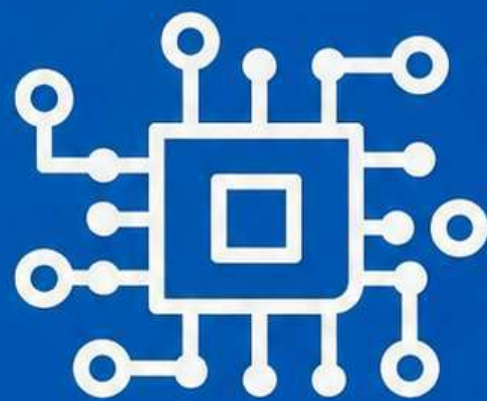




TECH SCIENCE

ISSN 3030-3702

**TEXNIKA FANLARINING
DOLZARB MASALALARI**

**TOPICAL ISSUES OF TECHNICAL
SCIENCES**



**№ 4-maxsus
son (4) 2026**

BOSH MUHARRIR:

ABBAZOV ILHOM ZAPIROVICH

TAHRIR HAY'ATI:

Usmankulov Alisher Kadirkulovich — Texnika fanlari doktori, professor, Jizzax, O'zbekiston;

Fayziyev Xomitxon – texnika fanlari doktori, professor, Toshkent, O'zbekiston;

Rashidov Yusuf Karimovich – texnika fanlari doktori, professor, Toshkent, O'zbekiston;

Adizov Bobirjon Zamirovich – Texnika fanlari doktori, professor, Toshkent, O'zbekiston;

Abdunazarov Jamshid Nurmuxamatovich — Texnika fanlari doktori, dotsent, Jizzax, O'zbekiston;

Eshonkulov Ravshan Abdurazakovich — Texnika fanlari doktori, dotsent, Qashqadaryo, O'zbekiston;

Umarov Shavkat Isomiddinovich – Texnika fanlari doktori, professor, Jizzax, O'zbekiston;

Bozorov G'ayrat Rashidovich – Texnika fanlari doktori, Buxoro, O'zbekiston;

Maxmudov Muxtor Jamolovich – Texnika fanlari doktori, Buxoro, O'zbekiston;

Asatov Nurmuxammad Abdunazarovich – Texnika fanlari nomzodi, professor, Jizzax, O'zbekiston;

Mamayev G'ulom Ibroximovich – Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), Jizzax, O'zbekiston;

Ochilov Abduraxim Abdurasulovich – Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), Buxoro, O'zbekiston.

OAK Ro'yxati

Mazkur jurnal O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasi Rayosatining 2025-yil 8-maydagi 370-son qarori bilan texnika fanlari bo'yicha ilmiy darajalar yuzasidan dissertatsiyalar asosiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan.

Muassislar: "SCIENCEPROBLEMS TEAM" mas'uliyati cheklangan jamiyati;
Jizzax politexnika instituti.

TECHSCIENCE.UZ- TEXNIKA**FANLARINING DOLZARB****MASALALARI** elektron jurnali

15.09.2023-yilda 130343-sonli

guvohnoma bilan davlat ro'yxatidan
o'tkazilgan.

TAHRIRIYAT MANZILI:

Toshkent shahri, Yakkasaroy tumani, Kichik
Beshyog'och ko'chasi, 70/10-uy.

Elektron manzil:

scienceproblems.uz@gmail.com

Barcha huquqlar himoyalangan.

