



## SUN'IY INTELLEKTNING ELEKTR ENERGETIKA TIZIMLARIDA QO'LLANILISHI: ZAMONAVIY YONDASHUVLAR, MODELLAR VA ISTIQBOLLAR



***O'rolov Sherzod Muzaffar o'g'li***

*O'zbekiston Milliy universiteti Yoshlar bilan ishlash,*

*ma'naviyat va ma'rifat bo'limi xodimi*

*Gmail: sherzoduralov03@gmail.com*

*Tel: (90)322-36-32*

**Annotatsiya:** *Elektr energetika tizimlarining raqamlashtirilishi, qayta tiklanuvchi energiya manbalarining ulushi ortishi va Smart Grid texnologiyalarining rivojlanishi katta hajmdagi murakkab ma'lumotlarni real vaqt rejimida qayta ishlash va tahlil qilish zaruratini kuchaytirmoqda. Mazkur sharoitda sun'iy intellekt (SI) usullari elektr yuklamalarini prognozlash, qayta tiklanuvchi energiya ishlab chiqarishini baholash, elektr tarmoqlaridagi nosozliklarni aniqlash, elektr energiyasi sifatini monitoring qilish, texnik xizmat ko'rsatishni prognozlash, tarmoqni boshqarish va kiberxavfsizlikni ta'minlashda muhim vositaga aylanmoqda. Ushbu maqolada elektr energetika tizimlarida qo'llanilayotgan zamonaviy sun'iy intellekt yondashuvlari tizimli ravishda tahlil qilinadi. Mashinali o'qitish, chuqur o'qitish, konvolyutsion neyron tarmoqlar, LSTM/GRU, Transformer, grafik neyron tarmoqlar, reinforcement learning, generativ sun'iy intellekt va katta til modellari funksional vazifalar, ma'lumot turlari, afzalliklar va cheklovlar nuqtai nazaridan taqqoslanadi. Tahlil natijasida AI modelini tanlashda faqat aniqlik ko'rsatkichiga emas, balki ma'lumotlarning tuzilishi, vaqt va fazoviy bog'liqliklar, hisoblash murakkabligi, izohlanish imkoniyati, ishonchlilik va real vaqt talablari kabi omillarga ham e'tibor qaratish zarurligi aniqlandi. Maqolada elektr energetikasidagi turli vazifalar uchun ma'lumot manbalarini birlashtirish, mos reprezentatsiya usulini tanlash va tegishli AI paradigmasini qo'llashga asoslangan*



*konseptual framework taklif etiladi. Shuningdek, Digital Twin, Generative AI va multimodal AI kabi yangi texnologiyalarning elektr energetikasidagi istiqbollari hamda ularni amaliy tizimlarga joriy etishdagi asosiy muammolar muhokama qilinadi. Tadqiqot natijalari elektr energetikasi masalalari uchun sun'iy intellekt modellarini tanlash va integratsiya qilish bo'yicha ilmiy-amaliy asos sifatida xizmat qilishi mumkin.*

**Kalit so'zlar:** *sun'iy intellekt; elektr energetikasi; Smart Grid; mashinali o'qitish; chuqur o'qitish; Transformer; grafik neyron tarmoqlari; generativ AI; Digital Twin; prognozlash.*

**Kirish.** Elektr energetika tizimlari so'nggi yillarda raqamlashtirish, qayta tiklanuvchi energiya manbalarining keng joriy etilishi, taqsimlangan energiya resurslarining ko'payishi va Smart Grid texnologiyalarining rivojlanishi natijasida murakkab, ko'p qatlamli va dinamik tizimga aylanmoqda. Elektr energiyasini ishlab chiqarish, uzatish, taqsimlash va iste'mol qilish jarayonlarida sensorlar, aqlli hisoblagichlar, SCADA, IoT qurilmalari va boshqa raqamli vositalardan foydalanish katta hajmdagi ma'lumotlarning shakllanishiga olib kelmoqda. Ushbu ma'lumotlardan samarali foydalanish elektr yuklamalarini prognozlash, tarmoq holatini baholash, nosozliklarni erta aniqlash va energiya resurslarini optimal boshqarish kabi vazifalarni takomillashtirish uchun muhim imkoniyat yaratadi.

