



## MODERN METHODS OF MAINTENANCE FOR BATTERY SYSTEMS IN ELECTRIC BUSES

Abullaev Shuxrat Shapievich

Master's degree of Tashkent State Transport University

<https://doi.org/10.5281/zenodo.19368999>

### ARTICLE INFO

Received: 24<sup>th</sup> March 2026

Accepted: 30<sup>th</sup> March 2026

Online: 31<sup>st</sup> March 2026

### KEYWORDS

Electric bus, lithium-ion battery, battery degradation, BMS, thermal management, maintenance, predictive maintenance, diagnostics, energy efficiency

### ABSTRACT

*This article provides a comprehensive and in-depth analysis of modern maintenance methods for battery systems used in electric buses. In particular, it examines the operational characteristics of lithium-ion batteries, their degradation mechanisms, and technological approaches aimed at minimizing these processes. Furthermore, the role of Battery Management Systems (BMS), thermal management systems, and advanced diagnostic techniques is discussed from a scientific perspective. In addition, the application of predictive maintenance concepts is justified as an effective approach to improving battery reliability and extending service life. The findings of this study are significant for developing efficient maintenance strategies for battery systems in electric bus operations.*

## ELEKTROBUSLARDA BATAREYA TIZIMLARIGA TEXNIK XIZMAT KO'RSATISHNING ZAMONAVIY USULLARI

Abullaev Shuxrat Shapievich

Toshkent davlat transport universiteti magistri

<https://doi.org/10.5281/zenodo.19368999>

### ARTICLE INFO

Received: 24<sup>th</sup> March 2026

Accepted: 30<sup>th</sup> March 2026

Online: 31<sup>st</sup> March 2026

### KEYWORDS

Elektrobus, litiy-ion batareya, batareya degradatsiyasi, BMS, termal boshqaruv, texnik xizmat, prediktiv texnik xizmat, diagnostika, energiya samaradorligi.

### ABSTRACT

*Mazkur maqolada elektrobuslarda qo'llaniladigan batareya tizimlariga texnik xizmat ko'rsatishning zamonaviy usullari keng va chuqur tahlil qilinadi. Xususan, litiy-ion batareyalarning ishlash xususiyatlari, ularning degradatsiya jarayonlari hamda ushbu jarayonlarni sekinlashtirishga qaratilgan texnik va texnologik yondashuvlar o'rganiladi. Shu bilan birga, Battery Management System (BMS), termal boshqaruv tizimlari va zamonaviy diagnostika usullarining roli ilmiy asosda yoritiladi. Bundan tashqari, prediktiv texnik xizmat konsepsiyasining qo'llanilishi orqali batareya tizimlarining ishonchliligi va xizmat muddati oshirilishi asoslab beriladi. Tadqiqot natijalari elektrobuslar ekspluatatsiyasida batareya tizimlariga samarali xizmat*



*ko'rsatish strategiyalarini ishlab chiqishda muhim ahamiyat kasb etadi.*

**Kirish.** Hozirgi davrda global transport tizimining transformatsiyasi ekologik xavfsizlik, energiya samaradorligi hamda barqaror rivojlanish tamoyillari bilan uzviy bog'liq bo'lib bormoqda. Ayniqsa, shahar transportida zararli chiqindilarni kamaytirish zarurati elektrobuslarning jadal rivojlanishiga olib keldi. Shu nuqtai nazardan qaraganda, elektrobuslar nafaqat ekologik jihatdan toza transport vositasi, balki yuqori texnologiyalarga asoslangan murakkab muhandislik tizimi sifatida ham namoyon bo'ladi [5, 211-220]. Biroq, ularning samarali ishlashi ko'p jihatdan batareya tizimlarining texnik holati va xizmat ko'rsatish darajasiga bog'liqdir. Demak, elektrobuslarda batareya tizimlariga texnik xizmat ko'rsatish masalasi zamonaviy transport muhandisligining eng dolzarb yo'nalishlaridan biri hisoblanadi.

Avvalo, elektrobuslarda keng qo'llaniladigan litiy-ion batareyalar yuqori energiya zichligi, uzoq xizmat muddati va qayta zaryadlanish imkoniyati bilan ajralib turadi. Shu bilan birga, ushbu batareyalar murakkab elektroximik jarayonlarga asoslangan bo'lib, ularning ishlashi vaqt o'tishi bilan asta-sekin yomonlashadi. Xususan, elektrod materiallarining degradatsiyasi, elektrolitning parchalanishi va ionlarning harakat tezligining pasayishi batareya sig'imining kamayishiga olib

keladi. Bundan tashqari, yuqori harorat sharoitida ishlash, tez-tez tezkor zaryadlash va chuqur razryadlanish jarayonlari ushbu degradatsiyani sezilarli darajada tezlashtiradi. Shu sababli, batareya tizimlariga texnik xizmat ko'rsatishning zamonaviy usullari aynan ushbu salbiy omillarni minimallashtirishga qaratilgan bo'lishi lozim.