© Scienceproblems team, 2026-yil

© Mualliflar jamoasi, 2026-yil

MUNDARIJA

<i>Mamirov Uktam, Khudoyberdiyev Asror</i> FUZZY-LOGIC-BASED ASSESSMENT OF THE DURABILITY CRITERION OF A CONTINUOUS CASTING MACHINE	4-12
<i>Shanning Fu, Ya Han, Bekmurotov Dilshod</i> CONTROLLED EVALUATION OF STATE-AWARE AND VERIFIABLE RAG FOR ENGLISH-LANGUAGE TUTORING: RETRIEVAL RELIABILITY, GROUNDING, AND VERIFICATION	13-26
<i>Fayzullayev Xayriddin</i> MUHANDISLIK GRAFIKASI FANINI O'RGANISHDA "TEKISLIK LARNING KESISHISHI" MAVZUSINI O'QITISH USULI	27-32
<i>Muinov Ulug'bek, Usmonov Botir</i> KICHIK QUUVATLI SHAMOL ENERGETIK TIZIMIDA PI-ROSTLAGICH ASOSIDA KUCHLANISHNI BOSHQARISH	33-44
<i>Sayitov Shavkatjon, Sarimsakov Olimjon</i> PAXTA XOMASHYOSINI QURITISHNING KO'P PARAMETRLI AVTOMATLASHTIRILGAN MONITOTING TIZIMINI ISHLAB CHIQISH	45-50
<i>Haitov Bozar</i> BISMUT VOLFRAMAT (Bi_2WO_6 , BiWO_4) NI SINTEZ QILISH USULLARI: ZAMONAVIY YONDASHUVLAR TAHLILI	51-58
<i>Ishnazarov Oybek, Hoshimov Ural</i> KOMPRESSOR USKUNASINI AVTOMATLASHTIRILGAN ISHLASH REJIMIDAGI DINAMIK JARAYONLARNING TAHLILI	59-67
<i>Shavazov Abdulatif, Turaxanov Sherzod, Ilekeroval Indira</i> BOSHQARILUVCHI ELEKTR YURITMALAR ISH REJIMLARINI OPTIMALLASHTIRISH USULLARINI TAKOMILLASHTIRISH.....	68-75
<i>Nurlibayeva Zarina</i> TIKUV MASHINASI IGNA IPINI TARANGLAGICHINING QAYISHQOQ ELEMENTLI KONSTRUKTIV PARAMETRLARINI TADBIQ ETISH	76-83
<i>Bazarov Baxtiyor, Odilov Odiljon, Bo'tayev Azizjon</i> SINTETIK GAZ YONILG'ISIDAN FOYDALANIB CHEVROLET COBALT VA CHEVROLET TRACKER YENGIL AVTOMOBILLARINING EKSPLOATATSION KO'RSATKICHLARINI OSHIRISH: MATLAB/SIMULINK ASOSIDAGI MODELLASHTIRISH TADQIQOTI	84-90
<i>Karimxodjayev Nazirjon, Ismatov Biloldin</i> ELEKTROMOBIL BATAREYALARINI ZARYADLASH JARAYONIDA YASHIRIN KRITIK HOLATLARNI AMALIY DIAGNOSTIKA QILISH METODIKASI	91-99
<i>Musurmonov Ulug'bek</i> POLIMER MODIFIKATSIYALANGAN BITUM ASOSIDA ASFALT-BETON QORISHMASINING FIZIK-MEXANIK XUSUSIYATLARINI TADQIQ ETISH.....	100-107

ELEKTROMOBIL BATAREYALARINI ZARYADLASH JARAYONIDA YASHIRIN KRITIK HOLATLARNI AMALIY DIAGNOSTIKA QILISH METODIKASI

Karimxodjayev Nazirjon

“Andijon davlat texnika institute”, t.f.n. dotsent

Ismatov Biloldin Orifboy o‘g‘li

“Andijon davlat texnika instituti”, tayanch doktorant

Email: biloldinismatov1997@gmail.com

Annotatsiya. Elektromobil BMS tizimlari batareaning xavfsizligini asosan terminal kuchlanish, tok va sirt harorati asosida baholaydi, biroq bu signallar hujayra ichidagi elektrokimyoviy holatni bevosita aks ettirmaydi - natijada tez zaryadlash rejimlarida litij cho‘kishiga xos ichki og‘ishlar sezilmasdan qolishi mumkin. Ushbu maqolada BMS tomonidan kuzatiladigan tashqi signallarning shunday “yashirin” holatlarni qanchalik o‘z vaqtida qamrab olishini laboratoriya etalon o‘lchovlari - reference electrode (RE) va ichki termojuft - yordamida tekshirish uchun amaliy diagnostika metodikasi taklif etiladi. Metodika RE’ni ishlab chiqarish BMS’iga integratsiya qilinadigan sensor sifatida emas, balki mavjud BMS qoidalarini sinovdan o‘tkazuvchi mustaqil benchmark vositasi sifatida qo‘llashga asoslangan. 1 Ah LFP/grafit pouch hujayrada (25 °C, ≈0,33 A, uch sikl) o‘tkazilgan sinovda ichki etalon signalning tayanch hodisasi qayd etilgan vaqtda standart kuchlanish chegaralari (4,00 V; 4,10 V) uni bir necha yuz soniyadan bir necha ming soniyagacha kechikib qamragani, aksincha past darajadagi eksplorativ skrining nuqtasi esa ancha oldinroq ogohlantirish signali berishi mumkinligi ko‘rsatildi. Mustaqil prizmatik hujayra tajribasida ichki-sirt harorat farqi tok kuchi ortishi bilan sezilarli darajada kengayishi kuzatildi. Ushbu kuzatishlar asosida “qabul qilish-sinxronlash-skrining-qaror-amaliy harakat” bosqichlaridan iborat besh bosqichli diagnostika algoritmi va signal qamrovini erta/kechikkan/o‘tkazib yuborilgan toifalarga ajratuvchi baholash sxemasi ishlab chiqildi. Ishning maqsadi - mavjud BMS arxitekturasini almashtirish emas, balki uni validatsiya qilish va servis darajasidagi diagnostika qarorlarini qo‘llab-quvvatlashdir; olingan chegara qiymatlari universal xavfsizlik mezonini sifatida emas, balki metodik skrining nuqtalari sifatida talqin etiladi. Natijalarning kengroq elektrokimyoviy asoslanishi va statistik validatsiyasi tadqiqot dasturining alohida, chuqurroq nashrida ko‘rib chiqiladi; mazkur maqola esa amaliyotchi muhandislar va servis xizmatlari uchun mo‘ljallangan qo‘llanma-metodika sifatida shakllantirilgan.

Kalit so‘zlar: elektromobil, litij-ion batareya, yashirin kritik holat, reference electrode, terminal kuchlanish, sirt harorati, ichki harorat, BMS diagnostikasi, amaliy validatsiya, tez zaryadlash.

