurayevb076@gmail.com

<https://doi.org/10.5281/zenodo.23340380>

Annotatsiya. Mazkur tadqiqotda quyosh energiyasi asosida binoning elektr va issiqlik ta'minotini sun'iy intellekt (AI) hamda model-prediktiv boshqaruv (MPC) usullari yordamida adaptive boshqarish algoritmi taklif etildi. Algoritm quyosh fotoelektrik tizimining elektr energiyasi ishlab chiqarishini, binoning elektr yuklamasi va issiqlik talabini prognozlash, shuningdek, issiqlik nasosi va issiq suv akkumulyatorining ish rejimini optimallashtirishga yo'naltirilgan. Boshqaruv jarayonida prognoz natijalari, energiya sarfi, xona harorati va qurilmalarning texnik cheklovlari hisobga olinadi. Taklif etilgan yondashuvning samaradorligini MATLAB/Simulink muhitida modellashtirish orqali baholash mumkin.

Kalit so'zlar: quyosh energiyasi, sun'iy intellekt, model-prediktiv boshqaruv, adaptiv algoritm, issiqlik nasosi, fotoelektrik tizim, energiya samaradorligi.

KIRISH

Binolarning elektr energiyasi va issiqlik ta'minotini muvofiqlashtirish energiya samaradorligini oshirishning muhim yo'nalishlaridan biridir. Quyosh fotoelektrik panellari, issiqlik nasosi va issiqlik akkumulyatorini yagona boshqaruv tizimiga birlashtirish quyosh energiyasidan samarali foydalanish imkonini beradi. Bunda model-prediktiv boshqaruv (MPC) usuli elektr energiyasi ishlab chiqarish prognozi, iste'mol talabi va ob-havo sharoitlarini hisobga olgan holda qurilmalarning ishlash rejimini optimallashtirishga xizmat qiladi.

Kuboth va uning hammualliflar tomonidan *Energy and Buildings* jurnalida chop etilgan eksperimental tadqiqotda model-prediktiv boshqaruv an'anaviy boshqaruv usuli bilan taqqoslangan. Har biri 120 soat davom etgan oltita sinov natijasida issiqlik nasosining samaradorlik koeffitsiyenti (COP) o'rtacha 22,2 % ga oshgan. Shuningdek, issiqlik nasosining quyosh fotoelektrik tizimidan foydalanadigan elektr energiyasi miqdori o'rtacha 234,8 % ga ko'paygan, ekspluatatsiya xarajatlari esa o'rtacha 34,0 % ga kamaygan [5]. Olimlarning 125 kunlik boshqa eksperimental tadqiqotida MPC qo'llanilishi issiqlik nasosining elektr energiyasi sarfini 4,1 % ga kamaytirgan, samaradorlik koeffitsiyentini 5,4 % ga oshirgan hamda ekspluatatsiya xarajatlarini 9,0 % ga qisqartirgan [6]. Ushbu natijalar MPC usulining energiya samaradorligini oshirish imkoniyatlarini ko'rsatadi (1-rasm).



1-rasm. Model-prediktiv boshqaruv an'anaviy boshqaruv usuli bilan taqqoslangan ko'rsatkichlar

Tadqiqotning maqsadi — sun'iy intellekt yordamida prognozlash va MPC orqali optimallashtirishni birlashtirgan holda binoning elektr va issiqlik ta'minotini adaptiv boshqarish algoritmini ishlab chiqish.

Tadqiqot usuli va boshqaruv algoritmi. Taklif etilayotgan tizim quyosh fotoelektrik panellari, binoning elektr iste'molchilari, issiqlik nasosi va issiq suv uchun issiqlik akkumulyatoridan tashkil topadi. Algoritm uchta asosiy bosqichda ishlaydi.

