THE PERSPECTIVE OF NEW ERA SCIENCES
INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL
www.global-science-review.com
editor@global-science-review.com

SHAHAR AVTOBUS PARKLARIDA QAYTA TIKLANUVCHI ENERGIYA MANBALARI (QEM) VA ELEKTROBUS BATAREYALARINI INTEGRATSIYALASH ORQALI ENERGIYA MUSTAQILLIGINI TA'MINLASH

Authors: Qurbanov Ibrohim Yuqori Chirchiq tuman texnikumi o'qituvchisi
Email:kurbanovibrohim7@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur maqolada shahar avtobus parklarida qayta tiklanuvchi energiya manbalari va elektrobus batareyalarini yagona energetik tizimga integratsiyalash orqali energiya mustaqilligini ta'minlashning ilmiy-texnik va iqtisodiy asoslari yoritilgan. Elektrobuslardan foydalanish jarayonida elektr energiyasiga bo'lgan talabning ortishi, mavjud elektr tarmoqlariga tushadigan yuklamani kamaytirish, quyosh energiyasidan samarali foydalanish va energiya saqlash tizimlarini joriy etish masalalari tahlil qilingan. Shuningdek, avtobus parklarida quyosh fotoelektrik panellari, statsionar energiya saqlash qurilmalari, elektrobus akkumulyatorlari va aqlli energiya boshqaruv tizimlarini o'zaro integratsiyalashga asoslangan mualliflik modeli taklif etilgan. Taklif etilayotgan yondashuvning texnik, iqtisodiy va ekologik samaradorligini baholash mezonlari ishlab chiqilgan.

Kalit so'zlar: qayta tiklanuvchi energiya manbalari, QEM, elektrobus, akkumulyator batareyasi, quyosh fotoelektrik panellari, energiya mustaqilligi, energiya saqlash tizimi, aqlli elektr tarmog'i, Vehicle-to-Grid, energiya samaradorligi, ekologik barqarorlik.

Shahar transport tizimini modernizatsiya qilish, atmosferaga chiqariladigan zararli gazlar miqdorini kamaytirish va energiya resurslaridan oqilona foydalanish bugungi kunda barqaror shahar rivojlanishining muhim yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Aholi sonining ortishi, shahar hududlarining kengayishi va transport xizmatlariga bo'lgan talabning oshishi jamoat transporti tizimida yangi texnologik

yechimlarni joriy etishni taqozo etmoqda. Ayniqsa, an'anaviy yoqilg'ida harakatlanuvchi avtobuslardan elektr energiyasi asosida ishlaydigan elektrobuslarga bosqichma-bosqich o'tish transport sohasining ekologik va iqtisodiy samaradorligini oshirishga xizmat qilmoqda.

Elektrobuslar harakatlanish jarayonida bevosita chiqindi gazlar chiqarmasligi, shovqin darajasining nisbatan pastligi va energiyadan samarali foydalanish imkoniyatlari bilan an'anaviy avtobuslardan farq qiladi. Biroq elektrobuslar sonining ko'payishi avtobus parklarida elektr energiyasiga bo'lgan talabni sezilarli darajada oshiradi. Ko'plab elektrobuslarni bir vaqtning o'zida quvvatlantirish elektr tarmoqlarida yuqori yuklama hosil qilishi, elektr energiyasi xarajatlarini ko'paytirishi va mavjud energetik infratuzilmani modernizatsiya qilish zaruratini yuzaga keltirishi mumkin. Shu sababli elektrobus parklarining energetik ta'minotini faqat markazlashgan elektr tarmog'iga bog'lab qo'ymasdan, qayta tiklanuvchi energiya manbalari bilan uyg'unlashtirish muhim ilmiy-amaliy vazifa hisoblanadi.

Qayta tiklanuvchi energiya manbalari, xususan, quyosh va shamol energiyasi avtobus parklarining energiya ta'minotini diversifikatsiya qilish imkonini beradi. O'zbekistonning tabiiy-iqlim sharoitida quyosh energiyasidan foydalanish ayniqsa istiqbolli yo'nalish hisoblanadi. Avtobus parklarining tom qismi, ochiq maydonlari va avtoturargohlarida quyosh fotoelektrik panellarini joylashtirish orqali elektr energiyasi ishlab chiqarish mumkin. Ishlab chiqarilgan elektr energiyasi elektrobuslarni quvvatlantirish, ma'muriy binolar, yoritish tizimlari va boshqa yordamchi qurilmalarni elektr energiyasi bilan ta'minlashga yo'naltiriladi.

