

BIM VA SUN'IY INTELLEKT ASOSIDA BINOLARNING ENERGIYA ISTE'MOLINI PROGNOZLASH VA OPTIMALLASHTIRISH MODELI

Salimova Iroda Nazarbayevna

t.f.b.f.d. dotsent (PhD),

Toshkent arxitektura-qurilish universiteti

Tel:+998903250210, E-mail: iroda10@mail.com

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20637320>

Annotatsiya

Ushbu maqolada BIM texnologiyasi va sun'iy intellekt algoritmlarini integratsiya qilish asosida binolarning energiya iste'molini prognozlash hamda optimallashtirishning konseptual modeli ishlab chiqildi. Tadqiqotda BIMning geometriya, konstruktiv elementlar, materiallar va muhandislik tizimlari haqidagi axborotlari IoT/BMS sensorlari, ob-havo ma'lumotlari, foydalanish grafigi va energetik tariflar bilan yagona ma'lumotlar qatlamida birlashtiriladi. Model O'zbekiston sharoitida yangi, rekonstruksiya qilinayotgan va ekspluatatsiyadagi turar-joy hamda jamoat binolari uchun energiya auditini raqamlashtirish, energiya samaradorlik bo'yicha qaror qabul qilish va "yashil" standartlarga mos loyihalash jarayonini takomillashtirishga xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: BIM, sun'iy intellekt, energiya samaradorligi, raqamli egizak, energiya prognozi, optimallashtirish, HVAC, IoT, BMS, yashil qurilish.

Kirish. Binolar va inshootlar qurilishi sohasida energiya samaradorligi bugungi kunda faqat texnik masala emas, balki iqtisodiy, ekologik va ijtimoiy barqarorlikni belgilovchi strategik omilga aylandi. Xalqaro energetika agentligi ma'lumotlariga ko'ra, binolar global energiya talabining taxminan 30 foizini tashkil etadi va 2019-yildan keyingi energiya talabining o'sishida sezilarli ulushga ega [1]. BMT Atrof-muhit dasturi va GlobalABCning 2024/2025-yilgi hisobotida esa qurilish va binolar sektori global energiya 32 foizini iste'mol qilishi hamda CO₂ chiqindilarining 34 foiziga sabab bo'lishi qayd etilgan [2]. Bu raqamlar binolarni loyihalash, qurish va ekspluatatsiya qilish jarayonida raqamli energiya boshqaruvini joriy etish zarurligini ko'rsatadi.

O'zbekiston sharoitida ham binolarning issiqlik energiyasi bilan ta'minlanishi, tashqi to'siq konstruksiyalarining issiqlik himoyasi, qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish va energiya tejovchi uskunalarni keng joriy etish davlat siyosatining muhim yo'nalishlaridan biri bo'lib bormoqda. 2025-yil 11-martdagi PQ-100-son qarorda turar-joy va ijtimoiy soha binolarida issiqlik izolyatsiyasi, energiya tejamkor oyna va eshik romlari, quyosh panellari, geliokollektorlar, issiqlik nasoslari hamda boshqa resurs tejamkor qurilmalarni qo'llash bo'yicha chora-tadbirlar belgilangan [3]. 2025-yil 24-oktabrdagi 673-son qarorda esa turar-joy binolarida energiya samaradorligini oshirishni rag'batlantirish va energiya servis bozorini shakllantirishga oid mexanizmlar ko'zda tutilgan [4].

Qurilish axborot modeli — BIM — binoning butun hayotiy sikli davomida geometriya, material, uskunar, texnologik jarayon, ekspluatatsiya va texnik xizmat ko'rsatish ma'lumotlarini yagona raqamli muhitda boshqarishga imkon beradi [5]. ISO 19650 seriyasi BIM asosida axborotni boshqarish, almashish, versiyalash va tashkil etish bo'yicha umumiy tamoyillarni belgilaydi [6].

So'nggi tadqiqotlarda raqamli egizaklar energiya monitoringi, ekspluatatsiya rejimlarini optimallashtirish, foydalanuvchi xulq-atvorini hisobga olish va prognozli texnik xizmat ko'rsatish uchun istiqbolli vosita sifatida ko'rsatilmoqda [8, 9].

