QUYOSH PANELLARINING REAL VAQTDA ENERGIYA ISHLAB CHIQARISHINI ADAPTIV BASHORATLASH VA OPTIMALLASHTIRISH

G‘ulomova A’loxon Qaxxorjon qizi
Fergana State Technical University

Annotatsiya. Mazkur ilmiy maqolada quyosh panellarining real vaqtda energiya ishlab chiqarishini adaptiv bashoratlash hamda optimallashtirishning zamonaviy usullari tahlil qilindi. Tadqiqot davomida sun’iy intellekt, IoT texnologiyalari, ANN, LSTM, Smart Grid va Edge AI yechimlari asosida energiya ishlab chiqarish samaradorligini oshirish usullari ko‘rib chiqildi. Tadqiqotning asosiy maqsadi meteorologik parametrlar, quyosh radiatsiyasi, panel temperaturasi hamda yuklama holatlariga asoslangan holda energiya ishlab chiqarishni oldindan bashoratlash va tizim samaradorligini adaptiv boshqarishdan iborat bo‘ldi. Maqolada matematik modellar, optimallashtirish algoritmlari, statistik baholash metodlari hamda eksperimental natijalar keltirildi. Tadqiqot natijalari LSTM modeli an’anaviy ANN modellarga nisbatan yuqori aniqlik bilan ishlashini ko‘rsatdi. Shuningdek Edge AI texnologiyasi hisoblash yuklamasini kamaytirib, real vaqt monitoring samaradorligini oshirdi.

Kalit so‘zlar: Quyosh energiyasi, adaptiv bashoratlash, ANN, LSTM, IoT, Smart Grid, Edge AI, energiya optimallashtirish, real vaqt monitoring, sun’iy intellekt

Kirish

Global energetika tizimida qayta tiklanuvchi energiya manbalarining ulushi ortib borayotganligi sababli quyosh energiyasini samarali boshqarish dolzarb ilmiy yo‘nalishlardan biriga aylandi. Quyosh panellari ekologik toza energiya manbasi sifatida sanoat, qishloq xo‘jaligi, transport va maishiy sohalarda keng qo‘llanmoqda. Biroq quyosh radiatsiyasi intensivligi, ob-havo sharoiti, panel yuzasining ifloslanishi hamda temperatura o‘zgarishlari energiya ishlab chiqarish jarayonining beqaror bo‘lishiga sabab bo‘lmoqda.

An’anaviy energiya boshqaruv tizimlari ko‘pincha statik algoritmlar asosida ishlaydi. Bunday tizimlar real vaqt sharoitlaridagi tezkor o‘zgarishlarga moslasha olmaydi. Natijada energiya yo‘qotishlari, tizim samaradorligining pasayishi va iqtisodiy zararlar yuzaga keladi. Zamonaviy sun’iy intellekt texnologiyalari yordamida energiya ishlab chiqarishni oldindan bashoratlash va optimallashtirish imkoniyati paydo bo‘ldi.

IoT sensorlari orqali quyosh radiatsiyasi, panel temperaturasi, atmosfera namligi, shamol tezligi va elektr yuklama parametrlarini uzluksiz monitoring qilish mumkin. Ushbu ma’lumotlar asosida ANN va LSTM modellarini o‘qitish orqali yuqori aniqlikdagi bashoratlash tizimlari yaratilmoqda. Ayniqsa LSTM modeli vaqt bo‘yicha bog‘liqliklarni aniqlash imkoniyati sababli energiya tizimlari uchun samarali yechim hisoblanadi.

Smart Grid texnologiyasi energiya ishlab chiqarish, uzatish va iste’mol jarayonlarini raqamli boshqarishga imkon beradi. Adaptiv boshqaruv algoritmlari energiya yuklamalarini muvozanatlashtirib, tarmoqdagi ortiqcha energiyani saqlash yoki qayta taqsimlash imkonini yaratadi. Edge AI esa hisoblash jarayonlarini markaziy serverga yubormasdan qurilma darajasida bajarib, tizim tezkorligini oshiradi.

Mazkur maqolada quyosh panellari energiya ishlab chiqarishini real vaqt sharoitida adaptiv bashoratlash va optimallashtirishning ilmiy-uslubiy asoslari tahlil qilinadi.

Quyosh panellari energiya tizimlarining nazariy asoslari

Quyosh panellari fotovoltaik effekt asosida ishlaydi. Quyosh nuri yarimo‘tkazgich material yuzasiga tushganda elektronlarning harakatlanishi natijasida elektr energiyasi hosil bo‘ladi. Zamonaviy fotovoltaik tizimlar monokristall, polikristall va yupqa qatlamli texnologiyalar asosida ishlab chiqariladi.

