

PAST OB-HAVO SHAROITIDA ELEKTROMOBIL BATAREYASINI QIZDIRISHGA SARFLANADIGAN ENERGIYANING EKSPERIMENTAL TAHLILI

Qosimov Baxtiyor Axmatjonovich

Transport vositalari muhandisligi kafedrası assistenti

Jizzax politexnika institute

E-mail: baxtiyoraxmatjonovich@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0004-2359-7732>

tel: +99891 569 97 04

Annotatsiya: Mazkur maqolada past harorat sharoitida elektromobil tortuvchi batareyasini belgilangan ishchi haroratgacha qizdirish uchun sarflanadigan energiya miqdori eksperimental tadqiqotlar asosida tahlil qilingan. Tajribalar batareyaning boshlang'ich harorati -5°C , 0°C va 5°C bo'lgan sharoitlarda amalga oshirilib, har bir holatda batareya harorati 25 gacha oshirilgan. Eksperiment natijalariga ko'ra, -5°C haroratda batareyani bir marta qizdirish uchun 4,01 kWh, 0°C da 3,36 kWh va 5°C da 2,69 kWh energiya sarflangan. Batareyani shartli ravishda olti marta to'liq qizdirish uchun sarflanadigan umumiy energiya mos ravishda 24,06; 20,16 va 16,14 kWh ni tashkil etgan. Natijalar asosida boshlang'ich harorat ortishi bilan batareyani qizdirish uchun talab etiladigan energiya deyarli chiziqli kamayishi aniqlangan.

Kalit so'zlar: elektromobil, litiy-ion batareya, termal boshqaruv, past harorat, batareyani qizdirish, energiya sarfi, qizdirish vaqti, energiya samaradorligi.

Kirish. Elektromobillarning ekspluatatsion samaradorligini belgilovchi asosiy omillardan biri tortuvchi batareyaning harorat holati hisoblanadi. Atrof-muhit haroratining pasayishi litiy-ion batareyalarda elektrokimyoviy jarayonlarning sekinlashishi, elektrolit qovushqoqligining ortishi va ichki qarshilikning oshishiga olib keladi. Natijada batareyaning mavjud quvvati, energiya qaytarish xususiyati va zaryad

qabul qilish imkoniyati pasayishi mumkin. Shu sababli zamonaviy elektromobillarda batareyaning haroratini boshqarish uchun Battery Thermal Management System - BTMS tizimlari qo'llaniladi [1].

Past haroratda batareyani ishga tushirishdan oldin qizdirish uning elektr va termal xususiyatlarini yaxshilashda muhim ahamiyatga ega. Tadqiqotlarda past haroratda tez zaryadlash jarayoni litiy qoplamasi hosil bo'lishi bilan bog'liq qo'shimcha xavflarni yuzaga keltirishi mumkinligi ko'rsatilgan. Shuning uchun batareyani oldindan qizdirish va uning termal holatini nazorat qilish xavfsizlik hamda energiya samaradorligi nuqtai nazaridan muhim hisoblanadi.

Biroq batareyani qizdirish jarayoni ham energiya talab qiladi. Ushbu energiya to'g'ridan-to'g'ri elektromobilning asosiy energiya zaxirasidan sarflansa, transport vositasining yurish masofasiga ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli sovuq iqlim sharoitida batareyaning boshlang'ich harorati, belgilangan maqsadli harorat, qizdirish davomiyligi va energiya sarfi o'rtasidagi bog'lanishni aniqlash alohida ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