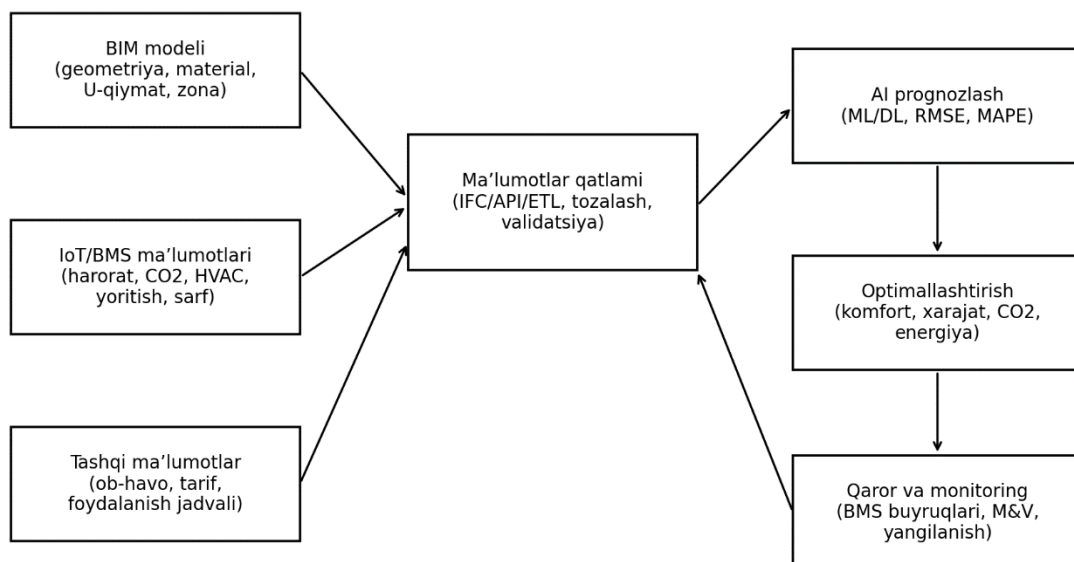
Materiallar va metodlar.

BIM ma'lumotlar bloki binoning fazoviy-geometrik parametrlari, qavatlar soni, xonalar maydoni, to'siq konstruksiyalarining material tarkibi, issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti, deraza-devor nisbati, HVAC uskunalari quvvati, yoritish tizimi, muhandislik tarmoqlari va foydalanish zonalarini qamrab oladi. Bu ma'lumotlar IFC yoki mahalliy BIM dasturlari APIlari orqali olinishi mumkin. Energiya modelini yaratishda BIMdan BEMga o'tish muhim bosqich bo'lib, bunda geometriya, termal zonalar va material xususiyatlarining to'g'ri uzatilishi natijalar aniqligiga bevosita ta'sir qiladi [14].

Model samaradorligini baholashda prognoz aniqligi uchun MAE, RMSE, MAPE va R2 ko'rsatkichlari; energetik natija uchun kWh/m²·yil, pik yuklama kamayishi, energiya tejamkorlik foizi; iqtisodiy natija uchun yillik tejam, qoplash muddati va sof joriy qiymat; ekspluatatsion natija uchun komfort soatlari ulushi, CO2 me'yoridan oshish davomiyligi va uskunalar ish vaqtining qisqarishi hisobga olinadi. Energiya tejamini tekshirishda IPMVP kabi o'lchash va verifikatsiya protokollari binodagi real tejamni asoslash uchun qo'llanishi mumkin [7].

1-jadval. BIM-AI energiya modeli uchun asosiy ma'lumotlar tarkibi

Ma'lumot bloki	Manba	Asosiy parametrlar	Modeldagi vazifasi
BIM	Revit/ArchiCAD/IFC	Geometriya, material, U-qiymat, zona, HVAC uskunalari	Energiya modelining fizik va fazoviy asosini yaratish
IoT/BMS	Sensorlar, hisoblagichlar	Harorat, namlik, CO2, sarf, uskunalar holati	Real ekspluatatsiya rejimini kuzatish
Ob-havo	Meteorologik servis, stansiya	Tashqi harorat, quyosh radiatsiyasi, shamol, namlik	Yuklama prognozi va iqlimga moslashtirish
Foydalanish rejimi	Jadval, kirish nazorati, occupancy sensorlar	Xonalar bandligi, ish vaqti, odamlar soni	Ichki issiqlik ajralishi va komfort talablarini baholash
Tarif va ekologiya	Energiya ta'minotchisi, CO2 koeffitsientlari	Elektr/issiqlik narxi, pik vaqtlar, emissiya koeffitsienti	Xarajat va uglerod izini optimallashtirish