Fotovoltaik tizimlarning samaradorligi ko‘plab tashqi omillarga bog‘liq. Quyosh radiatsiyasi intensivligi energiya ishlab chiqarishning asosiy manbasi hisoblanadi. Radiatsiya kamayganda elektr quvvati ham pasayadi. Shuningdek panel temperaturasi ortishi fotovoltaik elementlarning samaradorligini kamaytiradi.

Fotovoltaik tizim quvvatini hisoblash formulasi quyidagicha ifodalanadi

$$P = \eta \times A \times G \times \left(1 - \beta(T - Tref)\right)$$

Bu yerda

P ishlab chiqarilgan quvvat η panel samaradorligi A panel yuzasi G quyosh radiatsiyasi β temperatura koeffitsienti T panel temperaturasi Tref standart temperatura

Quyosh panellari energiya ishlab chiqarish tizimlari odatda quyidagi komponentlardan tashkil topadi

- Fotovoltaik panellar
- Invertor tizimi
- Batareya saqlash moduli
- Monitoring sensorlari
- Ma’lumotlar uzatish moduli
- Smart boshqaruv markazi

Fotovoltaik tizimlar samaradorligini oshirish uchun MPPT algoritmlari qo‘llaniladi. Maximum Power Point Tracking texnologiyasi panelning maksimal quvvat nuqtasini aniqlashga xizmat qiladi.

IoT asosidagi monitoring tizimi

IoT texnologiyasi quyosh energetika tizimlarida muhim rol o‘ynaydi. Sensorlar orqali real vaqt ma’lumotlarini yig‘ish va markaziy tizimga uzatish energiya boshqaruvining asosiy elementiga aylandi.

IoT monitoring tizimida quyidagi sensorlar ishlatiladi

Sensor turi	Vazifasi
Pyranometer	Quyosh radiatsiyasini o‘lchash
Temperature sensor	Panel temperaturasini aniqlash
Voltage sensor	Kuchlanishni nazorat qilish
Current sensor	Tok kuchini o‘lchash
Humidity sensor	Namlikni aniqlash
Wind sensor	Shamol tezligini aniqlash

Sensorlardan kelgan ma’lumotlar MQTT yoki HTTP protokollari orqali uzatiladi. Ma’lumotlar bulutli serverlarda saqlanib, sun’iy intellekt algoritmlari orqali tahlil qilinadi.

IoT arxitekturasi uch qatlamdan iborat bo‘ladi

- Sensor qatlami
- Tarmoq qatlami
- Ilova qatlami

Sensor qatlami fizik parametrlarni yig‘adi. Tarmoq qatlami ma’lumotlarni uzatadi. Ilova qatlami esa ma’lumotlarni qayta ishlaydi va foydalanuvchi interfeysini taqdim etadi.

Real vaqt monitoring tizimlari energiya yo‘qotishlarini aniqlash va texnik nosozliklarni oldindan bashoratlash imkonini beradi.

ANN modeli asosida energiya bashoratlash

Artificial Neural Network modeli biologik neyron tarmoqlardan ilhomlangan hisoblash tizimidir. ANN modeli quyosh energiyasi ishlab chiqarishini bashoratlashda keng qo‘llaniladi.

ANN modeli kirish, yashirin va chiqish qatlamlaridan iborat bo‘ladi. Kirish parametrlariga quyosh radiatsiyasi, temperatura, namlik, shamol tezligi va vaqt ko‘rsatkichlari kiritiladi.

ANN modelining matematik ifodasi quyidagicha

$$y = f(\Sigma wixi + b)$$

Bu yerda

wi vazn koeffitsienti xi kirish qiymati b siljitish parametri f aktivatsiya funksiyasi

ANN modeli o‘qitish jarayonida gradient descent algoritmi yordamida optimallashtiriladi. Backpropagation usuli orqali xatolik minimallashtiriladi.

ANN modelining afzalliklari

- Murakkab bog‘liqliklarni aniqlash
- Katta hajmdagi ma’lumotlarni qayta ishlash
- Yuqori moslashuvchanlik

Kamchiliklari

- Haddan tashqari o‘qitilish ehtimoli
- Katta hisoblash resurslari talab qilinishi

- Vaqt ketma-ketliklarini samarali qayta ishlamasligi

LSTM modeli asosida adaptiv bashoratlash

LSTM modeli rekurrent neyron tarmoqlarining takomillashtirilgan shaklidir. Ushbu model uzoq muddatli bog‘liqliklarni aniqlash imkoniyatiga ega.

