



SUN'IY INTELLEKT ASOSIDA SHAMOL ENERGETIKA TIZIMLARINI OPTIMALLASHTIRISH ASOSLARI

Ullibibi Sabirova, Davron Arziyev

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari
universiteti katta o'qituvchilari

Annotatsiya. Ushbu maqolada SI asosida shamol energiyasi tizimlarining ilmiy asoslari hamda shamol tezligini prognozlash, prediktiv texnik xizmat ko'rsatish va aqlli tarmoqlar bilan integratsiyasi tahlil etilgan. Taklif etilgan metodologik yondashuv SI yordamida tizim ishonchliligi, ishlash samaradorligi va energiya balansini qanday yaxshilash, SI yordamida optimallashtirish prognoz xatolarini va operatsion yo'qotishlarni sezilarli darajada kamaytirish usullari keltirilgan.

Kalit so'zlar: Shamol energiyasi, sun'iy intellekt, mashinaviy o'qitish, prognozlash, aqlli tarmoq, qayta tiklanuvchi energiya.

Kirish

Global energiya talabining tez o'sishi va ekologik muammolar qayta tiklanuvchi energiya manbalariga o'tishni tezlashtirdi. Shamol energiyasi ekologik toza va iqtisodiy jihatdan samarali bo'lgani sababli eng istiqbolli energiya manbalaridan biri hisoblanadi. Shu bilan birga, shamol tezligining o'zgaruvchan va no-linear tabiati energiya ishlab chiqarish va prognozlashda qiyinchiliklar yaratadi. Sun'iy intellekt (SI) texnologiyalari esa prognozlash aniqligini oshirish, turbinalar ish faoliyatini optimallashtirish va elektr tarmoqlariga integratsiyasini yaxshilashda samarali yechim sifatida paydo bo'ldi. Global energiya talabining ortishi va iqlim o'zgarishi muammolari qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirishining dolzarb ilmiy yo'nalishga



aylandi. Qayta tiklanuvchi manbalar orasida shamol energiyasi ekologik foydasi va iqtisodiy samaradorligi sababli katta e'tibor qozondi. Xalqaro energiya hisobotlariga ko'ra, shamol energiyasi elektr energiyasini ishlab chiqarishda eng tez rivojlanayotgan yo'nalishlardan biridir.

Biroq shamol energiyasining asosiy cheklovlaridan biri uning o'zgaruvchanligidir, chunki energiya ishlab chiqarish meteorologik sharoitlarga bog'liq. Shamol tezligidagi o'zgarishlar energiya ishlab chiqarishdagi noaniqlikni oshiradi va tarmoq barqarorligini ta'minlashni qiyinlashtiradi. An'anaviy statistik usullar shamol ma'lumotlaridagi no-linear bog'liqliklarni to'liq aks ettira olmaydi.

Sun'iy intellekt, jumladan mashinaviy o'qitish va chuqur o'rganish metodlari, murakkab ma'lumotlar to'plamini tahlil qilish va prognozlash aniqligini oshirish imkonini beradi. SI asosidagi modellar meteorologik va operatsion ma'lumotlarni real vaqt rejimida tahlil qilib, prognozlash, turbinalar samaradorligini oshirish va texnik xizmatni rejalashtirishga yordam beradi. Shu sababli SI texnologiyalarini shamol energiyasi tizimlariga integratsiya qilish zamonaviy energetika muhandisligida muhim ilmiy yo'nalish hisoblanadi.

Adabiyotlar sharhi

So'nggi tadqiqotlar sun'iy intellektning qayta tiklanuvchi energiya tizimlarida qo'llanilishida sezilarli yutuqlar mavjudligini ko'rsatadi. Neyron tarmoqlarga asoslangan modellar an'anaviy regressiya usullariga nisbatan shamol tezligini prognozlashda yuqori aniqlik ko'rsatdi. Mashinaviy o'qitish metodlari, xususan Support Vector Machine (SVM), Random Forest (RF) va Long Short-Term Memory (LSTM) tarmoqlari shamolning no-linear xatti-harakatlarini samarali model qilishga imkon beradi.