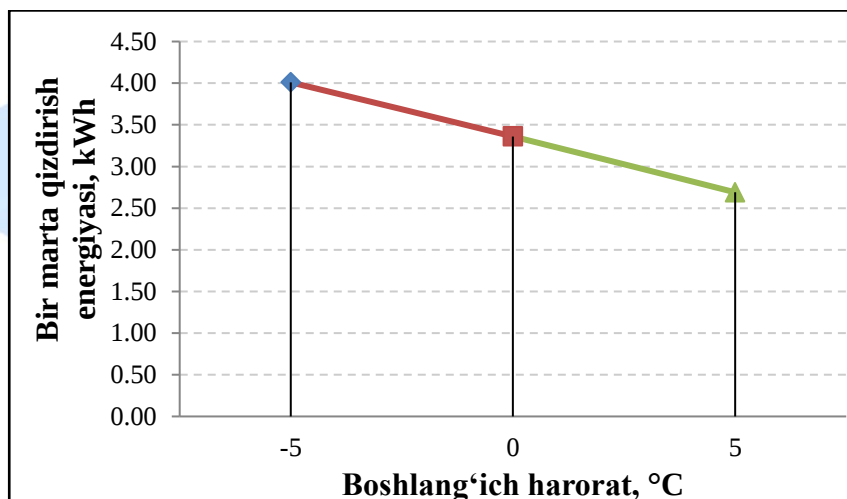
O'zbekiston Respublikasida kuzgi-qishki mavsum davomida sutkalik va mavsumiy harorat sezilarli o'zgarib turadi. Shu sababli elektromobil batareyasining qizdirish energiyasini faqat bitta boshlang'ich harorat uchun emas, balki bir nechta harorat sharoitlari uchun aniqlash zarur.

Mazkur tadqiqotning maqsadi -5°C , 0°C va 5°C boshlang'ich haroratlarda elektromobil batareyasini 25°C gacha qizdirishga sarflanadigan energiyani eksperimental baholash hamda boshlang'ich harorat bilan energiya sarfi o'rtasidagi qonuniyatni aniqlashdan iborat.

Har bir tajribada batareyani qizdirish tizimi ishga tushirilib, batareya harorati 25°C ga yetguniga qadar sarflangan elektr energiyasi qayd etildi [2].

Eksperimentning umumiy ketma-ketligi quyidagicha amalga oshirildi:

boshlang'ich haroratni o'rnatish $\rightarrow$ batareyani 25°C gacha qizdirish $\rightarrow$ energiya sarfini o'lchash $\rightarrow$ qizdirish vaqtini qayd qilish $\rightarrow$ natijalarni matematik qayta ishlash $\rightarrow$ haroratlarni bo'yicha taqqoslash.



1-rasm. Eksperimental tadqiqotning blok-sxemasi

Eksperiment natijasida aniqlangan bir martalik qizdirish energiyasi asosida ma'lum davrdagi umumiy energiya sarfi quyidagi ifoda orqali aniqlandi:

$$E_h = n \cdot E_1 \quad (1)$$

bu yerda:

E_h - batareyani belgilangan miqdorda qizdirish uchun jami energiya sarfi, kWh;

E_1 - batareyani bir marta boshlang'ich haroratdan 25°C gacha qizdirish energiyasi, kWh;

n - qizdirishlar soni.

Hisoblashda $n = 6$ deb qabul qilindi.

Batareyaning boshlang'ich va yakuniy haroratlari orasidagi farq quyidagicha aniqlandi:

$$\Delta T = T_{maqsad} - T_0 \quad (2)$$

bu yerda

$T_{maqsad} = 25^\circ\text{C}$,

T_0 - batareyaning boshlang'ich haroratidir.

O'tkazilgan tajribada batareyaning boshlang'ich harorati -5°C bo'lganida, uni 25°C gacha bir marta qizdirish uchun 4,01 kWh energiya sarflandi. Ushbu holatda harorat farqi:

$$\Delta T = 25 - (-5) = 30^{\circ}\text{C}.$$

Olti martalik qizdirish uchun jami energiya sarfi:

$$E_h = 6 \cdot 4,01 = 24,06 \text{ kWh}.$$

Batareyaning boshlang'ich harorati 0°C bo'lgan tajribada uni 25°C gacha qizdirish uchun 3,36 kWh energiya sarflandi. Bir marta qizdirish jarayonining davomiyligi 23 daqiqani tashkil etdi.