A LABORATORY METHOD FOR ASSESSING THE ABILITY OF EXTERNAL DIAGNOSTIC SIGNALS TO CAPTURE HIDDEN CRITICAL STATES DURING ELECTRIC VEHICLE BATTERY CHARGING

Karimkhodjaev Nazirjon

Andijan State Technical Institute

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Ismatov Biloldin Orifboy o‘g‘li

Andijan State Technical Institute, PhD Student

Annotation. Terminal voltage, current, and surface temperature monitored by electric vehicle battery management systems (BMS) do not directly measure the electrochemical and thermal states within a cell. This paper proposes a laboratory method for assessing the ability of external diagnostic signals to capture internal reference events through comparison with internal measurements. A reference electrode (RE) is used to monitor

the electrochemical state, while internal and surface thermocouples are used to assess the thermal state. The method comprises data acquisition, time synchronization, preliminary screening, diagnostic decision-making, and the selection of practical actions. Temporal coverage is evaluated using the difference between the time at which an external criterion is triggered and the time at which an internal reference event is recorded. The outcomes are classified as early or simultaneous detection, delayed detection, and missed detection. In a three-cycle experiment conducted on a 1 Ah lithium-ion pouch cell at 25 °C and a charging rate of approximately 0.33C, the selected terminal voltage thresholds were reached after the internal reference event. In a separate experiment on a prismatic cell, the difference between internal and surface temperatures increased with charging current. These findings demonstrate the temporal limitations of the selected external criteria and provide a basis for laboratory evaluation of BMS diagnostic rules. The proposed thresholds are screening criteria specific to the test conditions. Before their application in service diagnostics, further validation across different cells and charging regimes is required, including an assessment of false alarms.

Keywords: electric vehicle, lithium-ion battery, hidden critical state, reference electrode, terminal voltage, internal and surface temperatures, battery management system, diagnostic delay, laboratory validation.

DOI: <https://doi.org/10.47390/ts-v4is/4y2026N11>

1. Kirish

Elektromobilda batareya xavfsizligi faqat terminal kuchlanishning normal chegarada bo'lishi bilan ta'minlanmaydi. Tez zaryadlash sharoitida grafit anoddagi elektrokimyoviy qutblanish, litiy ionlarining diffuziya tezligi, issiqlik chiqishi va hujayra ichidagi harorat taqsimoti bir vaqtning o'zida va bir-biriga bog'liq holda o'zgaradi [1,2]. Past haroratda yoki yuqori tokda anod potensialining 0 V dan pastga tushishi metall litiy cho'kish (lithium plating) uchun termodinamik shart hisoblanadi va sig'im yo'qotilishi hamda ichki qisqa tutashuv xavfi orqali thermal runaway ehtimolini oshiradi [2,8,11]. Shunga qaramay, seriyali ishlab chiqariladigan BMS odatda faqat terminal kuchlanish, tok, sirt harorati va ulardan hisoblangan SOC/SOH ko'rsatkichlariga tayanadi; bu signallar zarur bo'lsa-da, elektrod potensialining bevosita o'lchovi emas [3,12].

Amaliy muammo shundaki, laboratoriyada aniqlangan ichki xavf belgisi avtomobilga aynan o'sha sensor bilan ko'chirilmaydi: reference electrode (RE) hujayrani buzib o'rnatish, joylashuv xatosi, blocking effekti va mustaqil kalibrlash zarurati bilan bog'liq bo'lib, bu uni seriyali mahsulotga joylashtirishni amalda imkonsiz qiladi [3,13–16]. Natijada muhandislik amaliyotida qarama-qarshilik yuzaga keladi: xavfsizlik nuqtai nazaridan eng informativ signal - elektrod potentsiali - mashinada mavjud emas, mashinada mavjud signallar (terminal kuchlanish, sirt harorati) esa qanchalik ishonchli ekanligi tizimli baholanmagan. Adabiyotda litiy cho'kishini aniqlashning turli usullari - impedans asosidagi, differensial kuchlanish tahlili, optik va akustik usullar - taklif etilgan bo'lsa-da [4,7,19,20], ularning ko'pchiligida laboratoriya sharoitida olingan signal bilan ishlab chiqarish BMS'i signali o'rtasidagi to'g'ridan-to'g'ri qamrov solishtiruvi kam uchraydi. Shu sababli mazkur maqolada RE ishlab chiqarish BMS'iga qo'shiladigan qurilma sifatida emas, balki BMS qoidalarini sinovdan o'tkazuvchi laboratoriya etaloni sifatida qaraladi. Ishning diqqat markazida signallarning kimyoviy tabiati yoki ularning statistik asoslanishi emas, balki amaliyotchi muhandis uchun to'g'ridan-to'g'ri qo'llanadigan tekshirish tartibi, qamrov vaqtini baholash usuli va diagnostik qaror algoritmi turadi. Natijalarning chuqurroq elektrokimyoviy talqini va statistik asoslanishi tadqiqot dasturining alohida nashrida taqdim etiladi.