An'anaviy matematik va statistik usullar elektr energetikasidagi ayrim masalalarni samarali hal qilish imkonini bergan bo'lsa-da, zamonaviy energetika tizimlarida kuzatiladigan yuqori o'lchamlilik, noxiziqli bog'liqliklar, vaqt bo'yicha o'zgaruvchanlik va ma'lumotlarning heterogenligi ushbu usullarning imkoniyatlarini cheklashi mumkin. Ayniqsa, qayta tiklanuvchi energiya manbalarining ishlab chiqarish hajmi ob-havo sharoitlariga bog'liq bo'lishi, elektr yuklamalarining iste'molchi xatti-harakatlariga qarab o'zgarishi va elektr tarmog'ining murakkab topologik tuzilishga ega bo'lishi aniq va tezkor tahlil usullariga bo'lgan talabni oshirmoqda.



Shu nuqtai nazardan, sun'iy intellekt texnologiyalari elektr energetika tizimlarida ma'lumotlarga asoslangan tahlil va qarorlarni qo'llab-quvvatlashning muhim vositalaridan biriga aylanmoqda. Mashinali o'qitish va chuqur o'qitish algoritmlari elektr yuklamalarini prognozlash, nosozliklarni aniqlash va elektr energiyasi sifatidagi buzilishlarni tasniflashda qo'llanilayotgan bo'lsa, LSTM, GRU va Transformer kabi modellar murakkab vaqt qatorlaridagi bog'liqliklarni aniqlash imkonini bermoqda. Grafik neyron tarmoqlari elektr tarmog'ining topologik xususiyatlarini hisobga olish imkoniyatini kengaytirsa, reinforcement learning boshqaruv va ketma-ket qaror qabul qilish masalalariga yo'naltirilmoqda. So'nggi tadqiqotlarda generativ sun'iy intellekt, katta til modellari va Digital Twin texnologiyalarining elektr energetikasidagi imkoniyatlari ham faol o'rganilmoqda.

Mavjud ilmiy tadqiqotlar sun'iy intellektning elektr energetikasidagi qo'llanishlarini bir qator alohida yo'nalishlarda rivojlantirgan. Xususan, qisqa muddatli elektr yuklamalarini prognozlashda LSTM, GRU va Transformer asosidagi modellar vaqt bo'yicha uzoq va murakkab bog'liqliklarni aniqlash uchun qo'llanmoqda. Ayrim tadqiqotlarda yuklama, ob-havo va vaqt kabi turli manbalardan olingan ma'lumotlarni birgalikda qayta ishlashga yo'naltirilgan Transformer arxitekturalari taklif qilingan. Boshqa tadqiqotlarda esa ko'p masshtabli vaqt xususiyatlari va fazoviy-vaqt bog'liqliklarini hisobga olish uchun Transformer hamda grafik neyron tarmoqlari birlashtirilmoqda. Bu natijalar elektr energetikasida AI modelining samaradorligi faqat algoritim tanloviga emas, balki foydalanilayotgan ma'lumotlarning tuzilishi va ularni modelga qanday ifodalashga ham bog'liqligini ko'rsatadi.

AI elektr energetika obyektlarining texnik holatini baholash va nosozliklarni aniqlashda ham keng qo'llanmoqda. Elektr energiyasi sifati buzilishlarini aniqlash bo'yicha tadqiqotlarda xom elektr signallarini to'g'ridan-to'g'ri chuqur neyron tarmoqlariga uzatish bilan bir qatorda, Wavelet Transform, S-Transform va boshqa vaqt-chastota tahlili usullaridan foydalanib, keyinchalik CNN yoki boshqa klassifikatsiya modellariga uzatish yondashuvlari ham qo'llanmoqda. Bundan



tashqari, transformatorlarning texnik holatini diagnostika qilishda gaz tarkibi, vibratsiya va boshqa sensor ma'lumotlarini birlashtirish, feature selection hamda explainable AI usullaridan foydalanish bo'yicha tadqiqotlar olib borilmoqda. Shu sababli zamonaviy diagnostika tizimlarida **signalning o'zi bilan bir qatorda uning reprezentatsiyasi, turli manbalardan olingan ma'lumotlarning fusion qilinishi va model qarorining izohlanishi** ham muhim omillarga aylanmoqda.