Ushbu holatda:

$$\Delta T = 25 - 0 = 25^{\circ}\text{C} \text{ va } E_h = 6 \cdot 3,36 = 20,16 \text{ kWh}.$$

Batareya harorati 5°C bo'lgan sharoitda uni 25°C gacha qizdirishga 2,69 kWh energiya sarflandi. Olti martalik umumiy energiya sarfi:

$$E_h = 6 \cdot 2,69 = 16,14 \text{ kWh}.$$

Tajriba natijalari 1-jadvalda umumlashtirilgan.

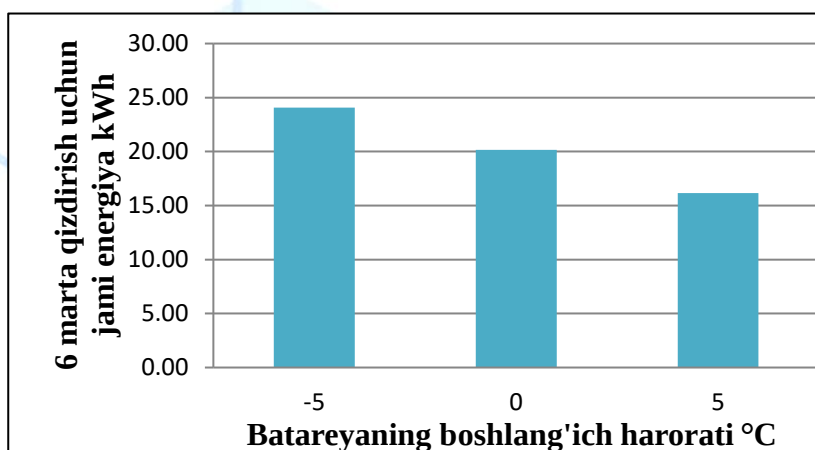
1-jadval

Batareyani $+25^{\circ}\text{C}$ gacha qizdirish bo'yicha eksperimental natijalar

Boshlang'ich harorat T_0 , $^{\circ}\text{C}$	Maqsadli harorat, $^{\circ}\text{C}$	ΔT , $^{\circ}\text{C}$	Bir martalik energiya E_1 , kWh	6 martalik energiya E_h , kWh	Qizdirish vaqti, min
---	--------------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------	---------------------------------	----------------------

-	25	30	4,01	24,06	-
0	25	25	3,36	20,16	23
5	25	20	2,69	16,14	-

Jadval natijalari batareyaning boshlang'ich harorati oshib borishi bilan qizdirishga sarflanadigan energiya kamayishini ko'rsatadi.



2-rasm. Batareyaning boshlang'ich harorati va bir martalik qizdirish energiyasi o'rtasidagi bog'lanish

-5°C dan 0°C gacha boshlang'ich haroratning 5°C ga ortishi bir martalik qizdirish energiyasini:

$$\Delta E = 4,01 - 3,36 = 0,65 \text{ kWh, ga kamaytirdi.}$$

$$\text{Nisbiy kamayish: } E = (0,65 / 4,01) \cdot 100 = 16,2 \text{ \%}.$$

Boshlang'ich harorat 0°C dan 5°C gacha oshirilganda energiya sarfi:

$$\Delta E = 3,36 - 2,69 = 0,67 \text{ kWh, ga yoki } 0^\circ\text{C dagi qiymatga nisbatan qariyb } 19,9 \text{ \% ga kamaydi.}$$

-5°C va 5°C sharoitlarini o'zaro solishtirganda energiya sarfi: $4,01 - 2,69 = 1,32$ kWh ga kamaygan bo'lib, bu -5°C dagi energiya sarfiga nisbatan 32,9 % kamayishni anglatadi.

Olti martalik qizdirish uchun umumiy energiya sarfida ham xuddi shunday tendensiya kuzatildi.

5°C sharoitida umumiy sarf 24,06 kWh bo'lgan bo'lsa, 5°C da bu qiymat 16,14 kWh gacha kamaydi. Natijada:

$$\Delta E_h = 24,06 - 16,14 = 7,92 \text{ kWh.}$$

Demak, batareyaning boshlang'ich harorati -5°C dan 5°C gacha ko'tarilishi olti qizdirish sikli hisobida 7,92 kWh energiyani tejash imkonini bermoqda.

