

QUYOSH GENERATSIYASI VA BINO YUKLAMASINI HISOGBA OLGAN HOLDA ELEKTROMOBIL QUVVATLASHNI BOSHQARISH USULI

Botirov Shoxrux Mannanovich

Tel nomer: +998881553003

Elektron pochta: shox.9976@gmail.com

Annotatsiya. Tezisda quyosh fotoelektr (FE) generatsiyasi va bino yuklamasi prognozini hisobga oluvchi elektromobil quvvatlashni boshqarish usuli taklif etilgan: u chiziqli dasturlash orqali tarmoqdan olinadigan energiya va quvvatni kamaytiradi hamda har bir mashina ketish vaqtigacha to'liq quvvatlanishini kafolatlaydi. Toshkentdagi idoraviy bino, 100 kVt (pik) FE tizimi va 20 ta elektromobil uchun hisob yillik maksimal tarmoq quvvati 194,2 kVt dan 75,9 kVt gacha (60,9 %) pasayishini, o'z iste'moli ulushi esa 83,9 % dan 85,2 % gacha oshishini ko'rsatdi. Ish kunlarida FE energiyasining elektromobilga ulushi 4,2 % ga teng; dam olish kunlari ochiq quvvatlash joriy etilsa, u 15,6 % ga yetadi.

Kalit so'zlar: elektromobil; quvvatlashni boshqarish; quyosh fotoelektr tizimi; yuklamani muvofiqlashtirish; chiziqli dasturlash.

Abstract. The thesis proposes an electric vehicle (EV) charging control method that accounts for solar PV generation and building load: a linear program reduces grid import energy and peak power while guaranteeing that every vehicle is fully charged by its departure time. For an office building in Tashkent with a 100 kWp PV system and 20 EVs, annual peak grid power falls from 194.2 kW to 75.9 kW (60.9 %), and the self-consumption ratio rises from 83.9 % to 85.2 %. The PV share of EV energy is 4.2 % on weekdays and reaches 15.6 % when weekend public charging is introduced.

Keywords: *electric vehicle; charging control; solar photovoltaic system; load matching; linear programming.*

KIRISH

Elektromobillar (EM) sonining ortishi bino elektr tarmoqlariga yangi, yuqori quvvatli va vaqt bo'yicha mujassamlashgan yuklama qo'shmoqda. Ish joyida boshqarilmaydigan quvvatlashda barcha EM ish kuni boshida bir vaqtda ulanadi va tarmoq yuklamasining keskin cho'qqisini hosil qiladi; koordinatsiyalangan quvvatlash esa bu cho'qqini kamaytirishi mumkinligi ko'rsatilgan [1–3]. Binoning tomidagi quyosh fotoelektr (FE) tizimi bilan qo'shilganda quvvatlash grafigini FE generatsiyasiga moslab, tarmoqdan olinadigan energiya va quvvatni qisqartirish imkoni paydo bo'ladi [4].

Biroq idoraviy binolarda FE generatsiyasining katta qismi ish kunlarida bino yuklamasining o'zi tomonidan ishlatilib bo'ladi, ortiqcha energiya esa asosan dam olish kunlarida, EM park bo'lgan paytda emas, paydo bo'ladi [5]. Shu sababli EM quvvatlashni boshqarish usuli FE generatsiyasini ham, bino yuklamasini ham bir vaqtda hisobga olishi, ish va dam olish kunlari rejimlarini ajrata olishi lozim. Bunday ikki shartli yondashuvning amaliy samarasi sutkalik muvofiqlik ko'rsatkichlari [6] bilan miqdoriy baholanmagan.

Tadqiqotning maqsadi FE generatsiyasi va bino yuklamasi prognozini hisobga oluvchi, EM ketish vaqtidagi energiya talabini kafolatlovchi quvvatlashni boshqarish usulini ishlab chiqish va uning tarmoq quvvati hamda o'z iste'moli ko'rsatkichlariga ta'sirini baholashdir.

MATERIALLAR VA USULLAR

Obyekt sifatida Toshkent sharoitidagi ($41,3^\circ$ sh.k.) yillik iste'moli ≈ 275 MVt soat bo'lgan idoraviy bino va uning tomidagi 100 kVt (pik) FE

tizimi olindi; soatlik generatsiya va yuklama profillari avvalgi hisob modelidan olindi (yillik FE ishlab chiqarish 149,0 MVt soat). Ish kunlari uchun 20 ta xodim EM parki qabul qilindi: quvvatlash qurilmasining quvvati 7,4 kVt (bir fazali, 32 A, IEC 61851-1 [7]), kelish vaqti $N(8,75; 0,6^2)$ soat, ketish vaqti $N(17,25; 0,6^2)$ soat, har bir EM uchun kunlik energiya talabi 8–20 kVt soat oralig'ida tekis taqsimlangan (o'rtacha 14 kVt soat). Dam olish kunlari uchun 8 ta tashqi foydalanuvchi EM ochiq quvvatlashi ko'rib chiqildi (kelish 10:00–12:00, turish 3–5 soat, 10–22 kVt soat).

