

ELEKTROMOBIL BATAREYALARINING ISHLASHIGA TA'SIR ETUVCHI OMILLAR TAHLILI

Andijon davlat texnika instituti
“Energiya mashinasozligi”
yo‘nalishi 4-kurs talabasi
Shermirzayev Yaxyobek Otabek o‘g‘li
+998937874889
yaxyobekshermirzayev2@gmail.com
Ilmiy rahbar:
Nazirov Ismailjon Tashtemirovich

Annotatsiya

Ushbu maqolada elektromobillarda qo‘llaniladigan litiy-ion batareyalarning ishlash samaradorligi, xizmat muddati va degradatsiya jarayonlariga ta’sir etuvchi asosiy omillar tahlil qilindi. Bugungi kunda elektromobillar transport sohasida ekologik toza, energiya tejankor va innovatsion yechim sifatida keng rivojlanmoqda. Shu bilan birga, elektromobilning asosiy va eng qimmat tarkibiy qismlaridan biri bo‘lgan batareya bloki uning yurish masofasi, quvvatlanish tezligi, ekspluatatsion ishonchliligi va umumiy iqtisodiy samaradorligini belgilab beradi. Xalqaro energetika agentligi ma’lumotlariga ko‘ra, 2025-yilda elektromobillar global batareya talabining asosiy manbai bo‘lib qolgan va EV batareyalari joylashtirilishi 1,2 TWh darajaga yetgan. Bu esa mazkur yo‘nalishdagi ilmiy tadqiqotlarning dolzarbligini yanada oshiradi.

Tadqiqotda harorat rejimi, zaryadlash va razryadlash tezligi, zaryad holati, chuqur razryadlanish darajasi, batareya kimyoviy tarkibi, haydash uslubi, sovutish tizimi, batareyani boshqarish tizimi hamda tashqi muhit sharoitlarining batareya ishlashiga ta’siri o‘rganildi. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, yuqori harorat, tez-tez DC fast charging rejimidan foydalanish, batareyani 100 foizgacha zaryadlab uzoq saqlash yoki juda past zaryadgacha tushirish litiy-ion batareyalarda sig‘im kamayishi va ichki qarshilik ortishini tezlashtiradi. Shu sababli batareyaning optimal ishlashi uchun issiqlik boshqaruvi, mo‘tadil zaryadlash strategiyasi, 20–80 foiz oralig‘ida foydalanish va BMS algoritmlarini takomillashtirish muhim hisoblanadi.

Kalit so‘zlar: elektromobil, litiy-ion batareya, batareya degradatsiyasi, zaryadlash, harorat, BMS, energiya sig‘imi, tezkor zaryadlash, xizmat muddati.

1. Kirish

So'nggi yillarda jahon avtomobil sanoatida elektrlashtirish jarayoni jadallashib bormoqda. Ichki yonuv dvigatellariga asoslangan transport vositalari uzoq vaqt davomida asosiy harakatlanish vositasi bo'lib kelgan bo'lsa-da, yoqilg'i sarfi, chiqindi gazlar, atmosfera ifloslanishi va energiya xavfsizligi bilan bog'liq muammolar elektromobillarga bo'lgan talabni oshirmoqda. Elektromobillar an'anaviy avtomobillarga nisbatan ekspluatatsiya jarayonida kamroq zararli chiqindilar chiqaradi, elektr energiyasidan yuqori samaradorlik bilan foydalanadi va texnik xizmat ko'rsatish jihatidan ayrim afzalliklarga ega.

Elektromobilning asosiy texnik ko'rsatkichi uning batareya tizimi bilan bevosita bog'liq. Batareya nafaqat avtomobilning yurish masofasini, balki tezlanish xususiyatini, quvvatlanish vaqtini, umumiy og'irligini, xavfsizligini va narxini ham belgilaydi. Shu sababli elektromobil batareyalarining ishlashiga ta'sir etuvchi omillarni chuqur tahlil qilish zamonaviy avtomobilsozlik, energetika va transport muhandisligi uchun muhim ilmiy-amaliy masala hisoblanadi.

Hozirgi elektromobillarda asosan litiy-ion batareyalar qo'llaniladi. Ular yuqori energiya zichligi, nisbatan kichik massa, uzoq siklik xizmat muddati va tez zaryadlanish imkoniyati bilan ajralib turadi. Biroq litiy-ion batareyalar ekspluatatsiya sharoitlariga juda sezgir. Haroratning haddan tashqari yuqori yoki past bo'lishi, tezkor zaryadlash, chuqur razryadlanish, yuqori yuklama ostida ishlash, noto'g'ri saqlash va boshqaruv tizimining yetarlicha mukammal emasligi batareya sig'imining kamayishiga olib keladi.