2. Tadqiqot maqsadi va amaliy vazifasi

Maqsad - hujayra ichida instrumental yo'l bilan kuzatiladigan elektrokimyoviy va termik holatlarni ishlab chiqarish avtomobiliga jismonan ko'chirmagan holda, BMS ko'ra oladigan

tashqi signallarning ushbu holatlarni qamrab olish darajasini laboratoriya etalonlari asosida baholash metodikasini shakllantirishdir. Bunday metodika, birinchi navbatda, BMS kalibrlash va sinov muhandislariga, shuningdek servis diagnostikasi tizimlarini ishlab chiquvchilarga mo'ljallangan. Amaliy vazifa besh bosqichga bo'linadi: a) zaryadlash yozuvini (elektr va termik kanallar) qabul qilish va yaxlitligini tekshirish; b) barcha signallarni yagona elapsed-time vaqt bazasiga keltirish; c) SRE/RE raw-kanali va termik ko'rsatkichlardan tayanch (etalon) hodisani ajratish; d) terminal kuchlanish va sirt haroratining ushbu tayanch hodisani qanchalik erta yoki kech aniqlaganini son jihatdan hisoblash (Δt); e) hisoblangan qamrov natijasiga qarab diagnostik harakat - davom ettirish, tokni cheklash yoki servisga yo'naltirish - tavsiyasini shakllantirish.

BMS yo'naltirilgan validatsiya ish oqimi



1-rasm. BMS yo'naltirilgan amaliy validatsiya ish oqimi: kirish signallaridan qaror va amaliy harakatgacha.

3. Materiallar va usullar

3.1. Tajriba oqimlari

Metodikada uchta o'zaro to'ldiruvchi dalil oqimi qo'llaniladi. Birinchisi - elektr oqimi: 1 Ah LFP/grafit pouch hujayrada 25 °C va $\approx 0,33$ A tokda uch sikl davomida yozilgan terminal kuchlanish (U1-3), SRE raw-kanali (U1-4), tok va sig'im ma'lumotlari; uning vazifasi - elektrodga sezgir hodisani tashqi kuchlanish bilan qiyoslashdir. Ikkinchisi - termik oqim: CH-5 (ichki) va CH-6 (sirt) termojuftlar orqali 0,1 s diskretlashda, 0–16 824 s oralig'ida alohida yozilgan ma'lumot; uning vazifasi - ichki-sirt termik tafovutni aniqlashdir. Uchinchisi - prizmatik xaritalash: alohida ko'p sensorli 1C/3C sinovida olingan ichki va tashqi harorat kuzatuv; uning vazifasi - tok ortishi bilan termik notekislik trendini ko'rsatishdir. Elektr yozuv 78 106 qator, termik yozuv esa 168 245 qatordan iborat bo'lib, ikkala oqim mustaqil qurilmalar orqali yozib olingan.

Xom vaqt eksportida uchraydigan takroriy vaqt belgilari (timestamp collision) alohida audit qilinib, hodisa-vaqt tahlili tiklangan, monotonik elapsed-time o'qida bajarildi - bu qadam, agar chetlab o'tilsa, Δt hisob-kitoblarida bir necha soniyalik sun'iy xatolikka olib kelishi mumkin bo'lgan amaliy ahamiyatga ega. CH-5 va CH-6 ko'rsatkichlari elektr SRE hodisasi bilan sababiy lag munosabatida deb hisoblanmadi, chunki ikkala oqim orasida umumiy apparat triggeri hujjatlashtirilmagan; shu sababli termik va elektr dalillari mazkur maqolada mustaqil, bir-birini to'ldiruvchi ko'rsatkichlar sifatida talqin qilinadi, bitta hodisa sifatida birlashtirilmaydi.

3.2. Signal va mezonlar

SRE=0 V - qabul qilingan elektr yozuvda tanlangan tayanch (reference) hodisa bo'lib, keyingi barcha qamrov hisob-kitoblari shu nuqtaga nisbatan olib boriladi. Ta'kidlash lozimki, ushbu shart mustaqil polarity calibration o'tkazilmaganligi sababli "metall litiy aniq hosil bo'ldi" degan qat'iy xulosani bermaydi - u faqat raw signalning nol darajani kesib o'tish vaqtini

bildiradi. 0,15; 0,10; 0,05 va 0,02 V qiymatlari raw-kanal bo'yicha qo'shimcha, eksplorativ skrining nuqtalari sifatida kiritilgan bo'lib, ular tayanch hodisaga yaqinlashish dinamikasini kuzatish imkonini beradi. Ushbu to'rtta nuqta ichida 0,05 V mezon amaliy ogohlantirish kandidati sifatida alohida ajratildi, chunki u, 1-jadvalda ko'rsatilganidek, tayanch 0 V hodisasidan sezilarli darajada oldinroq qayd etilib, amaliyotda foydali reaksiya vaqti beradi; shu bilan birga u nazariy yoki universal xavfsizlik chegarasi sifatida taqdim etilmaydi, balki faqat mazkur protokol va hujayra uchun tanlangan amaliy skrining parametridir.