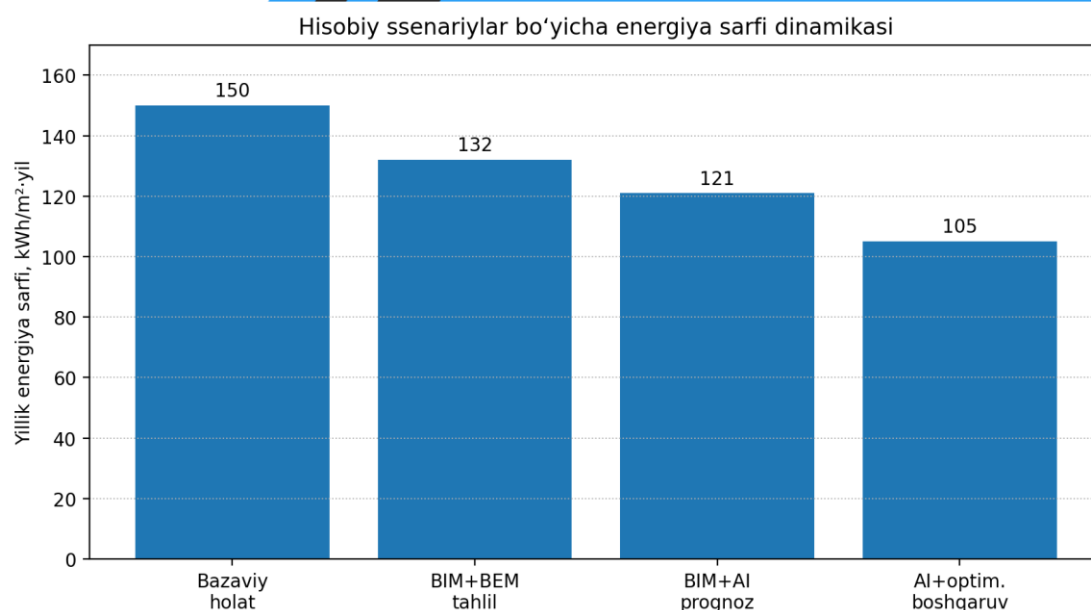


Rasm 1. BIM va sun'iy intellekt asosidagi energiya prognozlash va optimallashtirish modelining umumiy arxitekturas

Natijalar. Tadqiqot natijasida BIM va sun'iy intellekt asosida ishlovchi energiya prognozlash va optimallashtirish modelining konseptual arxitekturas ishlab chiqildi.

2-jadval. Taklif etilgan model bo'yicha hisobiy ssenariy natijalari

Ssenariy	Tavsif	Yillik sarf, kWh/m ² -yil	Bazaga nisbatan tejam	Izoh
S0	Bazaviy loyiha va odatiy ekspluatatsiya	150	0%	Energiya monitoringi cheklangan
S1	BIM asosidagi BEM tahlil va konstruktiv tuzatishlar	132	12%	Issiqlik himoyasi va zona parametrlarini optimallashtirish
S2	BIM+BMS ma'lumotlari asosidagi AI prognoz	121	19,3%	Yuklama prognozi va pik sarflarni oldindan aniqlash
S3	AI optimallashtirilgan HVAC, yoritish va tarifga mos boshqaruv	105	30%	Komfort chegaralarini saqlagan holda eng tejamkor rejim



Rasm 2. Model sinovi uchun hisobiy ssenariy: optimallashtirish natijasida sarfning kamayishi

Model natijalari energiya samaradorlik bo'yicha qaror qabul qilish jarayoniga ham ta'sir qiladi. An'anaviy yondashuvda loyiha yechimlari odatda kapital xarajat, me'yoriy talab va tajriba asosida tanlanadi. Taklif etilgan modelda esa har bir yechimning yillik energiya sarfi, ekspluatatsiya xarajati, CO₂ ta'siri va komfort ko'rsatkichi oldindan solishtiriladi. Bu loyihachi, buyurtmachi va ekspluatatsiya tashkiloti o'rtasida raqamli asoslangan muloqotni kuchaytiradi.

