ELEKTR TRANSPORT VOSITALARI ZARYADLASH JARAYONI VA QUYOSH ELEKTR STANSIYALARI ISHLASHINI PROGNOZLASH ASOSIDA ELEKTR TAQSIMLASH TARMOQLARIDA MAKSIMAL YUKLAMANI KAMAYTIRISH USULINI TAKOMILLASHTIRISH

Rashidov Jahongir O'tkir o'g'li, *"TIQXMMI" Milliy Tadqiqot Universiteti, magistr*
E-mail: @jahongirrashidov210404@gmail.com, tel.: +998932257505

Annotatsiya. Ushbu tezisda elektr transport vositalari (ETV) zaryadlash yuklamasi va quyosh generatsiyasini qisqa muddatga prognozlash hamda prognoz natijasida zaryadlash vaqtini siljitish orqali taqsimlash tarmog'idagi cho'qqi yuklamani kamaytirish usuli ko'rib chiqiladi. Prognoz uchun chuqur o'rganishning LSTM turidagi tarmog'i qo'llanadi. Usulning yangi tomonlari uchta. Birinchidan, yuklama, ETV talabi va quyosh generatsiyasi bitta «sof yuklama» ko'rsatkichiga keltirilib, birgalikda bashorat qilinadi. Ikkinchidan, zaryadlash jadvali sof yuklamasi past soatlarga qarab tuziladi va bunda har bir ETV uchun ketish vaqtigacha talab qilingan zaryad darajasi saqlanadi. Uchinchidan, prognoz sifati faqat xatolik ko'rsatkichlari bilan emas, tarmoq natijalari (cho'qqi yuklama, transformator yuklamasi) bilan ham baholanadi.

Kalit so'zlar: elektr transport vositalari, yuklamani prognozlash, quyosh generatsiyasi, LSTM, cho'qqi yuklamani kamaytirish, taqsimlash tarmog'i, sof yuklama.

Kirish. ETV sonining ortishi taqsimlash tarmoqlarida yangi yuklama turini yuzaga keltirmoqda. Bu yuklama vaqt bo'yicha tekis taqsimlanmaydi: foydalanuvchilar odatda ishdan qaytgach, kechki soatlarda zaryadlashni boshlaydi va bu mavjud maishiy yuklama cho'qqisiga to'g'ri keladi [3]. Quyosh elektr stansiyalari esa asosan kunduzi ishlaydi. Natijada kunduzi quvvat ortiqcha, kechqurun esa tanqis bo'lib qoladi.

Zaryadlashni oldindan rejalashtirish uchun kelgusi soatlardagi yuklama, quyosh generatsiyasi va ETV talabini bilish kerak. Statistik va oddiy modellar bu kattaliklarning

nochiziqli, ob-havoga bog‘liq o‘zgarishini yetarli aniqlikda ifodalay olmasligi mumkin. LSTM turidagi tarmoqlar esa vaqt qatorlaridagi uzoq muddatli bog‘liqliklarni o‘rganishga mo‘ljallangan [2]. Biroq mavjud ishlarda prognoz aniqligi ko‘pincha alohida ko‘riladi, uning tarmoq ko‘rsatkichlariga ta’siri kamroq baholanadi. Shuning uchun tadqiqot maqsadi ETV yuklamasi va quyosh generatsiyasini prognozlashni zaryadlash jadvalini tuzish bilan bog‘lab, cho‘qqi yuklamani kamaytirish usulini asoslashdan iborat.

Asosiy qism. *Masalaning qo‘yilishi.* Taqsimlash tarmog‘ining har bir t vaqt oralig‘ida sof yuklama quyidagicha aniqlanadi:

$$P_sof(t) = P_yuklama(t) + P_ETV(t) - P_quyosh(t)$$

bunda P_yuklama maishiy va tijorat yuklamasi, P_ETV zaryadlash quvvati, P_quyosh esa quyosh generatsiyasi. Maqsad kun davomida P_sof ning eng katta qiymatini kamaytirishdir. Cheklovlar:

– har bir ETV uchun zaryadlash quvvati uskuna chegarasidan oshmaydi;

– batareya zaryadi (SOC) ketish vaqtigacha foydalanuvchi talab qilgan darajaga yetadi;

– transformator va liniya yuklamasi nominal qiymatdan oshmaydi;

– kuchlanish ruxsat etilgan oraliqda saqlanadi.

Ma’lumotlarni tayyorlash. Prognoz uchun tarixiy yuklama, quyosh nurlanishi va harorat, hafta kuni va soat kabi vaqt belgilari hamda ETV zaryadlash seanslari ma’lumotlari ishlatiladi. Zaryadlash seanslari uchun ochiq ma’lumotlar to‘plamidan foydalanish mumkin [4]. Ma’lumotlar me’yorlashtiriladi, yetishmayotgan qiymatlar to‘ldiriladi va o‘rgatish, tekshirish hamda sinov qismlariga vaqt tartibi saqlangan holda ajratiladi.

Prognozlash modeli. Kiruvchi ma’lumot sifatida oxirgi bir necha sutkaning soatbay qiymatlari beriladi. LSTM qatlamlari keyingi 24 soat uchun yuklama, ETV talabi

va quyosh generatsiyasini chiqaradi. Model sifati MAE, RMSE va MAPE ko‘rsatkichlari bilan o‘lchanadi [5] va doimiylik hamda mavsumiy modellar bilan solishtiriladi.