Mavjud adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, elektr energetikasida sun'iy intellekt bo'yicha tadqiqotlar soni sezilarli darajada ortib borayotgan bo'lsa-da, ularning katta qismi muayyan vazifa, ma'lumotlar to'plami yoki alohida AI arxitekturasining samaradorligini baholashga qaratilgan. Masalan, ayrim tadqiqotlarda elektr yuklamalarini prognozlash uchun Transformer yoki LSTM asosidagi modellar taklif qilinsa, boshqa tadqiqotlarda nosozliklarni aniqlash uchun CNN, signal-processing va klassifikatsiya usullari qo'llanadi. Grafik neyron tarmoqlari esa asosan elektr tarmog'ining topologik xususiyatlarini modellashtirishga yo'naltirilgan. Bunday tadqiqotlar muayyan masalalar uchun muhim natijalarni taqdim etsa-da, **energetik masalaning tabiati, ma'lumotlarning turi va tuzilishi, ma'lumotlarni dastlabki qayta ishlash usuli, AI paradigmasi, baholash mezonlari va real tizimga integratsiya talablari o'rtasidagi o'zaro bog'liqlikni yagona tizim sifatida ko'rib chiqish zarurati saqlanib qolmoqda.**

Ushbu maqolaning asosiy maqsadi elektr energetika tizimlarida sun'iy intellekt texnologiyalarining zamonaviy qo'llanilishlarini tizimli ravishda tahlil qilish va turli energetik vazifalar uchun AI yondashuvlarini tanlashga yordam beruvchi konseptual yondashuvni shakllantirishdan iborat. Buning uchun mashinali o'qitish, chuqur o'qitish, CNN, LSTM/GRU, Transformer, grafik neyron tarmoqlari, reinforcement learning, generativ sun'iy intellekt va katta til modellari ularning ma'lumot talablari, asosiy funksional imkoniyatlari, afzalliklari, cheklovlari va amaliy qo'llanishlari nuqtai nazaridan tahlil qilinadi. Shuningdek, turli manbalardan olingan ma'lumotlarni birlashtirish, ularni mos reprezentatsiyaga aylantirish va



tegishli AI modelini tanlash asosida elektr energetikasi uchun umumlashtirilgan konseptual framework taklif etiladi.

Maqola quyidagi asosiy hissalarini taqdim etadi: **(I)** elektr energetikasida qo'llanilayotgan AI usullarining vazifaviy va texnologik tasnifini ishlab chiqish; **(II)** energetik masalalar, ma'lumotlar tabiati va AI modellarining o'zaro mosligini taqqoslama tahlil qilish; **(III)** turli ma'lumot manbalarini birlashtirish va ularni mos reprezentatsiyaga aylantirishni AI modelini tanlash jarayonining muhim bosqichi sifatida asoslash; hamda **(IV)** prognozlash, diagnostika, boshqaruv va qarorlarni qo'llab-quvvatlash vazifalarida AI texnologiyalarini integratsiya qilish uchun konseptual framework taklif etish. Bundan tashqari, maqolada sun'iy intellektning elektr energetikasiga joriy etilishida ma'lumotlar sifati, modelning izohlanishi, kiberxavfsizlik, hisoblash murakkabligi, umumlashtirish qobiliyati va xavfsizlik kabi muammolar ham tahlil qilinadi.

An'anaviy binarlash usullari, masalan, global va lokal thresholding algoritmlari oddiy va tez ishlashi bilan ajralib turadi, biroq ular murakkab sharoitlarda, ayniqsa shovqinli yoki past sifatli tasvirlarda yetarli natija bermasligi mumkin. Shu sababli, so'nggi yillarda sun'iy intellekt va mashinaviy o'rganish usullaridan foydalanish dolzarb masalaga aylandi.

### **Asosiy qism.**

Ushbu tadqiqot elektr energetika tizimlarida sun'iy intellekt texnologiyalarining qo'llanilishiga bag'ishlangan **tahliliy adabiyot sharhi** sifatida olib borildi. Tadqiqotda mavjud ilmiy ishlar nafaqat qo'llanilgan AI algoritmlari bo'yicha, balki energetik vazifa, ma'lumot turi, ma'lumotlarni dastlabki qayta ishlash va reprezentatsiya qilish usullari, model arxitekturasini, baholash mezonlari, erishilgan natijalar hamda amaliy qo'llashdagi cheklovlar bo'yicha ham tahlil qilindi.