Ilmiy manbalarda batareya degradatsiyasi, ya'ni vaqt o'tishi bilan uning dastlabki sig'imi va quvvat berish qobiliyatining pasayishi asosiy muammolardan biri sifatida ko'rsatiladi. 2024-yilgi sharhlarda litiy-ion batareyalar degradatsiyasiga elektrolit parchalanishi, siklik yuklanish, harorat, kalendar qarish va razryad chuqurligi kabi omillar bevosita ta'sir ko'rsatishi ta'kidlangan. Shu sababli elektromobil batareyasining xizmat muddatini uzaytirish uchun faqat batareya kimyosini takomillashtirish emas, balki undan foydalanish sharoitlarini ham optimallashtirish zarur.

Ushbu maqolaning maqsadi elektromobil batareyalarining ishlashiga ta'sir etuvchi asosiy omillarni ilmiy manbalar asosida tahlil qilish, ularning batareya samaradorligi va xizmat muddatiga ta'sir mexanizmlarini izohlash hamda batareyalardan samarali foydalanish bo'yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqishdan iborat.

2. Metodologiya

Ushbu tadqiqot nazariy-tahliliy xarakterga ega bo'lib, unda elektromobil batareyalarining ishlashiga ta'sir etuvchi omillar ilmiy maqolalar, xalqaro energetika tashkilotlari hisobotlari, laboratoriya tadqiqotlari va amaliy ekspluatatsiya natijalari asosida tahlil qilindi. Tadqiqotda asosan litiy-ion batareyalar ko'rib chiqildi, chunki

hozirgi zamonaviy elektromobillarning aksariyatida aynan shu turdagi batareyalar qo'llaniladi.

Tahlil jarayonida quyidagi omillar asosiy mezon sifatida tanlandi:

1. **Harorat rejimi** — yuqori va past haroratning batareya sig'imi, ichki qarshiligi va xavfsizligiga ta'siri.
2. **Zaryadlash tezligi** — oddiy AC zaryadlash va tezkor DC zaryadlashning batareya degradatsiyasiga ta'siri.
3. **Zaryad holati** — SOC — batareyaning 0–100 foiz oralig'ida ishlash rejimi.
4. **Razryad chuqurligi** — DoD — batareya qancha chuqur zaryadsizlantirilishi va bu jarayonning siklik xizmat muddatiga ta'siri.
5. **Batareya kimyoviy tarkibi** — NMC, LFP va boshqa turdagi litiy-ion kimyolarining afzallik va cheklovlari.
6. **BMS va issiqlik boshqaruvi** — batareya boshqaruv tizimi va sovutish-isitish tizimlarining samaradorligi.
7. **Ekspluatatsion omillar** — haydash uslubi, yuklama, iqlim, saqlash sharoiti va texnik xizmat.

Tadqiqotda taqqoslash, umumlashtirish, sabab-oqibat tahlili va tizimli yondashuv usullaridan foydalanildi. Batareya ishlashini baholashda sig'imning kamayishi, ichki qarshilikning ortishi, zaryad qabul qilish qobiliyati, issiqlik ajralishi, xavfsizlik va xizmat muddati asosiy ko'rsatkichlar sifatida qabul qilindi.

3. Natijalar

3.1. Haroratning batareya ishlashiga ta'siri

Elektromobil batareyalarining ishlashida harorat eng muhim omillardan biridir. Litiy-ion batareyalar ma'lum optimal harorat oralig'ida samarali ishlaydi. Harorat juda past bo'lsa, elektrolitning ion o'tkazuvchanligi kamayadi, ichki qarshilik ortadi va batareyaning quvvat berish qobiliyati pasayadi. Natijada elektromobilning yurish masofasi kamayadi va zaryadlanish vaqti uzayadi.

Past haroratda batareya zaryad qabul qilishda ham cheklovlarga duch keladi. Chunki sovuq sharoitda litiy ionlarining grafit anodga joylashishi sekinlashadi. Agar bunday holatda yuqori tok bilan zaryadlash amalga oshirilsa, litiy qoplamasi — lithium plating hodisasi yuzaga kelishi mumkin. Bu esa batareya sig'imining qaytmas kamayishiga va xavfsizlik muammolariga olib keladi.