Termik ko'rsatkich quyidagicha hisoblandi: $\Delta T = T_{\text{ichki}} - T_{\text{sirt}}$. Musbat ΔT qiymati, qayd etilgan vaqt nuqtasida ichki sensor sirt sensordan yuqoriroq haroratni qayd etganini bildiradi va bu, o'z navbatida, faqat sirt haroratiga tayangan BMS termal nazoratining hujayra ichidagi haroratni kamroq baholashi mumkinligini ko'rsatadi. ΔT - termik notekislikning miqdoriy indikatori bo'lib, uning o'zi thermal runaway sodir bo'lganini yoki bo'lishini tasdiqlamaydi; u faqat sirt o'lchovining ichki holatga nisbatan qanchalik "kechikishi" mumkinligini ko'rsatuvchi amaliy signal sifatida qo'llaniladi.

3.3. Qamrovni baholash

Har bir tashqi BMS hodisasi laboratoriya tayanch hodisasiga nisbatan quyidagi formula bo'yicha baholanadi: $\Delta t = t_{\text{BMS}} - t_{\text{tayanch}}$. $\Delta t \leq 0$ bo'lsa - erta qamrov (BMS signali tayanch hodisadan oldin yoki bir vaqtda javob bergan); $\Delta t > 0$ bo'lsa - kechikib qamrov; agar mos hodisa umuman qayd etilmasa - o'tkazib yuborilgan qamrov deb tasniflanadi. Ushbu uch toifali sxema BMS qoidalarini "ishlaydi/ishlamaydi" tarzida emas, balki miqdoriy reaksiya vaqti nuqtai nazaridan solishtirish imkonini beradi, bu esa amaliyotda turli kuchlanish chegaralarini bir-biri bilan bevosita taqqoslashga xizmat qiladi. Alohida ta'kidlash lozimki, 63,4 % qiymat SOC (charge state) emas, balki doimiy tok (CC) bosqichida o'lchangan zaryad sig'iminining ulushi bo'lib, ikkalasini aralashtirib yuborish amaliy hisob-kitoblarda xatolikka olib kelishi mumkin.

4. Natijalar

4.1. Signal qamrovi: erta va kechikkan aniqlash

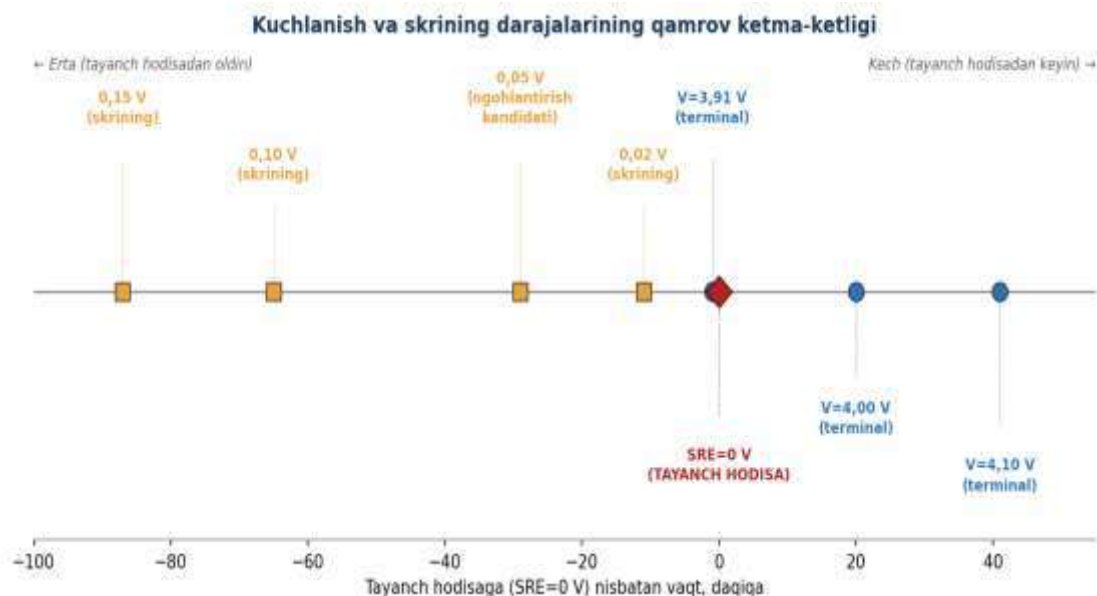
1-jadval.

Kuchlanish va skrining darajalarining tayanch hodisaga ($SRE=0$ V) nisbatan qamrov vaqti, daqiqaga yaxlitlangan.

Daraja chegara /	Turi	Tayanchga (0 V) nisbatan	Izoh
0,15 V	Skrining nuqtasi	≈ 87 daq oldin	Juda erta, faqat eksplorativ
0,10 V	Skrining nuqtasi	≈ 65 daq oldin	Eksplorativ
0,05 V	Skrining nuqtasi	≈ 29 daq oldin	Amaliy ogohlantirish kandidati
0,02 V	Skrining nuqtasi	≈ 11 daq oldin	Eksplorativ
$V=3,91$ V	Terminal kuchlanish	≈ 1 daq oldin	Deyarli bir vaqtda (near-coincident)
$SRE=0$ V	Tayanch hodisa	0 (tayanch)	63,4% CC nuqtasida qayd etildi

Daraja chegara /	Turi	Tayanchga (0 V) nisbatan	Izoh
V=4,00 V	Terminal kuchlanish	≈20 daq kech	Kechikib qamrov
V=4,10 V	Terminal kuchlanish	≈41 daq kech	Kechikib qamrov

Barcha qiymatlar bitta pouch hujayra va bitta elektr protokoliga tegishli; daqiqaga yaxlitlash sababli yig'indida taxminan ± 1 daqiqagacha farq bo'lishi mumkin.