Shu bilan birga, batareya tizimlarining ishlash samaradorligini ta'minlashda Battery Management System (BMS) markaziy o'rin tutadi. Chunki BMS tizimi batareyaning barcha muhim parametrlarini real vaqt rejimida monitoring qiladi. Jumladan, u har bir hujayraning kuchlanishi, harorati, tok kuchi va zaryad darajasini nazorat qilib boradi. Natijada, tizim orqali ortiqcha zaryadlanish, chuqur razryadlanish yoki termal runaway kabi xavfli holatlarning oldi olinadi. Bundan tashqari, BMS hujayralar o'rtasidagi nomutanosiblikni bartaraf etish uchun balanslash algoritmlaridan foydalanadi. Demak, BMS nafaqat himoya tizimi, balki batareya samaradorligini optimallashtiruvchi intellektual boshqaruv vositasi sifatida ham xizmat qiladi [2, 74-77].

Bundan tashqari, zamonaviy elektrobuslarda termal boshqaruv tizimlari alohida ahamiyat kasb etadi. Sababi, litiy-ion batareyalar ma'lum harorat diapazonida eng optimal ishlash



xususiyatiga ega. Agar harorat keskin oshsa, batareya ichidagi kimyoviy reaksiyalar tezlashib, degradatsiya jarayoni jadallashadi. Aksincha, past haroratlarda esa batareyaning energiya berish qobiliyati pasayadi. Shu boisdan, elektrobuslarda havo va suyuqlik asosidagi sovutish tizimlari qo'llaniladi. Ayniqsa, suyuqlik sovutish tizimlari issiqlikni samarali chiqarib, batareya elementlarining bir xil haroratda ishlashini ta'minlaydi. Shu bilan birga, zamonaviy tizimlarda issiqlikni qayta taqsimlash texnologiyalari ham joriy etilib, umumiy energiya samaradorligi oshirilmoqda.

Shu o'rinda ta'kidlash lozimki, an'anaviy texnik xizmat ko'rsatish usullari asta-sekin zamonaviy raqamli texnologiyalar bilan almashinmoqda. Xususan, prediktiv texnik xizmat konsepsiyasi elektrobuslar sohasida keng qo'llanilmoqda. Mazkur yondashuvda sensorlar orqali yig'ilgan katta hajmdagi ma'lumotlar sun'iy intellekt va mashinaviy o'rganish algoritmlari yordamida tahlil qilinadi. Natijada, batareya tizimidagi nosozliklar ularning yuzaga kelishidan oldin aniqlanadi. Bu esa, o'z navbatida, kutilmagan buzilishlarni kamaytirib, texnik xizmat xarajatlarini optimallashtiradi. Bundan tashqari, prediktiv xizmat tizimlari batareya resursidan maksimal darajada foydalanish imkonini beradi.

Bundan tashqari, elektrobuslarda batareya tizimlarini diagnostika qilish usullari ham sezilarli darajada rivojlanmoqda. Xususan, elektrokimyoviy impedans spektroskopiyasi batareya ichki qarshiligini aniqlash orqali uning holatini

baholash imkonini beradi. Shu bilan birga, zaryad va razryad sikllarini tahlil qilish orqali batareyaning degradatsiya darajasi aniqlanadi. Zamonaviy tizimlarda esa State of Charge (SOC) va State of Health (SOH) ko'rsatkichlari yuqori aniqlik bilan hisoblab chiqiladi. Natijada, texnik xizmat ko'rsatish jarayoni aniq ma'lumotlarga asoslangan holda tashkil etiladi.

Yana bir muhim jihat shundan iboratki, batareya tizimlarining samarali ishlashi ekspluatatsiya strategiyasiga ham bevosita bog'liqdir. Masalan, batareyani doimiy ravishda to'liq zaryadlash yoki to'liq bo'shatish uning xizmat muddatini qisqartiradi. Shu sababli, optimal zaryad diapazonini saqlash, ya'ni 20–80% oralig'ida ishlatish tavsiya etiladi. Bundan tashqari, tezkor zaryadlash texnologiyalaridan haddan tashqari foydalanish batareya ichki qarshiligini oshirib, uning tezroq eskirishiga olib keladi. Demak, to'g'ri ekspluatatsiya siyosati texnik xizmat ko'rsatishning ajralmas qismi hisoblanadi [3].