Boshqarish usuli sutka oldidan prognoz bo'yicha tarmoqdan olinadigan quvvatni minimallashtiruvchi chiziqli dasturlash masalasi sifatida shakllantirildi (vaqt qadami $\Delta t = 15$ daqiqa). O'zgaruvchilar — i -chi EM ning quvvatlash quvvati $p_i(t)$, tarmoqdan olinadigan quvvat $P_{\text{imp}}(t)$ va uning sutkalik maksimumi P_{max} :

$$\min \sum_t P_{\text{imp}}(t)\Delta t + w \cdot P_{\text{max}} \quad (1)$$

$$P_{\text{imp}}(t) \geq P_L(t) + \sum_i p_i(t) - P_{\text{FE}}(t), \quad P_{\text{max}} \geq P_{\text{imp}}(t) \quad (2)$$

$$\sum_t p_i(t)\Delta t = E_i, \quad t \in [t_i^a, t_i^d], \quad 0 \leq p_i(t) \leq P_{\text{ch}} \quad (3)$$

bu yerda P_L , P_{FE} — bino yuklamasi va FE generatsiyasi prognozi; t_i^a , t_i^d — i -chi EM ning kelish va ketish vaqti; E_i — talab qilinadigan energiya; $P_{\text{ch}} = 7,4$ kVt; $w = 10$ kVt soat/kVt — quvvat cho'qqisining vazn koeffitsiyenti. Birinchi had FE generatsiyasi mavjud soatlarda quvvatlashni afzal ko'radi, ikkinchi had cho'qqini tekislaydi, (3) cheklov esa har bir EM ning ketish vaqtigacha to'liq quvvatlanishini kafolatlaydi. Masala HiGHS yechuvchisi bilan hal qilindi. Taqqoslash uchun stsenariylar: A — EM yo'q; B — boshqarilmaydigan quvvatlash (ulanishdan boshlab 7,4 kVt); C — taklif etilgan usul (ish kunlari); D — C ga qo'shimcha dam olish kunlari ochiq quvvatlash. Muvofiqlik SCR va

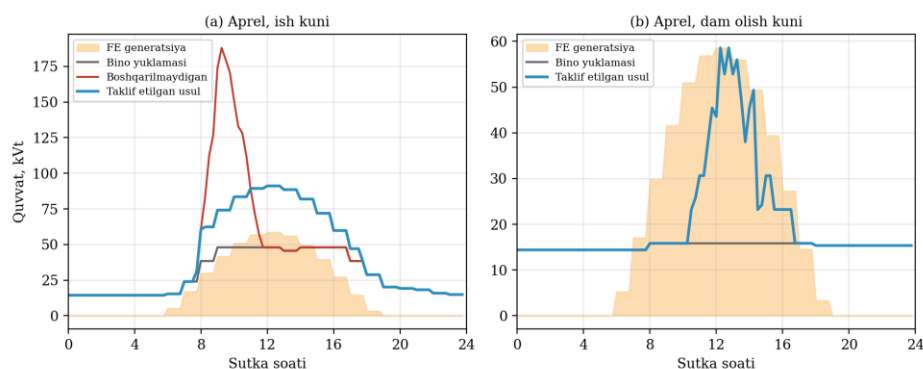
SSR [6], shuningdek FE energiyasining EM ga yo‘naltirilgan ulushi bilan baholandi:

$$\eta_{FE-EM} = (E_{self} - E_{self,A}) / E_{EM} \times 100 \% \quad (4)$$

bu yerda E_{self} — bino va EM tomonidan ishlatilgan FE energiyasi; SSR ning maxrajiga EM energiyasi ham kiritildi. Natijalar har oyning ish kuni uchun 6 ta, dam olish kuni uchun 4 ta tasodifiy EM parki realizatsiyasi bo‘yicha o‘rtalashtirildi va yillik kunlar tarkibiga (5/7 va 2/7) keltirildi. Usulning prognoz xatosiga chidamliligi uchun reja FE prognozi $\pm 10\%$ xato bilan tuzilib, haqiqiy generatsiyada baholandi.