2-rasm. Kuchlanish va skringing darajalarining tayanch hodisaga (SRE=0 V) nisbatan qamrov ketma-ketligi; 1-jadval ma'lumotlari asosida.

1-jadvalda keltirilgan natijalar shuni ko'rsatadiki, 3,91 V chegarasi mazkur yozuvda tayanch hodisaga yaqin joylashgan bo'lsa-da, amaliyotda ko'proq qo'llaniladigan 4,00 V va 4,10 V chegaralari mos ravishda 19,97 va 40,55 daqiqaga kechikib javob bergan. Amaliy nuqtai nazardan bu shuni bildiradiki, agar diagnostik qaror faqat yuqori kuchlanish chegarasiga tayansa, tizim reaksiyasi tayanch hodisadan o'n daqiqalab kech qolishi mumkin - bu esa tez zaryadlash rejimida ahamiyatli vaqt oralig'i hisoblanadi. Shu bilan birga, "BMS umuman qamramaydi" degan umumlashtirilgan xulosa ilmiy jihatdan noto'g'ri bo'lar edi; to'g'riroq ifoda - har bir aniq kuchlanish chegarasining ichki etalon hodisani qanchalik vaqtli qamrab olishini alohida-alohida son bilan ifodalab tekshirish zarurligidir, chunki bu qamrov chegara qiymatiga, hujayra kimyosiga va zaryadlash protokoliga bog'liq holda o'zgarishi mumkin.

Uch ketma-ket zaryad siklida SRE=0 V nol kesish vaqtlari 5622, 5212 va 5088 s bo'lib, o'rtacha 5307 ± 279 s ni tashkil etdi, ya'ni sikldan siklga taxminan ± 5 % chegarada tebranish kuzatildi. Bu natija amaliy jihatdan muhim, chunki u bitta hujayra ichida protsedura va o'lchov tizimining takrorlanuvchanligini tasdiqlaydi - agar diagnostika algoritmi qat'iy vaqt chegarasiga emas, balki nisbiy qamrov mezoniga (Δt) tayansa, bunday tebranish amaliy qo'llanishga to'sqinlik qilmaydi. Shu bilan birga, ushbu qiymat bitta hujayra ichidagi protseduraviy takroriylikni aks ettiradi va mustaqil hujayralar bo'yicha statistik ishonch oralig'i sifatida talqin qilinmasligi kerak; hujayralararo tarqalishni baholash keyingi, kengroq validatsiya bosqichining vazifasidir (7-bo'lim).

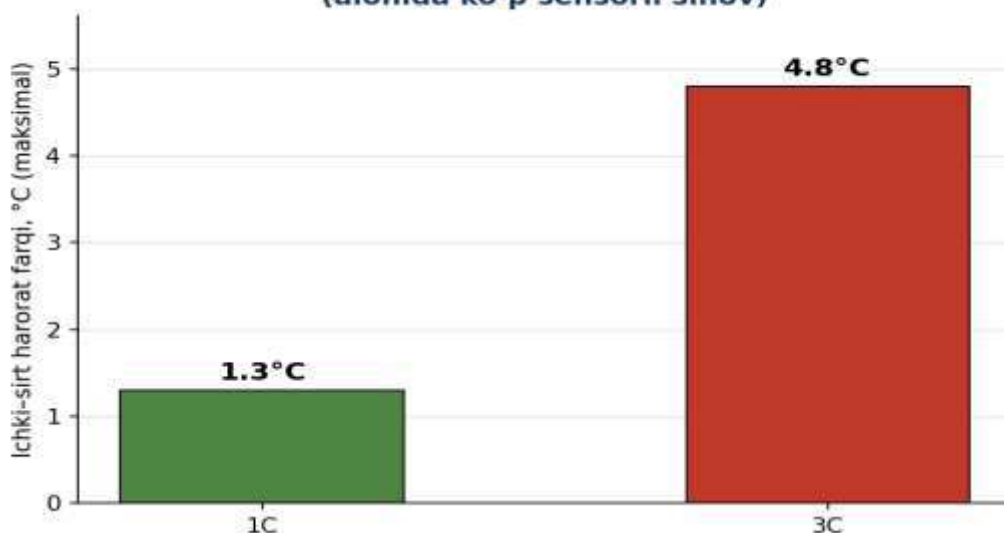
4.2. Harorat qamrovi

2-jadval.

Termik dalil va uning amaliy talqini.