Biroq quyosh energiyasining ishlab chiqarish hajmi kunning vaqti, ob-havo sharoiti va mavsumiy omillarga bog'liq. Elektrobuslarning asosiy quvvatlanish jarayoni esa avtobuslarning harakat jadvali va parkka qaytish vaqtiga qarab tashkil etiladi. Shu sababli ishlab chiqarilgan elektr energiyasini samarali taqsimlash va ortiqcha energiyani saqlash masalasi alohida ahamiyat kasb etadi. Bunda statsionar

energiya saqlash tizimlari hamda elektrobuslarning o‘z akkumulyator batareyalaridan foydalanish imkoniyatlari yuzaga keladi.

Energiya saqlash tizimlari qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan olingan elektr energiyasini talab kam bo‘lgan vaqtda to‘plash hamda energiyaga ehtiyoj ortgan davrda undan foydalanish imkonini beradi. Masalan, kunduzgi vaqtda quyosh panellari ishlab chiqargan elektr energiyasining elektrobuslarni quvvatlantirish uchun bevosita sarflanmagan qismi statsionar batareyalarda saqlanishi mumkin. Kechki yoki tungi vaqtda esa ushbu energiya elektrobuslarni quvvatlantirishga yo‘naltiriladi. Natijada markazlashgan elektr tarmog‘idan olinadigan energiya miqdori va maksimal yuklama kamayishi mumkin.

Elektrobus batareyalarini qayta tiklanuvchi energiya manbalari bilan integratsiyalash jarayonida energiyani ikki tomonlama boshqarish texnologiyalari ham muhim ahamiyatga ega. Xalqaro amaliyotda bu yondashuv Vehicle-to-Grid (V2G), ya’ni transport vositasidan elektr tarmog‘iga energiya uzatish texnologiyasi deb yuritiladi. Mazkur texnologiya maxsus ikki tomonlama quvvatlash uskunalari va boshqaruv tizimlari mavjud bo‘lgan sharoitda elektrobus akkumulyatorlarida saqlangan energiyaning bir qismini elektr tarmog‘iga yoki avtobus parkidagi ichki iste’molchilarga qaytarish imkonini beradi.

Shu bilan birga, elektrobus batareyalaridan energiya saqlash vositasi sifatida foydalanishda ularning texnik holati, quvvat zaxirasi, xizmat muddati va kunlik harakat jadvalini hisobga olish zarur. Chunki elektrobusning asosiy vazifasi yo‘lovchilar tashish bo‘lib, energiyani qayta uzatish jarayoni uning harakat xavfsizligi va belgilangan yo‘nalish bo‘yicha xizmat ko‘rsatish imkoniyatiga salbiy ta’sir ko‘rsatmasligi kerak. Batareyalarning ortiqcha zaryadlanishi, chuqur razryadlanishi va yuqori harorat sharoitida ishlashi ularning xizmat muddatiga ta’sir ko‘rsatishi mumkin. Shu sababli batareyalarni boshqarish tizimi (Battery Management System – BMS) integratsiyalashgan energetik tizimning muhim tarkibiy qismi hisoblanadi.

Mazkur masalaning ilmiy asoslari so‘nggi yillarda xalqaro tadqiqotlarda ham keng o‘rganilmoqda. Jumladan, jamoat transporti parklarini qayta tiklanuvchi energiya manbalari bilan integratsiyalashga bag‘ishlangan 2024-yilda Nature Energy jurnalida chop etilgan tadqiqotda quyosh fotoelektrik panellari va energiya saqlash tizimlarini birgalikda qo‘llash avtobus parklarining elektr tarmog‘idan oladigan yuklamasini kamaytirishi mumkinligi ko‘rsatilgan. 2024–2025-yillardagi ilmiy izlanishlarda esa elektrobuslar, quyosh panellari va statsionar batareyalarni yagona boshqaruv tizimi asosida muvofiqlashtirishning texnik-iqtisodiy imkoniyatlari tahlil qilingan.

Tadqiqotlarning mazmunidan kelib chiqib, shahar avtobus parklarida energiya mustaqilligini ta’minlash uchun alohida energiya manbalarini joriy etishning o‘zi yetarli emasligi, balki ularni yagona boshqaruv tizimiga birlashtirish zarurligi ko‘rinadi. Aynan shu jihat mazkur maqolaning asosiy ilmiy yo‘nalishini tashkil etadi.