Birinchi bosqichda sun'iy intellekt modeli quyosh energiyasi ishlab chiqarishi, elektr yuklamasi va issiqlik talabini prognozlaydi. Prognoz modelini shakllantirishda avvalgi kuzatuv natijalari, quyosh radiatsiyasi intensivligi, atrof-muhit harorati hamda vaqt omiliga oid ma'lumotlar hisobga olinadi. Ikkinchi bosqichda MPC boshqaruvchisi prognoz natijalari asosida issiqlik nasosi, issiqlik akkumulyatori va tarmoqdan olinadigan elektr energiyasining optimal ish rejimini hisoblaydi. Bunda xona harorati, uskunalarining quvvati va energiya saqlash qurilmasining sig'imi kabi cheklovlar hisobga olinadi. Uchinchi bosqichda tizimning haqiqiy ish ko'rsatkichlari o'lchanadi va prognoz natijalari bilan solishtiriladi. Olingan ma'lumotlar asosida model va boshqaruv qarorlari yangilanadi. Shu tariqa tizim o'zgaruvchan ob-havo va iste'mol sharoitlariga moslashadi.

Tizimdagi elektr quvvati balansini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$P_{quy} + P_{tar} + P_{akk.raz} = P_{yuk} + P_{nasos} + P_{akk.zaryad} + P_{uzatish} + P_{chek}$$

Bu yerda:

P_{quy} - quyosh fotoelektrik panellari ishlab chiqaradigan elektr quvvati;

P_{tar} - tashqi elektr tarmog'idan olinadigan quvvat;

$P_{akk.raz}$ - akkumulyator batareyasining razryadlanishi natijasida tizimga beriladigan quvvat;

P_{yuk} - binodagi yoritish, maishiy texnika va boshqa elektr iste'molchilarining jami quvvati;

P_{nasos} - issiqlik nasosining ishlashi uchun sarflanadigan elektr quvvati;

$P_{akk.zaryad}$ - akkumulyator batareyasini zaryadlash uchun sarflanadigan quvvat;

$P_{uzatish}$ - elektr tarmog'iga uzatiladigan quvvat;

P_{chek} - ishlab chiqarilgan, ammo foydalanilmay qolgan yoki cheklangan quyosh elektr quvvati.

Barcha quvvat kattaliklari kilovatt (kW) da o'lchanadi.

Issiqlik nasosining foydali issiqlik quvvati quyidagi munosabat bilan aniqlanadi:

$$Q_{nasos} = COP * P_{nasos}$$

Bu yerda

Q_{nasos} - ishlab chiqarilgan issiqlik quvvati (kW),

COP - issiqlik nasosining samaradorlik koeffitsiyenti,

P_{nasos} - sarflanadigan elektr quvvati (kW). Amaliy hisoblashda (COP) qiymatining tashqi harorat va ish rejimiga bog'liqligini hisobga olish lozim.

MPC optimallashtirish mezon. Boshqaruv tizimining vazifasi elektr energiyasi xarajatlarini kamaytirish, xona haroratini belgilangan qiymatga yaqin saqlash va qurilmalar boshqaruv signallarining keskin o'zgarishini cheklashdan iborat. Buning uchun quyidagi umumiy optimallashtirish mezonidan foydalanish mumkin:

$$J = \sum_{i=0}^{N-1} \left[c_e(i) P_{tarmoq}(i) \Delta t + \lambda_{TeT}(i)^2 + \lambda_u \| \Delta u(i) \|_2^2 \right] \rightarrow \min$$

Bu yerda

J - optimallashtirish mezon;

N - prognoz ufqidagi qadamlar soni;

$c_e(i)$ - elektr energiyasi tarifi (so'm/kW·soat);

$P_{tarmoq}(i)$ - tarmoqdan olinadigan quvvat (kW);

Δt - vaqt qadami (soat);

eT – xona haroratining belgilangan qiymatdan o'lchamsiz og'ishi;

$\Delta u(i)$ - boshqaruv ta'sirining o'zgarishi;

λ_{TeT} va λ_u - mezon hadlarining ahamiyatini belgilovchi vazn koeffitsiyentlari. Vaznlar mos ravishda tanlanib, mezon hadlari optimallashtirishda o'zaro taqqoslanadigan shaklga keltiriladi.