Dalil	Natija	Amaliy talqin
Termik eksport	168 245 nuqta; $\Delta T_{\max} \approx 1,2^{\circ}\text{C}$	Ichki va sirt kanalining to'liq ekvivalent emasligi
Alohida prizmatik xaritalash, 1C	$\Delta T \approx 1,3^{\circ}\text{C}$	Tok oshganda ichki holat tafovuti mavjud
Alohida prizmatik xaritalash, 3C	$\Delta T \approx 4,8^{\circ}\text{C}$	Yuqori tokda tafovut kuchayishi mumkin

**Prizmatik hujayra termik xaritalashi
(alohida ko'p sensorli sinov)**



3-rasm. Mustaqil prizmatik hujayra termik xaritalashida tok rejimiga bog'liq ichki-sirt harorat tafovuti.

5. Amaliy diagnostika algoritmi

3-jadval.

“Aniq kirish-qayta ishlash-mezon-qaror-chiqish” metodikasi.

Bosqich	Kirish	Qayta ishlash	Mezon	Qaror / chiqish
1. Qabul qilish	V, I, Tsirt, SOC proxy	Fayl yaxlitligi, vaqt oralig'i, sensor uzilishi	Yetarli yozuv mavjudmi?	Yaroqli / qayta o'lchash
2. Sinxronlash	V va ichki etalon	Elapsed-time o'qiga keltirish; takroriy vaqt audit	Hodisa o'qi mosmi?	Taqqoslashga tayyor
3. Elektrokim yoviy skrining	SRE/RE va V	0,05 V va 0 V nuqtalarini ajratish	$\Delta t = tV - tSRE0$	Erta / kech / missed

Bosqich	Kirish	Qayta ishlash	Mezon	Qaror / chiqish
4. Termik skrining	CH-5, CH-6 yoki Tsirt	ΔT va trendni hisoblash	ΔT ortishi; sensor uzilishi	Qo'shimcha tekshiruv
5. Amaliy harakat	Diagnostik qaror	Tokni kamaytirish, oldindan isitish yoki servis	Takrorlanuvchi anomaliya	Zaryad rejimini cheklash / tekshiruv

Algoritm ishlab chiqarish BMS dasturiy kodini almashtirmaydi va uni real vaqtda boshqarish uchun mo'ljallanmagan; u validatsiya laboratoriyalari, sertifikatlash markazlari va servis diagnostikasi xodimlari uchun BMS qoidalarini tashqi etalon asosida tekshirish va servis darajasidagi qarorlarni asoslash vositasi sifatida qo'llab-quvvatlaydi.

6. Elektromobil sharoitida qo'llash bo'yicha tavsiyalar

Birinchi tavsiya - past harorat, yuqori zaryad toki va yuqori sig'im holatini bir vaqtda uzoq muddat davom ettirmaslik, chunki aynan shu uchlik kombinatsiyasi anod potensialining 0 V dan pastga tushish ehtimolini oshiradi [2,8]. Amaliy jihatdan bu quyidagini anglatadi: sovuq batareyani yuqori quvvatda zaryadlashdan oldin oldindan isitish, yuqori quvvatli zaryadlashni past emas, o'rta sig'im oralig'ida (masalan, taxminan 20–70 % SOC atrofida) qo'llash va zaryadning yuqori sig'im qismida tok kuchini bosqichma-bosqich kamaytirish tavsiya etiladi [1,17,18]. Bunday chora-tadbirlar BMS dasturiy ta'minotining zaryad profili (charge curve) sozlamalarida amalga oshirilishi mumkin.

Ikkinchi tavsiya - sirt haroratining me'yoriy chegarada bo'lishini ichki holat mutlaqo xavfsiz degani sifatida talqin qilmaslik, chunki 2-jadvalda ko'rsatilganidek, tok kuchi ortishi bilan ichki-sirt harorat farqi sezilarli darajada kengayishi mumkin. Agar yuqori SOC qismida tok, zaryad vaqti yoki sirt harorati profili odatiy (baseline) profilga nisbatan kechikish yoki og'ish bilan o'zgarsa, qo'shimcha elektrokimyoviy yoki termik diagnostika tavsiya etiladi. Bunda bir martalik og'ish o'z-o'zidan yakuniy xulosa hisoblanmaydi; biroq bir necha zaryad siklida takrorlanuvchi og'ish servis tekshiruvi yoki batareya salomatligini (SOH) qo'shimcha baholashga asos bo'lishi mumkin.

Uchinchi tavsiya - natijalarni "ishlab chiqarish BMS'iga RE o'rnatildi" yoki "real avtomobil BMS'i ushbu tajribada to'liq validatsiyadan o'tdi" tarzida talqin qilmaslik; bunday da'vo tajriba doirasidan tashqariga chiqadi. Mazkur ishning amaliy natijasi quyidagilardan iborat: (i) laboratoriya benchmarki yordamida mavjud BMS kuchlanish qoidalarini tekshirish; (ii) qaysi signal qanchalik erta yoki kech javob berishini son bilan ko'rsatish; (iii) keyingi, pack darajasidagi (pack-level) sinovlar uchun talablar va metodik asosni belgilash. Shu tariqa metodika bitta hujayra darajasidagi natijadan real mahsulot validatsiyasi sari bosqichma-bosqich o'tish yo'lini ko'rsatadi.