Tadqiqotning asosiy metodologik konsepsiyasi quyidagi ketma-ketlikka asoslandi:

**Energetik muammo → ma'lumot manbasi → ma'lumot representatsiyasi → AI modeli → natija → baholash → cheklov → amaliy integratsiya.**

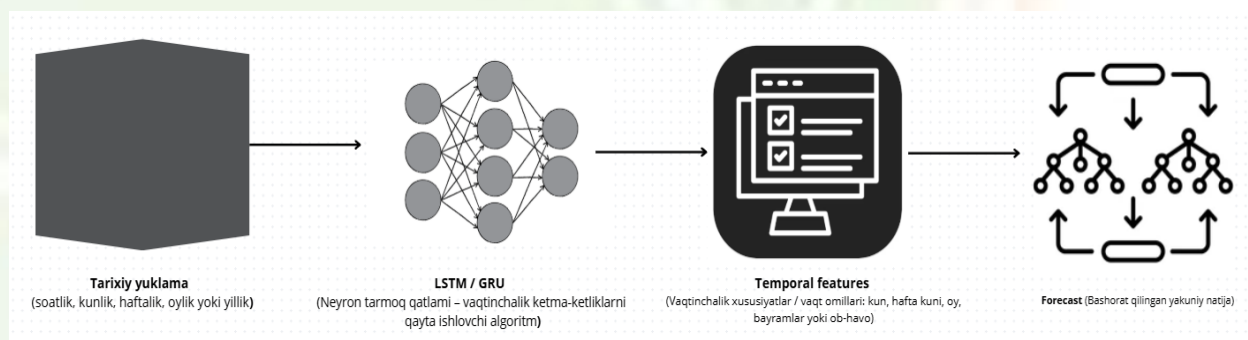
Bu yondashuv turli tadqiqotlarda qo'llanilgan modellarni faqat aniqlik ko'rsatkichlari bo'yicha emas, balki ularning **muayyan energetik masalaga mosligi** nuqtai nazaridan taqqoslash imkonini beradi.

Elektr yuklamasini aniq prognozlash elektr energetika tizimini rejalashtirish va boshqarishning muhim vazifalaridan biridir. Yuklama iste'molchilarning xatti-harakati, kun va hafta sikllari, mavsumiylik, ob-havo sharoitlari va boshqa omillar ta'sirida vaqt davomida o'zgaradi. Shu sababli elektr yuklamasi vaqt qatori sifatida qaralib, undagi qisqa va uzoq muddatli bog'liqliklarni aniqlash uchun mashinali va chuqur o'qitish usullaridan foydalanilmoqda.

Dastlab elektr yuklamasini prognozlashda statistik va klassik mashinali o'qitish usullari keng qo'llanilgan. Bunday yondashuvlarda tarixiy yuklama qiymatlari bilan bir qatorda vaqt, harorat, namlik va boshqa tashqi omillar asosiy kirish xususiyatlari sifatida ishlatiladi.

Biroq elektr yuklamasidagi murakkab nochiziqli va uzoq muddatli bog'liqliklarni qo'lda aniqlangan featurelar yordamida to'liq ifodalash qiyin. Shu sababli keyingi tadqiqotlarda **LSTM va GRU kabi recurrent neural network** arxitekturalari keng qo'llanila boshladi.

LSTM'ning asosiy afzalligi — vaqt qatoridagi oldingi ma'lumotlardan foydalanib, uzoqroq vaqt oralig'idagi bog'liqliklarni saqlash imkoniyatidir.



**1-rasm. LSTM/GRU asosida elektr yuklamasini ketma-ket bashorat qilish arxitekturasini**



Ammo bu yerda yana bir muammo paydo bo'ladi:

**LSTM ketma-ket ma'lumotni qayta ishlaydi va uzoq sequence'larda hisoblash samaradorligi cheklanishi mumkin.**

Shu sababli Transformer arxitekturası energetik vaqt qatorlari uchun muhim alternativaga aylandi.

### **Transformer asosidagi yondashuvlar**

Transformer dastlab tabiiy tilni qayta ishlash uchun ishlab chiqilgan bo'lsa-da, uning **self-attention** mexanizmi vaqt qatorlaridagi uzoq masofali bog'liqliklarni aniqlash imkoniyati sababli energetik prognozlashda ham qo'llanmoqda. Bu yondashuvning asosiy afzalligi shundaki, model vaqt qatorining faqat ketma-ket qo'shni qiymatlariga emas, balki turli vaqt nuqtalari orasidagi bog'liqliklarga ham e'tibor qaratishi mumkin.

Muhim masala: faqat model emas, INPUT ham muhim

Bizning maqolamizning asosiy g'oyasi aynan shu yerda ko'rinadi.

Masalan, ikkita tadqiqot olaylik.

### **Hybrid model**

So'nggi tadqiqotlarda esa bitta model bilan cheklanmasdan, bir nechta arxitekturani birlashtirish tendensiyasi kuzatilmoqda.

Bu yerda:

**CNN** → lokal patternlarni,

**LSTM** → vaqt bo'yicha bog'liqlikni,

**Attention** → muhim vaqt nuqtalarini

aniqlashga xizmat qiladi.