Zaryadlash jadvalini tuzish. Prognozlangan P_sof bo‘yicha qiymati yuqori soatlar aniqlanadi. Zaryadlash imkon qadar P_sof past soatlarga, ya’ni kunduzgi quyosh generatsiyasi ko‘p va kechki yuklama kam vaqtlarga siljitiladi. Siljitish ETVning kelish va ketish vaqti hamda talab qilingan SOC bilan cheklanadi, ya’ni foydalanuvchi uchun ketish vaqtida zaryad yetarli bo‘lishi birinchi o‘rinda turadi. Jadval quvvat oqimi hisobi bilan tekshiriladi va cheklov buzilsa tuzatiladi.

Ish algoritmi (psevdokod).

```
har bir vaqt oralig‘i t uchun:
    yuklama_p, quyosh_p, etv_p = LSTM(tarix_oyna)
    sof_yuklama = yuklama_p + etv_p - quyosh_p
    jadval = zaryadlash_rejasi(sof_yuklama, SOC, ketish_vaqti)
    natija = quvvat_oqimi(jadval)
    agar natija cheklovlarni buzsa:
        jadval = tuzatish(jadval)
    qo‘llash(jadval)
    haqiqiy_qiymatlar_bilan_modelni_yangilash()
```

Tekshirish rejasi. Usulni IEEE 33-tugunli standart taqsimlash tarmog‘i modelida sinash taklif etiladi. Uch rejim solishtiriladi: (a) prognozsiz, nazoratsiz zaryadlash, (b) oddiy bazaviy modelga asoslangan zaryadlash, (v) LSTM prognoziga asoslangan zaryadlash. Baholash mezonlari 1-jadvalda keltirilgan. Prognozga sun’iy shovqin qo‘shib, usul xatolikka qanchalik bardoshli ekani ham tekshiriladi.

1-jadval

Samaradorlikni baholash mezonlari

Mezon	**Ko‘rsatkich**	**Baholash vositasi**
Prognoz aniqligi	MAE, RMSE va MAPE ko‘rsatkichlari	Test tanlanmasi
Bazaviy modellar bilan solishtirish	Xatolikning doimiylik va mavsumiy modellarga nisbatan kamayishi	Taqqoslash jadvali
Cho‘qqi yuklamani kamaytirish	Cho‘qqi quvvatning prognozsiz zaryadlashga nisbatan o‘zgarishi	Quvvat oqimi hisobi
Qayta tiklanuvchi energiyadan foydalanish	Zaryadlashga yo‘naltirilgan quyosh generatsiyasi ulushi	Energiya balansi
Transformator yuklamasi	Nominal quvvatdan oshgan vaqt ulushi	Simulyatsiya natijalari
Foydalanuvchi talabi	Ketish vaqtida talab qilingan SOCga erishgan ETVlar ulushi	Zaryadlash jurnali
Prognoz xatosiga bardoshlilik	Prognozga shovqin qo‘shilganda ko‘rsatkichlarning o‘zgarishi	Sezgirlik tahlili

Natijalar turli fasllar va ETV soni uchun takrorlanadi va statistik usullar bilan qayta ishlanadi.

Xulosa. Taklif etilgan usul ETV zaryadlash yuklamasi va quyosh generatsiyasini LSTM yordamida prognozlashni zaryadlash jadvalini tuzish bilan bog‘laydi. Sof yuklama ko‘rsatkichi orqali kunduzgi ortiqcha generatsiya va kechki cho‘qqi yuklama bitta masalada ko‘riladi, foydalanuvchi talabi esa cheklov sifatida saqlanadi. Usulning ilmiy-metodik yangiligi prognoz sifatining tarmoq ko‘rsatkichlariga ta’sirini baholashda. Shu bilan birga, usulning samaradorligi hozircha nazariy asoslangan va simulyatsiya hamda real ma’lumotlar bilan tasdiqlanishi kerak. Keyingi tadqiqotlarda boshqa prognozlash modellarini (masalan, transformer turidagi) sinash, ETVdan tarmoqqa energiya qaytarish (V2G) imkoniyatini qo‘shish va mahalliy iqlim sharoitlariga moslashtirish rejalashtirilgan.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2024-yil 14-oktabrdagi PQ-358-son «Sun’iy intellekt texnologiyalarini 2030-yilga qadar rivojlantirish strategiyasini tasdiqlash to‘g‘risida»gi qarori. Lex.uz milliy qonunchilik ma’lumotlari bazasi.
2. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long short-term memory // Neural Computation, 1997, 9(8), 1735–1780.
3. Clement-Nyns K., Haesen E., Driesen J. The impact of charging plug-in hybrid electric vehicles on a residential distribution grid // IEEE Transactions on Power Systems, 2010, 25(1), 371–380.
4. Lee Z.J., Li T., Low S.H. ACN-Data: Analysis and applications of an open EV charging dataset // Proceedings of ACM e-Energy, 2019.
5. Hyndman R.J., Koehler A.B. Another look at measures of forecast accuracy // International Journal of Forecasting, 2006, 22(4), 679–688.
6. [O‘zbekiston quyosh energetikasi yoki ETV sohasidagi qaror/hisobot - Lex.uz yoki Energetika vazirligi manbasi.]