Eksperimental natijalarni yanada chuqurroq baholash maqsadida batareya haroratini 1 °C ga oshirish uchun sarflangan energiya quyidagi ifoda orqali aniqlandi:

$$k_T = \frac{E_1}{\Delta T} \quad (3)$$

Hisoblash natijalari 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval

Batareya haroratini 1°C ga oshirish uchun sarflangan energiya

T ₀ , °C	ΔT, °C	E ₁ , kWh	k _T , kWh/°C
-5	30	4,01	0,1337
0	25	3,36	0,1344
5	20	2,69	0,1345

Natijalardan ko'rinadiki, uchta eksperimental holatda ham 1°C harorat oshishiga to'g'ri keladigan energiya miqdori bir-biriga juda yaqin.

Ularning o'rtacha qiymati:

$$k_{T,o'rtacha} = 0,1342 \text{ kWh/°C}$$

Bu natija -5...5°C eksperimental oralig'ida batareyani qizdirish energiyasi harorat farqiga deyarli proporsional ekanligini ko'rsatadi.

Shu asosda bir martalik qizdirish energiyasini taxminiy aniqlash uchun quyidagi empirik ifodadan foydalanish mumkin:

$$E_1 \approx 0,1342 (25 - T_0), \quad (4)$$

bu yerda $-5^\circ\text{C} \leq T_0 \leq +5^\circ\text{C}$.

Masalan, $T_0 = 0^\circ\text{C}$ bo'lganda:

$$E_1 = 0,1342 (25 - 0) = 3,355 \text{ kWh}.$$

Eksperimental qiymat esa 3,36 kWh ni tashkil etgan. Hisobiy va eksperimental natijalar orasidagi farq juda kichik.

Eksperimental nuqtalar bo'yicha oddiy chiziqli approksimatsiya:

$$E_1 = 3,353 - 0,132 \cdot T_0 \quad (5)$$

ko'rinishida ifodalanadi.

Mazkur bog'lanishga ko'ra, tadqiq qilingan $-5...5^\circ\text{C}$ oralig'ida batareyaning boshlang'ich haroratini har 1°C ga oshirish bir martalik qizdirish energiyasini o'rtacha 0,132 kWh ga kamaytiradi [3-4].

Biroq ushbu empirik bog'lanish faqat tadqiqotda tekshirilgan harorat oralig'iga tegishli bo'lib, undan tashqaridagi haroratlar uchun qo'shimcha eksperimental sinovlar talab etiladi.

Olingan natijalar batareyani qizdirish uchun sarflanadigan energiyaning asosiy omillaridan biri uning boshlang'ich harorati ekanligini ko'rsatmoqda. Batareyaning boshlang'ich harorati maqsadli 25°C haroratga qanchalik yaqinlashsa, qizdirilishi kerak bo'lgan harorat farqi shunchalik kamayadi va natijada qizdirish tizimining energiya talabi pasayadi.

Ushbu natija issiqlik balansining umumiy fizik mohiyatiga mos keladi. Batareyaga uzatilishi kerak bo'lgan issiqlik miqdorini umumiy ko'rinishda:

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T + Q_{yo'qotish} \quad (6)$$

ko'rinishida ifodalash mumkin.

bu yerda:

m - batareyaning massasi;

cp - batareyaning solishtirma issiqlik sig'imi;

ΔT - haroratlar farqi;

$Q_{yo'qotish}$ - qizdirish davomida atrof-muhitga yo'qotilgan issiqlik.

ΔT ning kamayishi batareyaga berilishi kerak bo'lgan issiqlik energiyasini ham kamaytiradi. Amaliy tizimda esa sarflanadigan elektr energiyasi qizdirgichning foydali ish koeffitsienti, issiqlik uzatish sharoiti, atrof-muhit harorati, batareya korpusining issiqlik izolyatsiyasi va qizdirish davomiyligiga ham bog'liq.

Zamonaviy BTMS tizimlarining vazifasi nafaqat batareyaning ortiqcha qizishini oldini olish, balki sovuq sharoitlarda batareyani samarali qizdirish va batareya modullari o'rtasidagi harorat farqini cheklashdan iborat. Energiya sarfini optimallashtiruvchi boshqaruv algoritmlari ayniqsa elektromobillarning sovuq iqlimdagi ekspluatatsiyasida muhim hisoblanadi [5].