Bunday hybrid architecture'larning asosiy g'oyasi:

**turli AI modellarining kuchli tomonlarini birlashtirish.**

**Bizning tahlilimiz Elektr yuklarni prognozlash bo'yicha adabiyotlarni quyidagicha umumlashtirish mumkin**



| T/r | Model         | Asosiy kuchli tomoni                 | Mos ma'lumot            |
|-----|---------------|--------------------------------------|-------------------------|
| 1.  | Random Forest | Nonlinear relationship               | Structured features     |
| 2.  | XGBoost       | Kuchli feature-based prediction      | Tabular/time-series     |
| 3.  | CNN           | Local patterns                       | Signal/time series      |
| 4.  | LSTM          | Temporal dependency                  | Sequential data         |
| 5.  | GRU           | LSTMga nisbatan yengilroq            | Sequential data         |
| 6.  | Transformer   | Long-range dependency                | Large temporal datasets |
| 7.  | GNN           | Spatial/topological relationship     | Grid/network            |
| 8.  | Hybrid        | Bir nechta xususiyatni birlashtirish | Multisource data        |

Bu jadvaldan muhim xulosa chiqadi:

**AI modellarini faqat accuracy bo'yicha reytingga qo'yish ilmiy jihatdan yetarli emas.**

Chunki ularning har biri ma'lumotning turli xususiyatlarini modellashtirishga moslashgan.

**Bizning birinchi ilmiy xulosamiz:**

Adabiyotlar tahlili asosida elektr yuklamasini prognozlash uchun quyidagi umumiy prinsipni shakllantirish mumkin:

Ma'lumotning vaqt bo'yicha murakkabligi ortgani sari temporal modelling imkoniyatlari kuchliroq bo'lgan arxitekturalarga ehtiyoj ortadi; ma'lumotlar ko'p manbali bo'lsa, feature fusion va attention mexanizmlaridan foydalanish muhimlashadi; elektr tarmog'ining fazoviy/topologik tuzilishi mavjud bo'lsa, GNN kabi graph-based modellar qo'shimcha afzallik berishi mumkin.

Mana shu fikr keyinchalik biz taklif qiladigan **AI model selection framework**ning asosiy qoidalaridan biriga aylanadi.



## Load Forecasting - ilmiy maqolalar taqqoslamasi

| №  | Maqola / muallif                                                                                                                                  | Maqsad                                                                                    | Ma'lumot dataset                                              | Metod model                                                                     | Asosiy yangilik                                                                                 | Natija                                                                               | Cheklov                                                                                                                     |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Chan & Yeo (2024), "A Transformer based approach to electricity load forecasting"                                                                 | RNN/CNN cheklovlarini kamaytirib, uzoq muddatli bog'liqliklarni yaxshiroq modellashtirish | Elektr yuklamasi vaqt qatori                                  | <b>Sparse Transformer</b>                                                       | Transformer self-attention asosida butun vaqt qatoridagi bog'liqliklarni modellashtirish        | Transformer yondashuvi load forecasting uchun samarali ekanini ko'rsatgan            | Transformer katta hisoblash resurslarini talab qilishi mumkin                                                               |
| 2. | Kong et al. (2024), "A Short Term Electricity Load Forecasting Method Based on Residents in Region"                                               | Aholi elektr iste'molini qisqa muddatli prognozlash                                       | Nanjing hududidagi residential load + sana va iqlim omillari  | <b>PCA + XGBoost + LSTM</b>                                                     | PCA orqali muhim featurelarni ajratish va XGBoost/LSTMni birlashtirish                          | CNN, LSTM, GRU va XGBoost-LSTM bilan taqqoslanganda xatolikni kamaytirgan            | Muayyan hudud ma'lumotlariga bog'liqlik mavjud ( <a href="#">Sage Journals</a> )                                            |
| 3. | Li et al. (2024), "Short-term power load forecasting for integrated energy system based on a residual and attentive LSTM-TCN hybrid network"      | Integrated Energy System uchun qisqa muddatli yuklamani prognozlash                       | Integrated energy system load data                            | <b>Residual LSTM + TCN + Attention</b>                                          | LSTM, TCN, residual connection va attentionni birlashtirish                                     | Qisqa muddatli forecasting samaradorligini oshirishga qaratilgan hybrid architecture | Arxitektura murakkabligi oddiy LSTMga qaraganda yuqori ( <a href="#">DOI</a> )                                              |
| 4. | "Short-term power load forecasting based on Seq2Seq model integrating Bayesian optimization, temporal convolutional network and attention" (2024) | Qisqa muddatli load forecasting aniqligini oshirish                                       | <b>Switzerland va Singapore</b> datasetlari                   | <b>SVMD + XGBoost + TCN + CNN + Attention + Seq2Seq + Bayesian Optimization</b> | Signal decomposition, feature selection va model optimizationni yagona pipelinega birlashtirish | Bir nechta baseline modellar bilan tajribada samaradorlik ko'rsatilgan               | Juda ko'p komponentli arxitektura; hisoblash va sozlash murakkabligi yuqori ( <a href="#">Научный Директ</a> )              |
| 5. | Yang et al. (2024), "A novel short-term load forecasting approach for data-poor areas based on K-MIFS-XGBoost and transfer-learning"              | Ma'lumot kam bo'lgan hududlarda load forecasting                                          | Boshqa hududlarning tarixiy load ma'lumotlari + target region | <b>K-MIFS + XGBoost + Transfer Learning + Bayesian Optimization</b>             | Boshqa hudud ma'lumotidan foydalanib data-poor region uchun model yaratish                      | Ikki case studyda boshqa transfer/non-transfer usullaridan ustun natija ko'rsatgan   | Source region va target region o'rtasidagi farq model transferiga ta'sir qilishi mumkin ( <a href="#">Научный Директ</a> )  |
| 6. | "Stacking integration algorithm based on CNN-BiLSTM-Attention with XGBoost for short-term electricity load                                        | Qisqa muddatli forecastingda aniqlik va generalizatsiyani yaxshilash                      | Electricity load time-series                                  | <b>CNN + BiLSTM + Attention + XGBoost + Stacking</b>                            | Deep learning va boosting modelini ensemble sifatida birlashtirish                              | Comparison va sensitivity experiments orqali samaradorligi baholangan                | Model juda murakkab; real-time deployment uchun optimallashtirish talab qilinishi mumkin ( <a href="#">Научный Директ</a> ) |