Tadqiqotning maqsadi shahar avtobus parklarida qayta tiklanuvchi energiya manbalari va elektrobus batareyalarini integratsiyalash orqali elektr energiyasi ta’minotining ishonchliligini oshirish, markazlashgan elektr tarmog‘iga qaramlikni kamaytirish va energetik xarajatlarni optimallashtirishning ilmiy-amaliy mexanizmlarini ishlab chiqishdan iborat. Ushbu maqsadga erishishda tizimli tahlil, qiyosiy tahlil, texnik-iqtisodiy baholash, energiya oqimlarini modellashtirish va optimallashtirish metodlaridan foydalanish nazarda tutiladi.

Tadqiqot doirasida shahar avtobus parklarining energetik infratuzilmasini takomillashtirishga qaratilgan mualliflik modelini taklif etish mumkin. Ushbu model beshta o‘zaro bog‘liq bosqichdan tashkil topadi. Birinchi bosqichda avtobus parkidagi elektrobuslar soni, ularning akkumulyator sig‘imi, kunlik harakat jadvali, quvvatlash vaqti va elektr energiyasiga bo‘lgan umumiy talab aniqlanadi. Shu bilan birga, avtobus parkida quyosh panellarini o‘rnatish uchun mavjud maydon, quyosh radiatsiyasi ko‘rsatkichlari va elektr tarmog‘ining texnik imkoniyatlari baholanadi.

Ikkinchi bosqichda qayta tiklanuvchi energiya manbalarining optimal tarkibi belgilanadi. Bunda asosiy energiya manbai sifatida quyosh fotoelektrik panellari, zarur sharoitlarda esa qo‘shimcha manba sifatida shamol energetikasi ko‘rib chiqiladi. Uchinchi bosqichda statsionar energiya saqlash qurilmalari va elektrobus akkumulyatorlarini yagona energetik tizimga integratsiyalash masalalari hal etiladi. Bunda batareyalarning zaryadlanish holati, texnik imkoniyatlari va xizmat muddati hisobga olinadi. To‘rtinchi bosqichda aqlli energiya boshqaruv tizimi joriy etilib, quyosh panellaridan ishlab chiqarilgan elektr energiyasi, statsionar batareyalardagi zaxira, elektrobuslarning quvvatlash ehtiyoji va markazlashgan tarmoq bilan energiya almashinuvi muvofiqlashtiriladi. Beshinchi bosqichda integratsiyalashgan tizimning texnik, iqtisodiy va ekologik samaradorligi baholanadi hamda olingan natijalar asosida energetik boshqaruv algoritmi takomillashtiriladi.

Taklif etilayotgan modelning ilmiy yangiligi shundan iboratki, unda qayta tiklanuvchi energiya manbalari, statsionar energiya saqlash qurilmalari va elektrobus akkumulyatorlari yagona boshqariladigan energetik ekotizim sifatida qaraladi. An’anaviy yondashuvda quyosh panellari va elektrobus quvvatlash stansiyalari alohida tizimlar sifatida ko‘rib chiqilishi mumkin. Mazkur yondashuvda esa ular o‘rtasidagi energiya almashinuvi, quvvatlash jadvali, batareya holati va elektr tarmog‘idagi yuklama birgalikda boshqariladi. Bu esa avtobus parkini oddiy elektr energiyasi iste’molchisi emas, balki energiya ishlab chiqarish, saqlash va taqsimlash imkoniyatiga ega bo‘lgan zamonaviy energetik markazga aylantirish konsepsiyasini shakllantiradi.

Integratsiyalashgan tizim faoliyatida aqlli energiya boshqaruv tizimi (Energy Management System – EMS) muhim o‘rin egallaydi. Ushbu tizim quyosh panellaridan olinayotgan elektr energiyasi miqdori, elektrobuslarning kelish-ketish jadvali, batareyalarning zaryadlanish holati, elektr energiyasining narxi va umumiy yuklama ko‘rsatkichlarini tahlil qiladi. Olingan ma’lumotlar asosida energiya taqsimotining maqbul rejimi tanlanadi. Masalan, quyosh energiyasi ishlab chiqarish

yuqori bo‘lgan kunduzgi vaqtda mavjud elektr energiyasi avvalo parkdagi joriy ehtiyojlarni qoplashga, keyin esa statsionar energiya saqlash tizimini zaryadlashga yo‘naltiriladi. Quyosh energiyasi yetarli bo‘lmagan vaqtlarda esa oldindan to‘plangan zaxiradan foydalaniladi. Elektrobuslarning quvvatlash jarayoni ularning yo‘nalishga chiqish vaqti hamda zarur energiya zaxirasiga qarab rejalashtiriladi.