Yuqori harorat ham batareya uchun xavflidir. Harorat oshishi kimyoviy reaksiyalarni tezlashtiradi, elektrolit parchalanishi va elektrod materiallarining yemirilishini kuchaytiradi. 2026-yilda chop etilgan ilmiy sharhda yuqori muhit harorati litiy-ion batareyalarning ishlash muddati, xavfsizligi va sig'im saqlash xususiyatiga sezilarli ta'sir ko'rsatishi, yuqori harorat esa noxush yon reaksiyalarni kuchaytirishi qayd etilgan.

Demak, batareya uchun nafaqat juda sovuq, balki juda issiq muhit ham salbiy ta'sir ko'rsatadi. Optimal haroratni saqlash uchun elektromobillarda batareya thermal management system — issiqlik boshqaruv tizimi qo'llaniladi. Ushbu tizim batareyani sovutish, isitish va haroratni barqaror saqlash vazifasini bajaradi.

3.2. Zaryadlash tezligining ta'siri

Elektromobillarning ommalashishida tezkor zaryadlash infratuzilmasi muhim ahamiyatga ega. DC fast charging texnologiyasi foydalanuvchilarga qisqa vaqt ichida batareyani sezilarli darajada zaryadlash imkonini beradi. Biroq tezkor zaryadlash batareya ichida yuqori tok oqimini hosil qiladi, bu esa harorat ko'tarilishi, ionlar taqsimotining notekisligi va elektrod materiallarining mexanik zo'riqishiga olib kelishi mumkin.

NREL tadqiqotlarida tezkor zaryadlash elektromobil foydalanuvchilari uchun qulay bo'lsa-da, agressiv zaryadlash va davomli ishlash batareya haroratining ortishi hamda degradatsiya xavfini kuchaytirishi mumkinligi ko'rsatilgan. Shu bilan birga, faol sovutish tizimlari batareya haroratini xavfsiz chegaralarda ushlab turishga yordam beradi.

Amaliy ma'lumotlar ham shuni ko'rsatadiki, yuqori quvvatli DC zaryadlashdan haddan tashqari ko'p foydalanish batareya salomatligiga salbiy ta'sir qilishi mumkin. Geotab tomonidan 22 mingdan ortiq elektromobil ma'lumotlari asosida olib borilgan tahlilda yuqori quvvatli DC fast charging eng katta stress omillaridan biri ekani, ayrim holatlarda degradatsiya tezligi past quvvatli zaryadlash guruhiga nisbatan deyarli ikki baravar yuqori bo'lishi mumkinligi qayd etilgan.

Shu sababli kundalik foydalanishda sekin yoki o'rtacha quvvatli zaryadlashdan foydalanish, tezkor zaryadlashni esa asosan uzoq masofali safarlar yoki zarur holatlar uchun qo'llash maqsadga muvofiqdir.

3.3. SOC — zaryad holatining ta'siri

SOC — State of Charge batareyaning ayni vaqtdagi zaryad darajasini bildiradi. Masalan, 100 foiz SOC batareya to'liq zaryadlanganini, 0 foiz esa deyarli to'liq zaryadsizlanganini anglatadi. Litiy-ion batareyalar uchun doimiy ravishda 100 foiz zaryadda saqlash yoki juda past zaryadgacha tushirish zararli hisoblanadi.

Yuqori SOC holatida batareya elektrodlarida kuchlanish yuqori bo'ladi. Bu elektrolit parchalanishini tezlashtiradi, katod materialida strukturaviy o'zgarishlar yuzaga keltiradi va SEI qatlamining o'sishini kuchaytiradi. Past SOC holatida esa batareya haddan tashqari razryadlanish xavfiga duch keladi. Bu holat ham batareyaning qaytmas shikastlanishiga sabab bo'lishi mumkin.

Ko'plab elektromobil ishlab chiqaruvchilari kundalik foydalanishda batareyani 20–80 foiz oralig'ida ishlatishni tavsiya qiladi. Bu oraliq batareyaga tushadigan elektro-kimyoviy stressni kamaytiradi. Ayniqsa avtomobil uzoq vaqt

foydalanilmaydigan bo'lsa, batareyani 50–60 foiz atrofida saqlash maqsadga muvofiqdir.

3.4. DoD — razryad chuqurligining ta'siri

DoD — Depth of Discharge batareyaning bir siklda qancha chuqur zaryadsizlantirilishini bildiradi. Masalan, batareya 100 foizdan 20 foizgacha ishlatilsa, DoD 80 foizga teng bo'ladi. DoD qanchalik katta bo'lsa, batareya elektrodlariga tushadigan mexanik va kimyoviy yuklama shunchalik ortadi.