|    |                                                                                                                                                                            |                                                                                                          |                                                                         |                                                                            |                                                                                                                      |                                                                                              |                                                                                                                                                                             |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | forecasting”<br>(2024)                                                                                                                                                     |                                                                                                          |                                                                         |                                                                            |                                                                                                                      |                                                                                              |                                                                                                                                                                             |
| 7. | Deng (2025),<br>“Short-term<br>power load<br>forecasting based<br>on spatial-<br>temporal<br>dynamic graph<br>and multi-scale<br>Transformer”                              | Ko‘p davriylik<br>va tashqi omillar<br>bilan bog‘liq<br>murakkab load<br>patternlarini<br>modellashirish | Spatial-<br>temporal<br>load data                                       | Dynamic<br>Graph +<br>Multi-scale<br>Transformer                           | Multi-scale<br>Transformer va<br>patch-based<br>encoder orqali<br>turli periodic<br>patternlarni olish               | Spatial-<br>temporal<br>dynamic graph<br>va multi-scale<br>representationni<br>birlashtiradi | Model<br>strukturalari<br>ancha murakkab<br>( <a href="#">OUP Academic</a> )                                                                                                |
| 8. | Mo et al. (2025),<br>“MRGNN:<br>Multi-resolution<br>graph neural<br>network for<br>electricity load<br>forecasting”                                                        | Uzoq vaqt<br>qatorlari, multi-<br>scale pattern va<br>noise<br>muammosini hal<br>qilish                  | Real-world<br>electricity<br>load datasets                              | Multi-<br>Resolution<br>GNN +<br>multi-scale<br>patching +<br>FreDF        | Vaqtning turli<br>masshtablarini va<br>spatial-temporal<br>dependencylarni<br>birlashtirish; time-<br>frequency loss | 96 test<br>holatining 92<br>tasida eng<br>yaxshi natija<br>ko‘rsatgan                        | Dataset<br>ma’lumotlari<br>confidential deb<br>ko‘rsatilgan<br>( <a href="#">Научный Директ</a> )                                                                           |
| 9. | Wang et al.<br>(2025), “Short-<br>term load<br>forecasting<br>method for<br>integrated<br>energy systems<br>based on graph<br>neural network<br>and multi-task<br>balance” | Elektr, issiqlik<br>va sovutish<br>yuklamalarini<br>birgalikda<br>prognozlash                            | Integrated<br>energy<br>system:<br>electricity +<br>heat + cold<br>load | GNN +<br>Multi-task<br>Learning +<br>Multi-level<br>Task-sharing<br>Matrix | Bir nechta load<br>turlari o‘rtasidagi<br>couplingni<br>modellashirish                                               | Multi-energy<br>forecasting<br>uchun yangi<br>framework<br>taklif qilingan                   | Model<br>integrated<br>energy systemga<br>yo‘naltirilgan;<br>oddiy<br>electricity-only<br>casega bevosita<br>ko‘chirish<br>cheklangan<br>( <a href="#">Научный Директ</a> ) |

## Classical / Feature-based ML

### PCA + XGBoost

### K-MIFS + XGBoost

Bu yondashuvlar ayniqsa **ma’lumot kam bo‘lganda** yoki featurelar yaxshi shakllantirilganda foydali.