3-jadval. Modelni amaliy joriy etish bosqichlari

Bosqich	Asosiy ishlar	Chiqish natijasi	Mas'ul ishtirokchilar
1. Raqamlashtirish	BIM model yaratish yoki mavjud modelni tekshirish	To'liq atributlangan raqamli model	Loyihachi, BIM muhandis
2. Integratsiya	Sensorlar, BMS, ob-havo va tarif ma'lumotlarini ulash	Yagona ma'lumotlar bazasi	IT mutaxassis, ekspluatatsiya xizmati
3. O'qitish	Tarixiy sarf va omillar asosida AI model yaratish	Validatsiyadan o'tgan prognoz modeli	Data analyst, energetik muhandis
4. Optimallashtirish	HVAC, yoritish, RE manbalar rejimini hisoblash	Qarorlar va boshqaruv ssenariylari	Energetik, BMS operator
5. Monitoring	Energiya tejamini o'lchash va modelni yangilash	M&V hisobotlari va qayta kalibrlangan model	Ekspluatatsiya tashkiloti, auditor

Muhokama.

O'zbekiston sharoitida bu modelni joriy etish bir necha amaliy shartlarni talab qiladi. Birinchidan, loyiha tashkilotlarida BIM modellari faqat 3D ko'rinish sifatida emas, balki energetik tahlilga tayyor atributli ma'lumotlar bazasi sifatida yuritilishi kerak. Ikkinchidan, ekspluatatsiyadagi binolarda hisoblagich va sensorlar tizimi bosqichma-bosqich raqamlashtirilishi lozim. Uchinchidan, energetik auditorlar, BIM muhandislar va data analystlar o'rtasida yangi kasbiy hamkorlik formati shakllanishi zarur.

Xulosa. O'zbekiston sharoitida model yangi va rekonstruksiya qilinayotgan binolar uchun energiya samaradorlik talablarini bajarish, quyosh panellari, geliokollektorlar, issiqlik nasoslari va energiya tejovchi uskunalarning real samaradorligini monitoring qilish, shuningdek, energiya servis bozorida tejamni verifikatsiya qilish uchun qo'llanishi mumkin. Kelgusida modelni real bino misolida sinovdan o'tkazish, hududiy iqlim ma'lumotlari bilan kalibrlash va milliy normativ bazaga mos indikatorlar tizimini ishlab chiqish tavsiya etiladi.

Adabiyotlar, References, Литературы:

1. International Energy Agency. Energy Efficiency 2025: Buildings. IEA, 2025. URL: <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2025/buildings>
2. United Nations Environment Programme; Global Alliance for Buildings and Construction. Global Status Report for Buildings and Construction 2024/2025. UNEP, 2025. URL: <https://www.unep.org/resources/report/global-status-report-buildings-and-construction-20242025>
3. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2025-yil 11-martdagi PQ-100-son qarori "Uy-joy hamda bino-inshootlarni issiqlik energiyasi bilan ta'minlash sohasini tubdan isloh qilish hamda binolarning energiya samaradorligini oshirish chora-tadbirlari to'g'risida". URL: <https://lex.uz/docs/-7431396>
4. O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2025-yil 24-oktabrdagi 673-son qarori "Turar-joy binolarida energiya samaradorligini oshirishni rag'batlantirish va energiya servis bozorini shakllantirish chora-tadbirlari to'g'risida". URL: <https://lex.uz/en/docs/7796796>
5. Autodesk. What is BIM? Building Information Modeling. URL: <https://www.autodesk.com/solutions/aec/bim>
6. ISO 19650-1:2018. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles.
7. Efficiency Valuation Organization. International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP). URL: <https://evo-world.org/en/products-services-mainmenu-en/protocols/ipmvp>
8. Arsecularatne B. et al. Digital Twins for Reducing Energy Consumption in Buildings: A Review. Sustainability, 2024, 16(21), 9275. URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/21/9275>
9. Bortolini R. et al. Digital Twins' Applications for Building Energy Efficiency: A Review. Energies, 2022, 15(19), 7002. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/19/7002>
10. Walch A. et al. BEMTrace: Visualization-driven approach for deriving Building Energy Models from BIM. arXiv, 2024. URL: <https://arxiv.org/abs/2407.1946>