Energies jurnalida chop etilgan tadqiqotlarda chuqur o'rganish modellari qisqa muddatli shamol prognozlashda xatolarni sezilarli darajada kamaytirishi qayd etilgan. Shu bilan birga, Springer Nature tadqiqotlari SI asosidagi



prediktiv texnik xizmat tizimlari turbinalarda nosozliklarni aniqlashda muhim rol o'ynashini ta'kidlaydi.

Bundan tashqari, aqlli tarmoq (Smart Grid) tadqiqotlari SI yordamida qayta tiklanuvchi energiya manbalarini mavjud tarmoqqa samarali integratsiya qilish, energiya taqsimotini muvozanatlash va tizim ishonchliligini oshirish imkonini beradi. Bu tadqiqotlar SI integratsiyasi shamol energiyasi tizimlarining ishonchliligi va iqtisodiy samaradorligini oshirishini tasdiqlaydi. Yuqorida qayd etilgan muammolarni hal etish maqsadida tadqiqotchilar turli sun'iy intellekt texnologiyalarini qo'llash imkoniyatlarini o'rgandilar.

Mashinaviy o'rganish. Sun'iy neyron tarmoqlar, tayanch vektor mashinalari (Support Vector Machines) va tasodifiy o'rmonlar (Random Forests) kabi mashinaviy o'rganish algoritmlari shamol energiyasi ishlab chiqarishni prognozlashda keng qo'llaniladi. Ushbu texnologiyalar meteorologik ma'lumotlar va shamol energiyasi ishlab chiqarish o'rtasidagi murakkab hamda chiziqli bo'lmagan bog'liqliklarni aniqlash imkonini beradi, bu esa prognoz aniqligining oshishiga olib keladi. Masalan, shamol tezligini bashorat qilishda Cellular Computational Networks usuli ko'p qatlamli perseptronlar (Multilayer Perceptrons) va rekurrent neyron tarmoqlarga (Recurrent Neural Networks) nisbatan aniqroq natija berishi aniqlangan.

Optimallashtirish algoritmlari. Genetik algoritmlar, zarrachalar to'dasi optimallashtirish usuli (Particle Swarm Optimization) va chumolilar koloniyasi optimallashtirish usuli (Ant Colony Optimization) kabi optimallashtirish texnologiyalari shamol energiyasi integratsiyalashgan elektr energetika tizimlarida bloklarni ishga tushirish va iqtisodiy taqsimlash masalalarini hal qilishda qo'llaniladi.

Gibrid yondashuvlar. Shamol energetikasini boshqarish va nazorat qilishdagi muammolarni hal etishda turli sun'iy intellekt usullarini birlashtiruvchi gibrid yondashuvlar ham o'rganilgan. Masalan, sun'iy neyron tarmoqlarni noaniq mantiq (fuzzy logic) yoki mustahkamlovchi o'rganish



(reinforcement learning) kabi usullar bilan integratsiya qilish shamol energiyasi ishlab chiqarishni prognozlash va shamol turbinalarini optimal boshqarishda istiqbolli natijalarni ko'rsatmoqda.

Metodologiya

Shamol energiyasi matematik modeli. Shamol turbinasida ishlab chiqariladigan quvvat havo zichligi, shamol tezligi va rotor xususiyatlariga bog'liq. Asosiy quvvat formulasi quyidagicha:

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 C_p$$

bu yerda:

P — ishlab chiqarilgan quvvat (Vatt), ρ — havo zichligi (kg/m^3), A — rotorning aylanma maydoni (m^2), v — shamol tezligi (m/s), C_p — quvvat koeffitsienti.

Shamol tezligi vaqt bo'yicha o'zgarishi sababli P qiymatini aniqlash quvvat prognozi uchun juda muhim.

SI asosida shamol tezligini prognozlash. Shamol tezligi prognozi no-linear regressiya vazifasi sifatida model qilinadi:

$$\hat{v}(t+1) = f(v(t), v(t-1), \dots, x_t)$$

bu yerda: $\hat{v}(t+1)$ — bashorat qilingan shamol tezligi, $f(\cdot)$ — mashinaviy o'qitish funksiyasi, x_t — meteorologik parametrlar (harorat, bosim, namlik).