Masalan, Yang et al. data-poor hududlarda boshqa hudud ma’lumotidan foydalanish uchun transfer learningni XGBoost bilan birlashtirgan.

## Temporal Deep Learning

### LSTM, BiLSTM, TCN, CNN-BiLSTM-Attention

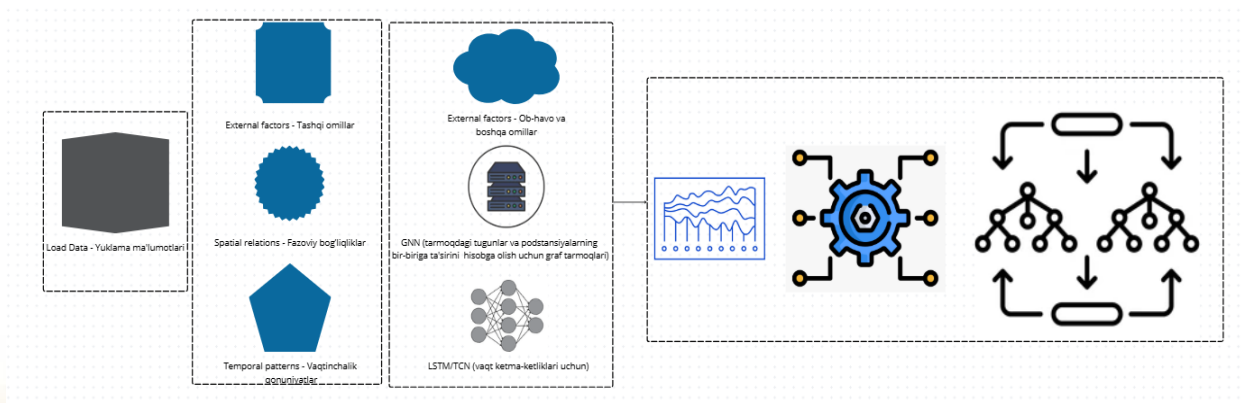
Bu modellar asosiy e’tiborni:

### “Load vaqt davomida qanday o‘zgaradi?”

degan savolga qaratadi.

Masalan, CNN-BiLSTM-Attention + XGBoost stacking modeli turli arxitekturalarning kuchli tomonlarini birlashtirishga harakat qiladi.

Load forecastingda modelning samaradorligi faqat AI algoritmining nomiga emas, balki ma'lumotning vaqt, fazo, chastota va tashqi omillar bilan bog'liq tuzilmasini model qanchalik to'g'ri ifodalay olishiga bog'liq.



## 2-rasm. Ko'p omilli va gibril xususiyatlarni sintez qiluvchi intellektual bashorat frameworki

**Xulosa yoki tavsiyalar:** Mazkur tadqiqotda sun'iy intellekt texnologiyalarining elektr energetika tizimlarida qo'llanilishining zamonaviy yo'nalishlari, foydalanilayotgan modellar va ularning amaliy imkoniyatlari tahlil qilindi. Adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatdiki, sun'iy intellekt elektr yuklamalarini prognozlash, qayta tiklanuvchi energiya manbalarini ishlab chiqarishni baholash, elektr tarmog'idagi nosozliklarni aniqlash, elektr energiyasi sifatini nazorat qilish, texnik xizmat ko'rsatishni prognozlash hamda Smart Grid tizimlarini boshqarish kabi vazifalarda keng qo'llanilmoqda.

Tadqiqot davomida mashinali o'qitish, chuqur o'qitish, CNN, LSTM, GRU, Transformer, GNN va gibril AI modellarining imkoniyatlari taqqoslandi. Tahlil natijalari shuni ko'rsatadiki, **barcha energetik masalalar uchun yagona universal AI modeli mavjud emas**. Modelning samaradorligi energetik vazifaning xususiyati, ma'lumotlarning hajmi va tuzilishi, vaqt va fazoviy bog'liqliklar, tashqi omillar hamda real vaqt rejimida ishlash talablariga sezilarli darajada bog'liq.