Mazkur eksperimentda 0°C boshlang'ich haroratda batareyani 25°C gacha qizdirish uchun 23 daqiqa vaqt sarflanishi aniqlangan. Ushbu natija qizdirish energiyasidan tashqari vaqt omilini ham boshqaruv algoritmiga kiritish lozimligini ko'rsatadi. Chunki qizdirish jarayonini faqat minimal energiya mezoni bo'yicha boshqarish ayrim hollarda qizdirish vaqtining ortib ketishiga olib kelishi mumkin. Shu sababli istiqbolda optimallashtirish mezoni:

$$F = f(E_h \cdot t_h \cdot T_0 \cdot T_{maqsad})$$

ko'rinishida shakllantirilib, energiya sarfi va qizdirish vaqtini birgalikda minimallashtirish maqsadga muvofiq.

Xulosa qilib aytganda o'tkazilgan eksperimental tadqiqotlar asosida quyidagilar olindi va tahlil qilindi. Batareyaning boshlang'ich harorati -5°C bo'lganda uni 25°C gacha bir marta qizdirishga 4,01 kWh, olti martalik qizdirishga esa 24,06 kWh energiya sarflandi. Boshlang'ich harorat 0°C bo'lgan sharoitda bir martalik energiya

sarfi 3,36 kWh, olti martalik energiya sarfi 20,16 kWh ni tashkil etdi. Ushbu haroratda qizdirish vaqti 23 daqiqa bo'ldi. Boshlang'ich harorat 5°C bo'lganda batareyani 25°C gacha bir marta qizdirish uchun 2,69 kWh, olti marta qizdirish uchun 16,14 kWh energiya sarflandi. Batareyaning boshlang'ich harorati -5°C dan 5°C gacha ortishi natijasida bir martalik qizdirish energiyasi 4,01 kWh dan 2,69 kWh gacha, ya'ni 32,9 % ga kamaydi. Xuddi shu harorat oralig'ida olti martalik qizdirishga sarflanadigan jami energiya 24,06 kWh dan 16,14 kWh gacha kamayib, 7,92 kWh energiya tejalishi aniqlandi.

Olingan natijalardan elektromobillarning sovuq iqlim sharoitidagi batareya termal boshqaruv tizimini takomillashtirish, qizdirish jarayonini boshlang'ich haroratga mos ravishda boshqarish hamda qizdirish uchun sarflanadigan energiyani kamaytirishga qaratilgan algoritmlarni ishlab chiqishda foydalanish mumkin.

Фойдаланилган адабиётлар

1. Pesaran A.A. An Approach for Designing Thermal Management Systems for Electric and Hybrid Vehicle Battery Packs. - National Renewable Energy Laboratory, 1999.
2. Shahjalal M., Shams T., Islam M.E., Alam W., Modak M., Hossain S.B., et al. A review of thermal management for Li-ion batteries: Prospects, challenges, and issues // *Journal of Energy Storage*. 2021. Volume 39. DOI: 10.1016/j.est.2021.102518.
3. Shao D., Hu L., et al. Advanced low-temperature preheating strategies for power lithium-ion batteries applied in electric vehicles: A review // *International Journal of Electrochemical Science*. 2024. Volume. 19, Nombr 9. 100817. DOI: 10.1016/j.ijoes.2024.100817.
4. Ali Z.M., Jurado F., Gandoman F.H., Calasan M. Advancements in battery thermal management for electric vehicles: Types, technologies, and control strategies including deep learning methods // *Ain Shams Engineering Journal*. 2024. Volume. 15, Nombr. 9. 102908. DOI: 10.1016/j.asej.2024.102908.

5. Liu H., Shi C., Liu C., Chang W. A Review of Lithium-Ion Battery Thermal Management Based on Liquid Cooling and Its Evaluation Method // *Energies*. 2025. Volume. 18. Nombr 17. 4569. DOI: 10.3390/en18174569.