TADQIQOT NATIJALARI

1-rasmda aprel oyi uchun jami yuklama (bino va EM) profillari keltirilgan. Boshqarilmaydigan quvvatlashda EM ning ommaviy ulanishi soat 09:00 atrofida jami yuklamani ≈ 190 kVt gacha oshiradi, taklif etilgan usulda esa quvvatlash FE generatsiyasi mavjud kunduzgi soatlarga taqsimlanadi va maksimum ≈ 91 kVt ga teng. Dam olish kunida (1b-rasm) ochiq quvvatlash yuklamasi to‘liq FE generatsiyasi cho‘qqisiga joylashadi.



1-rasm. Aprel oyi: (a) ish kuni, (b) dam olish kuni uchun bino va EM jami yuklamasi (100 kVt (pik) FE)

Yillik natijalar 1-jadvalda keltirilgan. Boshqarilmaydigan quvvatlashda (B) yillik maksimal tarmoq quvvati 194,2 kVt ga yetadi, bu

EM siz holatdan (59,6 kVt) 134,6 kVt ga ko‘p. Taklif etilgan usul (C) maksimumni 75,9 kVt gacha, ya’ni 60,9 % ga kamaytiradi va bir vaqtda SCR ni 83,9 % dan 85,2 % gacha oshiradi. Ish kunlarida FE energiyasining EM ga yo‘naltirilgan ulushi kichik ($\eta_{FE-EM} = 4,2 \%$), chunki generatsiyaning katta qismi binoning o‘z yuklamasi bilan band. Dam olish kunlari ochiq quvvatlash (D) joriy etilganda esa SCR 92,2 % ga (A ga nisbatan +9,1 f.b.), η_{FE-EM} 15,6 % ga oshadi; shu rejim boshqarilmaganda SCR 90,3 % ni tashkil etadi. FE prognozi $\pm 10 \%$ xato bilan berilganda SCR o‘zgarmadi (85,2 %), maksimal quvvat esa 77,5–77,1 kVt gacha ortdi.

1-jadval. Stsenariylar bo‘yicha yillik ko‘rsatkichlar

Ko‘rsatkich	A	B	C	D
EM energiyasi, MVt soat/yil	0,0	72,6	72,6	86,3
Tarmoqdan olingan energiya, MVt soat/yil	151,3	222,8	220,9	224,1
SCR, %	83,2	83,9	85,2	92,2
SSR (EM bilan), %	45,0	36,0	36,5	38,0
η_{FE-EM} , %	—	1,5	4,2	15,6
Yillik maks. tarmoq quvvati, kVt	59,6	194,2	75,9	75,4
$\Delta P_{\max}$ (A ga nisbatan), kVt	+0,0	+134,6	+16,3	+15,8

EM parki hajmiga sezgirlik 2-jadvalda keltirilgan. EM soni 10 dan 40 gacha oshganda boshqarilmaydigan quvvatlashda maksimal quvvat 123,4 dan 314,3 kVt gacha o‘sadi, taklif etilgan usulda esa 60,4 dan 103,0 kVt gacha; kamayish ulushi 51,1–67,2 % oralig‘ida saqlanadi. SCR barcha hajmlarda 85,2 % da qoladi: ish kunlaridagi ortiqcha FE energiyasi 10 ta EM bilan ham to‘liq o‘zlashtiriladi, park kengayishi esa 8,4 dan 2,1 % gacha η_{FE-EM} ning kamayishiga olib keladi, chunki FE energiyasining o‘zgarmas hajmi ko‘proq EM ga taqsimlanadi.

2-jadval. EM parki hajmiga sezgirlik (taklif etilgan usul va boshqarilmaydigan quvvatlash)

EM soni	E_{EM} , MVt·s/yil	P_{max}^B , kVt	P_{max}^C , kVt	Kamayish, %	SCR _C , %	η_{FE-EM} , %
10	36,5	123,4	60,4	51,1	85,2	8,4
20	72,6	194,2	75,9	60,9	85,2	4,2
30	109,5	271,4	94,0	65,4	85,2	2,8
40	146,5	314,3	103,0	67,2	85,2	2,1