Ilmiy tadqiqotlarda chuqur razryadlanish batareyalarda sig'im yo'qolishini tezlashtirishi qayd etiladi. DoD va C-rate yuqori bo'lganda elektrod materiallari ko'proq kengayib-torayadi, bu esa mikro yoriqlar, aktiv material yo'qolishi va ichki qarshilik ortishiga olib keladi. 2023-yilgi tadqiqotlarda chuqur razryadlanish va yuqori zaryad/razryad tezliklari batareyaga kuchli stress berib, sig'im yo'qolishini tezlashtirishi ko'rsatilgan.

Demak, batareyaning xizmat muddatini uzaytirish uchun uni har safar 0 foizga yaqin holatgacha tushirib ishlatish tavsiya etilmaydi. Qisqa masofali kundalik harakatlanishda batareyani o'rtacha zaryad oralig'ida ishlatish uning uzoq muddatli samaradorligini saqlashga yordam beradi.

3.5. Batareya kimyoviy tarkibining ta'siri

Elektromobillarda turli xil litiy-ion batareya kimyolari qo'llaniladi. Eng keng tarqalganlari NMC — nikel-marganes-kobalt, NCA — nikel-kobalt-alyuminiy va LFP — litiy-temir-fosfat batareyalaridir. Har bir kimyoning o'ziga xos afzallik va kamchiliklari mavjud.

NMC va NCA batareyalar yuqori energiya zichligiga ega bo'lib, uzoq yurish masofasini ta'minlaydi. Shu sababli ular ko'plab yengil elektromobillarda qo'llaniladi. Biroq ular yuqori harorat va yuqori SOC holatlariga nisbatan sezgirroq bo'lishi mumkin. LFP batareyalar esa energiya zichligi nisbatan pastroq bo'lsa-da, xavfsizlik, termik barqarorlik va siklik xizmat muddati bo'yicha yaxshi ko'rsatkichlarga ega.

So'nggi yillarda LFP batareyalarning ulushi oshib bormoqda. Bunga ularning nisbatan arzonligi, kobalt va nikelga kamroq bog'liqligi hamda uzoq xizmat muddati sabab bo'lmoqda. Shu bilan birga, sovuq haroratda LFP batareyalarning ishlashi ayrim holatlarda NMC batareyalarga nisbatan cheklangan bo'lishi mumkin. Demak, batareya kimyosini tanlashda avtomobilning maqsadi, iqlim sharoiti, narx, xavfsizlik, yurish masofasi va xizmat muddati kompleks baholanishi kerak.

3.6. BMS — batareyani boshqarish tizimining roli

BMS — Battery Management System elektromobil batareyasining “miyasi” hisoblanadi. U batareya hujayralarining kuchlanishi, toki, harorati, zaryad holati, salomatlik holati va xavfsizlik parametrlarini nazorat qiladi. BMS har bir hujayra orasidagi balansni saqlaydi, ortiqcha zaryadlanish, chuqur razryadlanish, qisqa tutashuv va qizib ketish xavfini kamaytiradi.

Agar BMS algoritmlari yetarlicha aniq ishlamasa, ayrim hujayralar boshqalariga nisbatan ko'proq yuklanadi. Bu esa butun batareya blokining tezroq eskirishiga olib keladi. Chunki batareya bloki odatda eng zaif hujayraning imkoniyati bilan chegaralanadi. Shuning uchun BMS faqat xavfsizlikni ta'minlovchi tizim emas, balki batareya xizmat muddatini uzaytiruvchi asosiy texnologik yechimlardan biridir.

Zamonaviy BMS tizimlari sun'iy intellekt, mashinali o'qitish va prognozlash algoritmlari bilan boyitilmoqda. Bu orqali batareya degradatsiyasini oldindan baholash, optimal zaryadlash strategiyasini tanlash va foydalanuvchiga tavsiyalar berish imkoniyati paydo bo'ladi.

3.7. Haydash uslubi va yuklama ta'siri

Elektromobil batareyasining ishlashiga haydovchining boshqaruv uslubi ham ta'sir qiladi. Keskin tezlanish, yuqori tezlikda uzoq harakatlanish, doimiy yuqori quvvat talab qilish va og'ir yuk bilan yurish batareyadan katta tok olishga sabab bo'ladi. Bu esa ichki qarshilik tufayli issiqlik ajralishini kuchaytiradi va batareya hujayralariga qo'shimcha stress beradi.