Shuningdek, elektrobuslarda batareya tizimlariga texnik xizmat ko'rsatish iqtisodiy samaradorlik nuqtai nazaridan ham muhim ahamiyatga ega. Chunki batareya elektrobusning eng qimmat komponenti hisoblanadi va uning almashtirilishi katta moliyaviy xarajatlarni talab qiladi. Shu boisdan, samarali texnik xizmat strategiyalarini joriy etish orqali batareya xizmat muddatini uzaytirish transport kompaniyalari uchun iqtisodiy jihatdan foydali hisoblanadi. Bundan tashqari, energiya sarfini optimallashtirish orqali umumiy operatsion xarajatlarni kamaytirish mumkin.



Bundan tashqari, elektrobus batareyalarini qayta ishlash va utilizatsiya qilish masalasi ham dolzarb ahamiyat kasb etmoqda. Sababi, ishlatilgan batareyalar tarkibida litiy, kobalt va boshqa qimmatbaho materiallar mavjud bo'lib, ularni qayta tiklash iqtisodiy jihatdan foydali hisoblanadi. Shu bilan birga, noto'g'ri utilizatsiya ekologik xavf tug'dirishi mumkin. Shu sababli, zamonaviy texnik xizmat tizimlari batareyaning "ikkinchi hayoti" (second-life applications) imkoniyatlarini ham hisobga oladi.

Natijada, elektrobuslarda batareya tizimlariga texnik xizmat ko'rsatish ko'p qirrali va murakkab jarayon ekanligi ayon bo'ladi. Avvalo, BMS tizimi orqali doimiy monitoringni ta'minlash, shuningdek, termal boshqaruv tizimlari yordamida optimal ish sharoitlarini yaratish zarur. Shu bilan birga, prediktiv texnik xizmat va zamonaviy diagnostika

usullarini joriy etish orqali batareya tizimlarining ishonchligini sezilarli darajada oshirish mumkin. Bundan tashqari, ekspluatatsiya strategiyalarini optimallashtirish orqali degradatsiya jarayonini sekinlashtirish va batareya xizmat muddatini uzaytirish mumkin.

**Xulosa.** Xulosa sifatida ta'kidlash mumkinki, elektrobuslarda batareya tizimlariga texnik xizmat ko'rsatishning zamonaviy usullari transport tizimining samaradorligi va barqarorligini ta'minlashda hal qiluvchi ahamiyatga ega. Ayniqsa, raqamli texnologiyalar, sun'iy intellekt va avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari ushbu sohaning kelajakdagi rivojlanish yo'nalishini belgilab bermoqda. Demak, elektrobuslar texnologiyasining muvaffaqiyati bevosita batareya tizimlariga xizmat ko'rsatishning innovatsion va ilmiy asoslangan usullariga bog'liq bo'lib qoladi.

## References:

1. Abdullayev S. M. Transport-logistika tizimini raqamlashtirishning dolzarb masalalari // Iqtisodiyot va innovatsiyalar. – 2022. – №3. – B. 45–51.
2. Ayattillo, S. (2025). TRANSPORT KELAJAGI SARI: BARQAROR TARAQQIYOT MEZONLARI, ESG TAMOYILLARI VA YO 'NALISHLARNING YANGI VEKTORLARI. PEDAGOGS INTERNATIONAL RESEARCH JOURNAL, 95(2), 74-77.
3. Dustmurot o'g'li, U. M., Shokir o'g'li, T. D., & Akmal o'g'li, A. Q. (2025). TRANSPORT TIZIMIDA EKOLOGIK INNOVATSIYALAR VA YASHIL IQTISODIYOT. Shokh Articles Library, 1(2).
4. Karimov A. A. Transport-logistika tizimini rivojlantirishda zamonaviy yondashuvlar. – Toshkent: Iqtisodiyot, 2021. – 152 b.
5. Numondjonovich, M. M. (2026). JAMOAT TRANSPORTI XIZMATLARI JOZIBADORLIGINI OSHIRISH: NAZARIY YONDASHUVLAR, XALQARO TAJRIBA VA O'ZBEKISTON AMALIYOTI. Global Science Review, 9(1), 211-220.