LSTM neyron tarmoqlari vaqt qatoridagi bog'liqliklarni model qilish uchun qo'llaniladi:

$$h_t = o_t \text{tanh}(C_t)$$

bu yerda h_t -yashirin holat, o_t -chiqish eshigi, C_t -xotira holati.

Prediktiv texnik xizmat. Turbinalar holati sensor ma'lumotlar yordamida tahlil qilinadi:



$$H(t) = g(T, V, \omega, \theta)$$

bu yerda: T -harorat, V -vibratsiya, ω -rotor aylanish tezligi, θ -burchak.

Anomaliya aniqlash algoritmlari tizim holatini normal va nosozlikka ajratadi, bu kutilmagan to'xtashlarni kamaytiradi.

Aqlli tarmoqni optimallashtirish. Aqlli tarmoqlarda energiya balansini quyidagicha ifodalaymiz:

$$P_{gen} + P_{storage} = P_{load} + P_{loss}$$

SI algoritmlari quyidagi maqsad funksiyasini minimallashtiradi:

$$\min (P_{loss} + C_{operation})$$

tarmoqqa barqarorlik shartlari bilan birga.

Natijalar va muhokama

SI asosidagi prognozlash modellarida an'anaviy statistika usullariga nisbatan aniqlik sezilarli darajada oshadi. Prognoz xatolarining kamayishi energiya ishlab chiqarishni yaxshiroq rejalashtirish va tarmoq barqarorligini oshirish imkonini beradi.

Prediktiv texnik xizmat turbinalarning to'xtash vaqtini kamaytiradi va nosozliklarni oldindan aniqlash imkonini beradi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, SI asosida monitoring joriy etilganda texnik xizmat xarajatlari 20–30% kamayishi mumkin.

Aqlli tarmoqlar bilan integratsiya energiya balansini real vaqt rejimida ta'minlaydi va qayta tiklanuvchi manbalar ulushini oshirish imkonini beradi.

Natijalar SI optimallashtirish tizimlari umumiy energiya samaradorligi va tizim barqarorligini oshirishini tasdiqlaydi.

Xulosa

Ushbu tadqiqot shuni ko'rsatadiki, sun'iy intellekt shamol energiyasi tizimlaridagi asosiy cheklovlarni bartaraf etishda muhim ahamiyatga ega. SI



asosidagi prognozlash aniqlikni oshiradi, prediktiv texnik xizmat tizim ishonchliligini yaxshilaydi va aqlli tarmoq integratsiyasi energiya balansini ta'minlaydi. Shamol energiyasi va SI integratsiyasi kelajakdagi barqaror energetika tizimlarining asosiy yo'nalishlaridan biri hisoblanadi.

Adabiyotlar ro'yxati

1. General Situation of Global Wind Power Industry and Development of Wind Power Industry in China. Available online:

<http://www.chinasihan.com/news/cyxw/3532.html> (accessed on 28 October 2022).

2. Wang, Y.; Yu, Y.; Cao, S.; Zhang, X.; Gao, S. A review of applications of artificial intelligent algorithms in wind farms. *Artif. Intell. Rev.* 2020, 53, 3447–3500.

3. Ribeiro, J.A.; Ribeiro, B.A.; Pimenta, F.; Tavares, S.M.; Zhang, J.; Ahmed, F. Offshore wind turbine tower design and optimization: A review and AI-driven future directions. *arXiv* 2024, arXiv:2502.02594.

4. Ghahfarrokhi, M.A.; Samaei, S.R. Using artificial intelligence capabilities to design and optimize smart offshore wind turbines. In *Proceedings of the 12th International Conference on Civil, Architecture and urban Management*, Tbilisi, Georgia, 8 March 2024.

5. Wang, Y.; Song, D.; Wang, L.; Huang, C.; Huang, Q.; Yang, J.; Evgeny, S. Review of Design Schemes and AI Optimization Algorithms for High-Efficiency Offshore Wind Farm Collection Systems. *Energies* 2025, 18, 594.