Aksincha, silliq tezlanish, regenerativ tormozlashdan oqilona foydalanish, o'rtacha tezlikda harakatlanish va energiya sarfini nazorat qilish batareya yuklamasini kamaytiradi. Shuningdek, avtomobil aerodinamik qarshiligi, shina bosimi, yo'l sharoiti va tashqi harorat ham batareya energiya sarfiga ta'sir qiladi.

Elektromobil yuqori tezlikda harakatlanganda aerodinamik qarshilik keskin ortadi. Natijada batareyadan ko'proq energiya talab qilinadi. Bu esa yurish masofasini kamaytiradi va batareya tezroq razryadlanishiga olib keladi. Shuning uchun elektromobillarda energiya samaradorligi faqat batareya sifatiga emas, balki avtomobilning umumiy konstruktiv va ekspluatatsion xususiyatlariga ham bog'liq.

4. Muhokama

Tahlil natijalari shuni ko'rsatadiki, elektromobil batareyalarining ishlashi birgina texnik parametrga bog'liq emas. U murakkab elektro-kimyoviy, issiqlik, mexanik va boshqaruv jarayonlari yig'indisi orqali shakllanadi. Batareya degradatsiyasi odatda ikki asosiy yo'nalishda yuz beradi: **kalendar qarish** va **siklik qarish**.

Kalendar qarish batareya ishlatilmagan holatda ham vaqt o'tishi bilan yuz beradi. Bu jarayon, ayniqsa yuqori SOC va yuqori haroratda tezlashadi. Masalan, elektromobil yoz faslida 100 foiz zaryad bilan uzoq vaqt quyosh ostida qoldirilsa, batareya kimyoviy jihatdan tezroq eskirishi mumkin.

Siklik qarish esa batareya zaryadlanish va razryadlanish jarayonlarida yuz beradi. Har bir siklda elektrod materiallari hajm jihatidan kengayadi va torayadi, ionlar almashinuvi sodir bo'ladi, ichki qarshilik o'zgaradi. Chuqur razryadlanish, yuqori C-rate, tezkor zaryadlash va keskin yuklama ushbu jarayonni tezlashtiradi.

Batareya ishlashini yaxshilashda eng muhim yechimlardan biri issiqlik boshqaruvini takomillashtirishdir. Zamonaviy elektromobillarda suyuqlik bilan sovutish, havo bilan sovutish, faza o'zgaruvchi materiallar va issiqlik nasoslari qo'llaniladi. 2025-yilgi sharhlarda batareya thermal management tizimlari zaryad/razryad samaradorligi, xavfsizlik va uzoq muddatli chidamlilikni belgilovchi muhim omil sifatida baholangan.

Bundan tashqari, foydalanuvchi odatlari ham katta ahamiyatga ega. Batareyani doimiy 100 foizgacha zaryadlash, tez-tez 0 foizga tushirish yoki yuqori quvvatli tezkor zaryadlashdan muntazam foydalanish batareya salomatligini pasaytiradi. Oddiy foydalanuvchi uchun eng samarali strategiya — avtomobilni kundalik ehtiyojga mos ravishda 20–80 foiz oralig'ida ishlatish, imkon qadar sekin yoki o'rtacha quvvatli zaryadlashdan foydalanish va batareyani haddan tashqari issiq yoki sovuq sharoitda uzoq saqlamaslikdir.

Yana bir muhim masala — batareya degradatsiyasining elektromobil energiya sarfiga ta'siridir. Tadqiqotlarda batareya sig'imi pasayishi avtomobilning yurish masofasini kamaytirishi va har bir kilometr to'g'ri keladigan energiya sarfini oshirishi mumkinligi ko'rsatilgan. Masalan, ayrim modellashtrish ishlari 30 foiz sig'im yo'qotilishi sharoitida kilometr energiya sarfi va emissiya ko'rsatkichlari oshishini qayd etgan.

Shu sababli elektromobil batareyasini faqat avtomobilning ehtiyot qismi sifatida emas, balki transport tizimining energiya samaradorligini belgilovchi strategik komponent sifatida baholash kerak. Batareya ishlashini yaxshilash elektromobilning ekspluatatsion narxini kamaytiradi, foydalanuvchi ishonchini oshiradi va elektr transportning ekologik ustunliklarini kuchaytiradi.