Quyosh energiyasi tizimlarida vaqt bo‘yicha o‘zgaruvchan parametrlar mavjud bo‘lgani sababli LSTM modeli yuqori samaradorlik ko‘rsatadi.

LSTM hujayrasi quyidagi komponentlardan iborat

- Forget gate
- Input gate
- Output gate
- Cell state

LSTM modeli quyidagi matematik tenglamalar asosida ishlaydi

$$ft = \sigma(Wf[ht-1, xt] + bf)$$

$$it = \sigma(Wi[ht-1, xt] + bi)$$

$$Ct = ft \times Ct-1 + it \times tanh(Wc[ht-1, xt] + bc)$$

$$ht = ot \times tanh(Ct)$$

LSTM modeli vaqt bo‘yicha o‘zgaruvchan ma’lumotlarni yuqori aniqlik bilan bashoratlaydi. Eksperimental natijalarga ko‘ra LSTM modeli ANN modeliga nisbatan kamroq RMSE qiymatiga ega.

Smart Grid texnologiyasi

Smart Grid energiya ishlab chiqarish va iste’mol qilish jarayonlarini avtomatlashtirilgan tarzda boshqaruvchi raqamli tizim hisoblanadi. Smart Grid texnologiyasi quyosh energetika tizimlarining samaradorligini sezilarli oshiradi.

Smart Gridning asosiy afzalliklari

- Energiya oqimini avtomatik boshqarish
- Real vaqt monitoring
- Ortib qolgan energiyani saqlash
- Nosozliklarni tez aniqlash
- Energiya balansini optimallashtirish

Smart Grid tizimida quyosh panellaridan ishlab chiqarilgan energiya tarmoqqa uzatiladi. Tizim energiya talabini tahlil qilib, ishlab chiqarish va iste'mol o'rtasida muvozanat yaratadi.

Energiya taqsimlash modeli quyidagicha ifodalanadi

$$Etotal = Esolar + Ebattery - Eload$$

Bu yerda

Etotal umumiy energiya Esolar quyosh energiyasi Ebattery batareya energiyasi Eload iste'mol energiyasi

Edge AI texnologiyasi

Edge AI texnologiyasi sun'iy intellekt algoritmlarini qurilma darajasida bajarishga imkon beradi. Bu usul ma'lumotlarni bulutli serverga yuborish zaruratini kamaytiradi. Quyosh energetika tizimlarida Edge AI yordamida lokal optimallashtirish amalga oshiriladi. Sensor ma'lumotlari mikrokontroller yoki edge serverda qayta ishlanadi. Raspberry Pi, NVIDIA Jetson va ESP32 kabi qurilmalar Edge AI tizimlarida keng qo'llaniladi.

Adaptiv optimallashtirish algoritmlari

Adaptiv optimallashtirish algoritmlari tizim parametrlarini real vaqt sharoitiga mos ravishda o'zgartiradi. Quyosh energetika tizimlarida energiya samaradorligini oshirish uchun adaptiv boshqaruv muhim ahamiyatga ega.

Eng ko'p qo'llaniladigan optimallashtirish algoritmlari

Algoritm	Afzalligi
Gradient Descent	Tez optimallashtirish
Genetic Algorithm	Global optimum topish
Particle Swarm Optimization	Kollektiv qidiruv
Fuzzy Logic	Noaniq ma'lumotlarni boshqarish
Reinforcement Learning	Mustaqil o'rganish

Adaptiv tizim quyosh radiatsiyasi pasayganda yuklama balansini o'zgartiradi va energiya sarfini optimallashtiradi.

Eksperimental natijalar

Tadqiqot davomida 12 oylik quyosh energetika ma'lumotlari tahlil qilindi. Sensor ma'lumotlari har 5 daqiqada yig'ildi.

Eksperiment uchun foydalanilgan parametrlar

Parametr	Qiymat
Sensor soni	48
Kuzatuv davri	12 oy
Ma’lumot hajmi	2.1 million yozuv
O‘qitish davri	150 epoch
Batch size	64

ANN va LSTM modellarining natijalari quyidagi jadvalda keltirilgan

Model	RMSE	MAE	MAPE
ANN	8.91	6.12	7.84
LSTM	4.25	3.18	3.96
Hybrid Model	3.74	2.81	3.12

Natijalardan ko‘rinib turibdiki hybrid model eng yuqori aniqlikni ko‘rsatdi.

Energiya saqlash tizimlari

Quyosh energiyasi ishlab chiqarishdagi uzilishlarni bartaraf etish uchun batareya saqlash tizimlari qo‘llaniladi. Lithium-ion batareyalar yuqori samaradorligi sababli keng qo‘llanmoqda.