Sun'iy intellekt modelining prognoz sifatini baholash uchun o'rtacha mutlaq xatolikdan foydalanish mumkin:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |y_j - \hat{y}_j|$$

Bu yerda

y_j - o'lchangan haqiqiy qiymat;

$\hat{y}_j$ - prognoz qiymati;

n - kuzatuvlar soni.

Prognozlash va adaptiv boshqaruv samaradorligini baholashda ilmiy tadqiqotlarda olingan miqdoriy natijalar muhim taqqoslash mezon hisoblanadi. Quyosh suv isitish tizimida suv chiqish haroratini prognozlashda determinatsiya koeffitsiyenti $R^2 = 0,9844$ ga teng bo'lgan [3].

Turar joy binosining energiya saqlash tizimida adaptiv model-prediktiv boshqaruv energiya xarajatlarini qoidaga asoslangan boshqaruvga nisbatan 15,2% ga, vaqt bo'yicha o'zgaruvchi MPC usuliga nisbatan esa 12,1% ga kamaytirgan [1]. Ushbu ko'rsatkichlardan taklif etilayotgan algoritmnı MATLAB/Simulink muhitida modellashtirish va an'anaviy boshqaruv usullari bilan taqqoslashda mezon sifatida foydalanish mumkin.

Kutilayotgan natijalar va muhokama.

Ilmiy tadqiqotlarda qayd etilgan natijalar (1-jadval).

1-jadval

Ko'rsatkich	Natija
Yozgi energiya tejalishi	12,0%
Qishki energiya tejalishi	8,7%
Yozgi yuklama prognozi, (R^2)	0,990
Energiya xarajatlarining kamayishi	15,2%

Xulosa. Quyosh energiyasi asosida binoning elektr va issiqlik ta'minotini adaptiv boshqarish uchun sun'iy intellekt yordamida prognozlash hamda MPC orqali optimallashtirishni birlashtiruvchi algoritim taklif etildi. Algoritim quyosh energiyasi ishlab chiqarishi va iste'mol talabini prognozlash, issiqlik nasosi hamda issiqlik akkumulyatorining ish rejimini rejalashtirish va yangi o'lchovlar asosida boshqaruv qarorlarini yangilash bosqichlarini qamrab oladi. Taklif etilgan yondashuvning amaliy samaradorligini aniqlash uchun MATLAB/Simulink muhitida modellashtirish va natijalarni an'anaviy boshqaruv usuli bilan taqqoslash zarur.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Zhao, Z., Wang, C., & Wang, B. *Adaptive model predictive control for residential building energy storage systems*. Journal of Building Engineering, 2026. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2026.115774>
2. Yang, L., Ma, S., Wu, J., Wang, Y., Zhang, G., Xu, Z., Wang, L., & Wei, S. *Adaptive model predictive control for solar-assisted multi-source heat pump systems using machine learning*. Energy, 352 (2026), article 140894. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2026.140894>
3. Oboletse, B., Ramotlhagodi, L., & Akano, T. T. *Artificial Intelligence-Based Model Predictive Control of a Solar Water Heating System: Solar Water Heating System integrated with AI-MPC*. International Sustainable Energy Conference – Proceedings, 2 (2026). <https://doi.org/10.52825/isec.v2i.3388>
4. Matchanov, N. A., & Arziyev, Z. D. *Possibilities of Heating Swimming Pool Water Using Solar Energy in the Climate Conditions of Uzbekistan: A Scientific Analysis*. Problems of Energy and Sources Saving, 4 (2025), pp. 317–328. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18640256>
5. Kuboth, S., Heberle, F., Weith, T., Welzl, M., König-Haagen, A., & Brüggemann, D. *Experimental short-term investigation of model predictive heat pump control in residential buildings*. Energy and Buildings, 204 (2019), 109444. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109444>
6. Kuboth, S., Weith, T., Heberle, F., Welzl, M., & Brüggemann, D. *Experimental Long-Term Investigation of Model Predictive Heat Pump Control in Residential Buildings with Photovoltaic Power Generation*. Energies, 13(22) (2020), 6016. <https://doi.org/10.3390/en13226016>