5. Xulosa

Elektromobil batareyalarining ishlashiga ta'sir etuvchi omillarni tahlil qilish natijasida quyidagi xulosalarga kelindi:

Birinchidan, harorat batareya samaradorligi va xizmat muddatini belgilovchi eng muhim omillardan biridir. Juda past harorat batareya ichki qarshiligini oshirib, yurish masofasini kamaytiradi, juda yuqori harorat esa kimyoviy degradatsiyani tezlashtiradi va xavfsizlik xavfini oshiradi.

Ikkinchidan, tezkor zaryadlash qulay texnologiya bo'lsa-da, undan haddan tashqari ko'p foydalanish batareya hujayralarida issiqlik va elektro-kimyoviy stressni kuchaytiradi. Shu sababli kundalik sharoitda sekin yoki o'rtacha quvvatli zaryadlashdan foydalanish maqsadga muvofiq.

Uchinchidan, SOC va DoD ko'rsatkichlari batareya degradatsiyasiga bevosita ta'sir qiladi. Batareyani doimiy 100 foizda saqlash yoki 0 foizga yaqin holatgacha tushirish sig'im kamayishini tezlashtiradi. Optimal foydalanish uchun 20–80 foiz zaryad oralig'i tavsiya etiladi.

To'rtinchidan, batareya kimyoviy tarkibi uning energiya zichligi, xavfsizligi, sovuq va issiq sharoitdagi ishlashi hamda siklik xizmat muddatiga ta'sir qiladi. NMC batareyalar yuqori energiya zichligi bilan, LFP batareyalar esa xavfsizlik va uzoq xizmat muddati bilan ajralib turadi.

Beshinchidan, BMS va issiqlik boshqaruv tizimlari batareya samaradorligini oshirishda asosiy texnologik vositalardir. BMS hujayralar balansini saqlaydi, xavfsizlikni ta'minlaydi va batareyaning real holatini nazorat qiladi.

Umuman olganda, elektromobil batareyalarining uzoq muddatli va samarali ishlashi batareya konstruksiyasi, kimyoviy tarkibi, boshqaruv tizimi, zaryadlash strategiyasi, iqlim sharoiti va foydalanuvchi odatlarining uyg'unligiga bog'liq. Kelgusida batareyalar xizmat muddatini oshirish uchun ilg'or BMS algoritmlari, samarali sovutish-isitish tizimlari, barqaror kimyoviy tarkiblar va aqlli zaryadlash infratuzilmasini rivojlantirish muhim hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. International Energy Agency. Global EV Outlook 2026: Electric vehicle batteries. Ushbu manbada 2025-yilda EV batareyalari joylashtirilishi 1,2 TWh darajaga yetgani va elektromobillar global batareya talabining asosiy manbai bo'lib qolayotgani keltirilgan.
2. Rahman T. va boshqalar. Exploring Lithium-Ion Battery Degradation. Batteries, 2024. Maqolada litiy-ion batareyalar degradatsiyasiga ta'sir etuvchi omillar — harorat, sikllanish, elektrolit parchalanishi, kalendar qarish va DoD tahlil qilingan.
3. Harasis S. va boshqalar. The impact of high ambient temperatures on lithium-ion batteries. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2026. Tadqiqotda yuqori haroratning batareya ishlashi, xavfsizligi va xizmat muddatiga ta'siri yoritilgan.
4. Neubauer J. S. va boshqalar. Will Your Battery Survive a World With Fast Chargers? National Renewable Energy Laboratory, 2015. Manbada tezkor zaryadlashning batareya harorati va degradatsiyasiga ta'siri modellashirilgan.
5. Geotab. EV Battery Health: Key Findings from 22,700 Vehicle Data. Ushbu amaliy tahlilda elektromobil batareyalari degradatsiyasi, DC fast charging va iqlim omillarining ta'siri ko'rib chiqilgan.
6. Yüksek G. va boshqalar. Effect of the Depth of Discharge and C-Rate on Battery Degradation. 2023. Tadqiqotda chuqur razryadlanish va yuqori C-rate batareya sig'imi kamayishini tezlashtirishi ko'rsatilgan.
7. Wen T. va boshqalar. Advances and Challenges in the Battery Thermal Management System. 2025. Maqolada batareya thermal management tizimlarining zaryad/razryad samaradorligi, xavfsizlik va xizmat muddatiga ta'siri tahlil qilingan.
8. Yang F. va boshqalar. Predictive modeling of battery degradation and greenhouse gas emissions from U.S. state-level electric vehicle operation. 2018. Tadqiqotda batareya sig'imi kamayishi elektromobil energiya sarfi va emissiya ko'rsatkichlariga ta'sir qilishi modellashirilgan.