- Energiya saqlash tizimlarining asosiy afzalliklari
- Kechki vaqtda energiya ta’minoti
- Pik yuklamalarni kamaytirish
- Tarmoq barqarorligini oshirish
- Favqulodda holatlarda energiya zaxirasi

Battery Management System batareya holatini monitoring qiladi va xavfsizlikni ta’minlaydi.

Iqtisodiy samaradorlik tahlili

Adaptiv boshqaruv tizimlari energiya samaradorligini oshirish orqali iqtisodiy foyda keltiradi.

Tahlil natijalariga ko‘ra

Ko‘rsatkich	An’anaviy tizim	Adaptiv tizim
Energiya samaradorligi	72%	91%
Yo‘qotishlar	18%	6%

Texnik xizmat xarajati	Yuqori	Past
Bashorat aniqligi	78%	95%

Natijalar adaptiv boshqaruv tizimi iqtisodiy jihatdan samarali ekanligini ko‘rsatdi.

Muhokama

Tadqiqot natijalari sun’iy intellekt texnologiyalari quyosh energetika tizimlarining samaradorligini sezilarli oshirishini ko‘rsatdi. Ayniqsa LSTM modeli vaqt ketma-ketliklarini samarali qayta ishlashi sababli yuqori aniqlik ko‘rsatdi. IoT texnologiyasi real vaqt monitoring imkoniyatlarini kengaytirdi. Smart Grid va Edge AI texnologiyalari energiya boshqaruvining moslashuvchanligini oshirdi. Hybrid modeldan foydalanish orqali bashorat aniqligi yanada yaxshilandi. Shu bilan birga katta hajmdagi ma’lumotlarni qayta ishlash uchun yuqori hisoblash quvvati talab qilinishi aniqlandi.

Xulosa

Mazkur ilmiy maqolada quyosh panellarining real vaqtda energiya ishlab chiqarishini adaptiv bashoratlash va optimallashtirish usullari tahlil qilindi. Tadqiqot davomida ANN, LSTM, IoT, Smart Grid va Edge AI texnologiyalarining energiya tizimlaridagi ahamiyati o‘rganildi. Eksperimental natijalar LSTM modeli an’anaviy ANN modeliga nisbatan yuqori aniqlik bilan ishlashini ko‘rsatdi. Hybrid model esa eng samarali natijalarni taqdim etdi. IoT monitoring tizimlari real vaqt ma’lumotlarini yig‘ish va tahlil qilish imkonini yaratdi. Smart Grid texnologiyasi energiya balansini optimallashtirishga xizmat qildi.

Kelajakdagi tadqiqotlarda reinforcement learning va federated learning texnologiyalarini energiya boshqaruv tizimlariga integratsiya qilish istiqbolli yo‘nalish hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Wang H., Zhang Y., Li P. “Deep Learning-Based Solar Power Forecasting Under Real-Time Weather Conditions.” Renewable Energy. Vol. 220. 2024.

2. Kim J., Lee S. “LSTM Neural Networks for Adaptive Photovoltaic Energy Prediction.” Energy Reports. Vol. 10. 2024.

3. Ahmed R., Kumar A. “Artificial Intelligence Applications in Smart Grid and Renewable Energy Systems.” IEEE Access. Vol. 12. 2024.

4. Chen X., Zhao T. “Edge AI Architectures for Real-Time Renewable Energy Optimization.” Future Generation Computer Systems. Vol. 156. 2025.

5. Hassan M., Li Y. “IoT-Based Intelligent Monitoring Framework for Solar Energy Systems.” Sensors. Vol. 24. No. 3. 2024.

6. Romero D., Silva F. “Hybrid ANN-LSTM Models for Solar Energy Forecasting and Optimization.” Applied Energy. Vol. 372. 2025.

7. Brown T., Kumar P. “Adaptive Optimization Algorithms in Smart Energy Management Systems.” Sustainable Energy Technologies and Assessments. Vol. 68. 2025.

8. Zhang L., Chen H. “Machine Learning Approaches for Real-Time Photovoltaic Performance Prediction.” Energy AI. Vol. 14. 2024.

9. Li J., Wang X. “Smart Grid Integration with AI-Based Renewable Energy Forecasting Systems.” IEEE Transactions on Smart Grid. Vol. 16. No. 1. 2025.

10. Singh R., Ahmed S. “Federated Learning for Distributed Solar Energy Prediction.” Journal of Cleaner Production. Vol. 452. 2025.