Mazkur jarayonda energiya oqimlarini matematik modellashtirish ham muhim ahamiyatga ega. Avtobus parkidagi umumiy energiya balansini quyidagi ifoda orqali tavsiflash mumkin:

$$E_{(}QEM_{)} + E_{(}T_{)} + E_{(}B_{)} = E_{(}EB_{)} + E_{(}I_{)} + E_{(}Y_{)}$$

Bu yerda $E_{(}QEM_{)}$ – qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan ishlab chiqarilgan elektr energiyasi; $E_{(}T_{)}$ – markazlashgan elektr tarmog‘idan olingan energiya; $E_{(}B_{)}$ – batareyalardan tizimga uzatilgan energiya; $E_{(}EB_{)}$ – elektrobuslarni quvvatlantirish uchun sarflangan energiya; $E_{(}I_{)}$ – ichki iste’molchilar energiya sarfi; $E_{(}Y_{)}$ – energiyani uzatish va o‘zgartirish jarayonlaridagi yo‘qotishlar. Amaliy hisob-kitoblarda energiya saqlash qurilmalaridagi zaryad va razryad samaradorligi hamda zaxiraning davriy o‘zgarishi alohida hisobga olinadi.

Energiya mustaqilligini baholashda muhim ko‘rsatkichlardan biri qayta tiklanuvchi energiya ulushi hisoblanadi. Uni quyidagi formula yordamida aniqlash mumkin:

$$K_{(}QEM_{)} = (E_{(}QEM,foydali_{)} / E_{(}umumiy\ talab_{)}) \times 100\%$$

Bu yerda $E_{(}QEM,foydali_{)}$ – avtobus parkida bevosita foydalanilgan yoki energiya saqlash tizimi orqali keyinchalik iste’mol qilingan qayta tiklanuvchi energiya miqdori; $E_{(}umumiy\ talab_{)}$ – avtobus parkidagi umumiy elektr energiyasi ehtiyoji. Mazkur ko‘rsatkich qayta tiklanuvchi energiya manbalarining park energetik balansidagi ulushini baholash imkonini beradi.

Shuningdek, tizimning iqtisodiy samaradorligini aniqlashda elektr energiyasi xarajatlarining kamayishi, dastlabki investitsiya miqdori, ekspluatatsiya xarajatlari, batareyalarning xizmat muddati va investitsiyaning qoplanish davri hisobga olinishi

kerak. Ekologik samaradorlik esa markazlashgan elektr energiyasi iste'molining qisqarishi natijasida bilvosita kamayadigan karbonat angidrid chiqindilari orqali baholanishi mumkin. Bunda elektr energiyasini ishlab chiqarish tarkibidagi energiya manbalari va ularning emissiya koeffitsiyentlari e'tiborga olinishi zarur.

Taklif etilayotgan tizimning amaliy ahamiyati shundan iboratki, uni Toshkent shahri va boshqa yirik shaharlardagi avtobus parklarining energetik infratuzilmasiga moslashtirish mumkin. Xususan, avtobus parklarining tom qismiga quyosh panellarini o‘rnatish, avtoturargohlarni quyosh panelli konstruksiyalar bilan jihozlash, statsionar energiya saqlash qurilmalarini tashkil etish va elektrobuslarni aqlli quvvatlash tizimlariga ulash orqali energiya ta'minotining muqobil modelini shakllantirish mumkin. Bunday yondashuv elektr energiyasi iste'molini vaqt bo‘yicha muvozanatlashtirish, tarmoqdagi maksimal yuklamani kamaytirish va elektr energiyasi xarajatlarini optimallashtirish imkoniyatini yaratadi.

Shu bilan birga, tizimni joriy etishda ayrim texnik va iqtisodiy muammolar mavjud. Birinchidan, quyosh energiyasining ishlab chiqarish hajmi ob-havo va mavsumiy sharoitlarga bog‘liq. Ikkinchidan, katta quvvatli energiya saqlash tizimlarini o‘rnatish dastlabki investitsiya xarajatlarini oshiradi. Uchinchidan, elektrobus akkumulyatorlaridan elektr energiyasini qayta uzatish ularning eskirish jarayoniga ta'sir qilishi mumkin. To‘rtinchidan, ikki tomonlama quvvatlash texnologiyalarini joriy etish uchun tegishli quvvatlash uskunalari, boshqaruv protokollari va texnik standartlarning muvofiqligi talab etiladi. Beshinchidan, elektr energiyasini boshqarish tizimining uzluksiz ishlashi uchun zamonaviy monitoring va axborot xavfsizligi vositalari zarur.