MUHOKAMA

Natijalar usulning ikki xil ta'sirini ajratib ko'rsatadi. Birinchisi ish kunlaridagi quvvat tekislanishi: tarmoq quvvati cho'qqisining taxminan 2,6 baravar kamayishi EM ni ulash uchun transformator va kabel quvvatini oshirish zaruratini bartaraf etadi, bu koordinatsiyalangan quvvatlash bo'yicha adabiyotdagi xulosalarga mos [2, 3]. Ikkinchisi FE energiyasidan foydalanish: ish kunlarida u cheklangan, chunki generatsiya binoning o'z yuklamasiga sarflanadi, shuning uchun EM quvvatlashni FE ga bog'lashning asosiy zaxirasi dam olish kunlaridagi ortiqcha energiyada. Usulning cheklovlari: ketish va kelish vaqtlari oldindan ma'lum deb olingan, EM akkumulyatori degradatsiyasi, tarif va transport tomonga energiya berish (V2G) hisobga olinmagan, generatsiya prognozi oylik o'rtacha profilga asoslangan. Keyingi bosqichda masalani har 15 daqiqada qayta yechish (yuguruvchi gorizont) va real hisoblagich ma'lumotlari bilan kalibrlash ko'zda tutiladi.

XULOSA

Xulosa qilib aytadigan bo'lsak, FE generatsiyasi va bino yuklamasi prognozini hisobga oluvchi chiziqli dasturlash usuli yillik maksimal tarmoq quvvatini boshqarilmaydigan quvvatlashdagi 194,2 kVt dan 75,9 kVt gacha (60,9 %) kamaytiradi va barcha EM ning ketish vaqtigacha to'liq quvvatlanishini kafolatlaydi. Ish kunlarida FE energiyasining EM

ga ulushi 4,2 % bilan cheklangan; dam olish kunlari ochiq quvvatlash joriy etilganda ulush 15,6 % ga, SCR esa 92,2 % gacha oshadi. FE prognozi ± 10 % xato bilan berilganda usul SCR ni saqlab qoladi, maksimal quvvat esa 2 kVt dan kam ortadi.

ADABIYOTLAR

1. 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. Vol. 25, No. 1. P. 371–380.
2. Sortomme E., Hindi M.M., MacPherson S.D.J., Venkata S.S. Coordinated charging of plug-in hybrid electric vehicles to minimize distribution system losses // IEEE Transactions on Smart Grid. 2011. Vol. 2, No. 1. P. 198–205.
3. Van Roy J., Leemput N., Geth F., Salenbien R., Büscher J., Driesen J. Apartment building electricity system impact of operational electric vehicle charging strategies // IEEE Transactions on Sustainable Energy. 2014. Vol. 5, No. 1. P. 264–272.
4. Ioakimidis C.S., Thomas D., Rycerski P., Genikomsakis K.N. Peak shaving and valley filling of power consumption profile in non-residential buildings using an electric vehicle parking lot // Energy. 2018. Vol. 148. P. 148–158.
5. Luthander R., Widén J., Nilsson D., Palm J. Photovoltaic self-consumption in buildings: A review // Applied Energy. 2015. Vol. 142. P. 80–94.
6. Salom J., Marszal A.J., Widén J., Candanedo J., Lindberg K.O. Analysis of load match and grid interaction indicators in net zero energy buildings with simulated and monitored data // Applied Energy. 2014. Vol. 136. P. 119–131.

7. IEC 61851-1:2017. Electric vehicle conductive charging system – Part 1: General requirements. Geneva: IEC, 2017.
8. Botiraliyevna, A. M., Bohodirovna, S. D., Yoqubovich, N. H., Abdulhafizovna, M. Z. M., & Akbarovna, A. S. (2025). Methods Of Implementing Steam Educational Technologies In Primary Education. *The Review of Diabetic Studies*, 684-689.
9. Valieva, F. R. (2018). The importance of educational content in preparation of competitive personnels. In 2nd International Conference bridge to science: research works San Francisco, USA February (Vol. 28, pp. 121-122).
10. Mastura, M. (2026). Issues of developing ecological responsibility in future teachers. *BG pulse journal*, 2(6), 1915-1917.
11. Siddikov, B. S., & Mahkamova, M. B. (2022). Ways to develop the professional qualities of future teachers. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 2(11), 966-972.
12. Xakkulov, Y., Begaliyev, S., Hamidova, M., Turaev, B., Boymamatova, P., Kadirjanova, F., ... & Nema, A. N. Life cycle assessment and management strategies for electronic waste.
13. Valiyeva, F. R., & Sharipova, G. N. Innovative technologies in improving the management of preschool educational organizations. *International Journal of Early Childhood Special Education (INT-JECSE)* DOI, 10.
14. Rashidovna, F. V., & Saloxiddinovna, R. S. (2022). Innovative approaches to preschool education management. *International Journal of Early Childhood Special Education*, 14(4).
15. Valiyeva, F. R. (2022). Management of preschool education. Study guide.-Tashkent: Fan Ziya publishing house.