Ayniqsa, elektr yuklamalarini prognozlash bo'yicha tadqiqotlar tahlili AI rivojlanishining oddiy feature-based machine learning modellaridan LSTM va CNN kabi deep learning usullariga, undan esa Transformer, GNN va turli gibril arxitekturalarga tomon rivojlanayotganini ko'rsatadi. Bunda asosiy e'tibor faqat



modelning murakkabligini oshirishga emas, balki **ma'lumotlarning vaqtinchalik, fazoviy va boshqa xususiyatlarini to'g'ri ifodalashga** qaratilmoqda.

Tadqiqotning muhim xulosalaridan biri shundaki, AI tizimining samaradorligini faqat accuracy, MAE yoki RMSE kabi yakuniy ko'rsatkichlar bilan baholash yetarli emas. Modelning umumlashtirish qobiliyati, hisoblash murakkabligi, interpretatsiya qilinishi, ma'lumotlarga bo'lgan talabi, kiberxavfsizligi va real energetika infratuzilmasiga integratsiya qilinish imkoniyati ham hisobga olinishi lozim.

Shu asosda maqolada elektr energetikasida AI modelini tanlashning konseptual yondashuvi taklif etildi. Ushbu yondashuvda **energetik muammo → ma'lumot manbasi → ma'lumot reprezentatsiyasi → AI modeli → natijani baholash → amaliy integratsiya** ketma-ketligi asosiy tamoyil sifatida qaraladi. Mazkur yondashuv AI texnologiyasini faqat algoritm sifatida emas, balki ma'lumot, model va energetik vazifaning o'zaro bog'langan yagona tizimi sifatida ko'rib chiqish imkonini beradi.

Umuman olganda, sun'iy intellekt elektr energetika tizimlarining prognozlash, diagnostika, monitoring va boshqaruv imkoniyatlarini sezilarli darajada kengaytirishi mumkin. Biroq AI'ni real energetika tizimlariga joriy etishda ma'lumotlar sifati, modelning ishonchliligi, izohlanishi, kiberxavfsizlik, hisoblash resurslari va real vaqt talablari kabi masalalar hal qilinishi zarur.

Elektr energetikasida sun'iy intellektning samaradorligi faqat "qaysi model eng kuchli?" degan savol bilan belgilanmaydi. Asosiy masala — muayyan energetik vazifa uchun mavjud ma'lumotlarning xususiyatlarini to'g'ri aniqlash, ularni mos reprezentatsiyaga aylantirish va ushbu ma'lumotlar tuzilishiga mos AI arxitekturasini tanlashdir.

Xulosa qilib aytganda, tasvirlarni qayta ishlash jarayonida binarlash usullari muhim bosqichlardan biri hisoblanadi va u tasvirni tahlil qilish samaradorligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. An'anaviy binarlash usullari soddaligi va



tezkorligi bilan ajralib tursa-da, ular murakkab va shovqinli tasvirlarda yetarli darajada samarali emas.

Sun'iy intellekt asosidagi yondashuvlar esa tasvirlarni chuqur tahlil qilish, moslashuvchan threshold tanlash va yuqori aniqlikda natijalar olish imkonini beradi. Shu sababli, zamonaviy tasvirlarni qayta ishlash tizimlarida sun'iy intellektdan foydalanish istiqbolli yo'nalish hisoblanadi.

Kelajakda sun'iy intellekt asosidagi binarlash usullarini yanada takomillashtirish, real vaqt rejimida ishlaydigan tizimlarga joriy etish hamda kam sifatli tasvirlar bilan ishlash samaradorligini oshirish muhim ilmiy yo'nalishlardan biri bo'lib qoladi.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI.

1. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. – *Deep Learning* (2016) page 10, 14, 78, 109, 111.
2. Duda, R. O., Hart, P. E., & Stork, D. G. - *Pattern Classification* (2000): page 17,16, 53, 58.
3. Journal of Speech, Language, and Hearing Research.
4. Automatic Speech Emotion Recognition Using Machine Learning: Digital Transformation of Mental Health.
5. Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 32, 5-23, 33-45.
6. Cover, T., & Hart, P. (1967). Nearest neighbor pattern classification. *IEEE Transactions on Information Theory*, 11(2), 13-24, 25-39.
- 7 .Machine Learning for Absolute Beginners: A Plain English Introduction (Third Edition).page 11, 13, 87, 93, 97.