Ushbu muammolarni bartaraf etish uchun integratsiyalashgan energetik tizimni bosqichma-bosqich joriy etish maqsadga muvofiq. Dastlab avtobus parkidagi energiya iste'moli va quyosh energiyasi salohiyati o‘rganiladi. Keyingi bosqichda quyosh fotoelektrik panellari va statsionar energiya saqlash qurilmalari asosida tajriba loyihasi tashkil etiladi. Shundan so‘ng aqlli energiya boshqaruv tizimi

bilan elektrobuslarni quvvatlash jarayoni integratsiyalashadi. Yakuniy bosqichda texnik-iqtisodiy va ekologik natijalar tahlil qilinib, tizimni kengaytirish bo‘yicha qarorlar qabul qilinadi.

Xalqaro tajribalar ham mazkur yondashuvning istiqbolli ekanligini ko‘rsatmoqda. 2024-yilda Nature Energy jurnalida e’lon qilingan tadqiqotda Pekin shahridagi jamoat transporti parklarini quyosh energiyasi va energiya saqlash tizimlari bilan integratsiyalash imkoniyatlari o‘rganilgan. Tadqiqotda quyosh fotoelektrik panellari elektr tarmog‘idan olinadigan sof quvvat yuklamasini kamaytirishi, energiya saqlash tizimlari esa ushbu samarani yanada kuchaytirishi mumkinligi ko‘rsatilgan. Shuningdek, 2025-yilda Journal of Energy Storage jurnalida chop etilgan tadqiqotda elektrobus parklarida batareyalarni boshqarish va quvvatlash jadvalini optimallashtirish orqali elektr energiyasi xarajatlarini kamaytirish imkoniyatlari tahlil qilingan. Bu natijalar shahar avtobus parklarini qayta tiklanuvchi energiya manbalari bilan integratsiyalashning ilmiy va amaliy jihatdan dolzarbligini tasdiqlaydi.

Xulosa qilib aytganda, shahar avtobus parklarida qayta tiklanuvchi energiya manbalari va elektrobus batareyalarini integratsiyalash energiya ta’minotining barqarorligini oshirish, elektr tarmog‘iga tushadigan yuklamani kamaytirish va transport tizimining ekologik samaradorligini yaxshilashning istiqbolli yo‘nalishidir. Tadqiqot davomida quyosh fotoelektrik panellari, statsionar energiya saqlash qurilmalari, elektrobus akkumulyatorlari va aqlli energiya boshqaruv tizimlarini birlashtirishga asoslangan mualliflik modeli taklif etildi. Ushbu modelning o‘ziga xosligi energiya ishlab chiqarish, saqlash, taqsimlash va iste’mol qilish jarayonlarini yagona tizim doirasida muvofiqlashtirishdan iborat. Modelni amaliyotga joriy etish orqali avtobus parklarining qayta tiklanuvchi energiya ulushini oshirish, energetik xarajatlarni optimallashtirish va energiya ta’minotidagi uzilishlarga nisbatan barqarorlikni kuchaytirish imkoniyati yuzaga keladi. Buning uchun har bir avtobus parkida energiya iste’moli, quyosh energiyasi salohiyati,

batareyalar sig‘imi va transport harakati jadvaliga asoslangan individual texnik-iqtisodiy loyiha ishlab chiqilishi zarur. Kelgusida mazkur modelni real avtobus parki misolida matematik modellashtirish va tajriba-sinovdan o‘tkazish uning samaradorligini ilmiy jihatdan asoslash imkonini beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. International Energy Agency (IEA). *Global EV Outlook 2025*. Paris: IEA, 2025.
2. UNESCO emas, balki energetika sohasidagi ilmiy manba: *Transforming Public Transport Depots into Profitable Energy Hubs*. Nature Energy, 2024. DOI: 10.1038/s41560-024-01580-0.
3. *Co-Design Optimization and Total Cost of Ownership Analysis of an Electric Bus Depot Microgrid with Photovoltaics and Energy Storage Systems*. Energies, 2024, Vol. 17, No. 24, 6233. DOI: 10.3390/en17246233.
4. *Optimal Coordination of Electric Buses and Battery Storage for Achieving a 24/7 Carbon-Free Electrified Fleet*. Applied Energy, 2025, Vol. 377, 124506. DOI: 10.1016/j.apenergy.2024.124506.
5. *Connection Capacity-Constrained Energy Management for Solar- and Battery-Powered Electric Bus Depots*. Journal of Energy Storage, 2025, Vol. 139, Part B, 118895.
6. National Renewable Energy Laboratory (NREL). *Navigating Options for Transportation*. 2024.