7. Muhokama va cheklovlar

Ushbu tadqiqotning bir qator cheklovlari mavjud. Birinchidan, tajriba bitta mustaqil pouch hujayra va uch zaryad sikliga tayangan bo'lib, bu statistik umumlashtirish uchun yetarli emas. Ikkinchidan, RE qutblanishini tasdiqlovchi mustaqil polarity calibration fayli, metall litiy hosil bo'lishini tasdiqlovchi post-mortem tahlil, tijoriy pack darajasidagi BMS validatsiyasi va turli harorat/tok rejimlari bo'yicha keng ko'lamli replikasiya ushbu bosqichda amalga oshirilmagan. Shu sabablarga ko'ra 0,05 V va 0 V qiymatlari qat'iy fizik chegara emas, balki

metodik skrining nuqtalari sifatida saqlanadi, termik va elektr oqimlari esa bir-biriga sababiy bog'lanmagan, mustaqil dalil sifatida talqin qilinadi.

Shuni alohida ta'kidlash lozimki, mazkur maqola aynan amaliy validatsiya metodikasi va diagnostika algoritmiga qaratilgan bo'lib, undagi elektrokimyoviy hodisaning chuqur mexanistik tahlili, statistik bosqich chegaralarining nazariy asoslanishi hamda kengaytirilgan pack-darajasidagi diagnostik freymvork tadqiqot dasturining alohida, xalqaro nashrga mo'ljallangan maqolasida batafsil yoritiladi. Ikki ish bir xil tajriba ma'lumotlariga tayangani sababli, ular bir-birini takrorlamasligi uchun mazkur maqolada urg'u amaliy tekshirish tartibi, qamrov vaqtini baholash va muhandislik tavsiyalariga qaratilgan, natijalar esa umumlashtirilgan, tavsiflovchi shaklda taqdim etilgan.

8. Xulosa

Taklif etilgan amaliy diagnostika metodikasi elektromobil batareyasining ishlab chiqarish BMS tizimini almashtirishga emas, balki uning tashqi signallarini mustaqil laboratoriya etalonlariga nisbatan tizimli tekshirishga qaratilgan. O'tkazilgan sinov shuni ko'rsatdiki, standart kuchlanish chegaralariga tayangan diagnostika ichki etalon hodisani sezilarli kechikish bilan qamrab olishi mumkin, holbuki past darajadagi eksplorativ skrining nuqtasi ancha oldinroq ogohlantirish imkonini beradi; shu bilan birga, yuqori tok rejimida ichki va sirt harorati o'rtasidagi farq kengayishi kuzatildi, bu esa faqat sirt haroratiga tayangan termal nazoratning cheklovlarini ko'rsatadi. Ushbu topilmalar asosida taklif etilgan besh bosqichli "qabul qilish-sinxronlash-skrining-qaror-amaliy harakat" algoritmi va uch toifali qamrov baholash sxemasi (erta/kechikib/o'tkazib yuborilgan) amaliyotchi muhandislarga BMS qoidalarini tanlash va sinovdan o'tkazish uchun aniq, takrorlanuvchi tartib taqdim etadi. Metodikaning navbatdagi bosqichi - mustaqil hujayralar, turli harorat va tok profillari hamda real pack darajasidagi BMS signallari asosida kengroq validatsiyani o'z ichiga oladi; bunday validatsiya, shuningdek, hodisaning chuqurroq elektrokimyoviy asoslanishi bilan birgalikda tadqiqot dasturining keyingi nashrlarida davom ettiriladi.

Adabiyotlar/Литература/References:

1. Tomaszewska A, Chu Z, Feng X, et al. Lithium-ion battery fast charging: A review. *eTransportation*. 2019;1:100011. doi:10.1016/j.etrans.2019.100011.
2. Waldmann T, Hogg B-I, Wohlfahrt-Mehrens M. Li plating as unwanted side reaction in commercial Li-ion cells-A review. *Journal of Power Sources*. 2018;384:107–124. doi:10.1016/j.jpowsour.2018.02.063.
3. Raccichini R, Amores M, Hinds G. Critical review of the use of reference electrodes in Li-ion batteries: A diagnostic perspective. *Batteries*. 2019;5(1):12. doi:10.3390/batteries5010012.
4. Koleti UR, Dinh TQ, Marco J. A new on-line method for lithium plating detection in lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*. 2020;451:227798. doi:10.1016/j.jpowsour.2020.227798.
5. Zhu S, Han J, An HY, et al. A novel embedded method for in-situ measuring internal multi-point temperatures of lithium ion batteries. *Journal of Power Sources*. 2020;456:227981. doi:10.1016/j.jpowsour.2020.227981.
6. Gulsoy B, Vincent TA, Briggs C, et al. In-situ temperature monitoring of a lithium-ion battery using an embedded thermocouple for smart battery applications. *Journal of Energy Storage*. 2022;54:105260. doi:10.1016/j.est.2022.105260.

7. Janakiraman U, Garrick TR, Fortier ME. Review-Lithium plating detection methods in Li-ion batteries. *Journal of The Electrochemical Society*. 2020;167(16):160552. doi:10.1149/1945-7111/abd3b8.
8. Li Y, Feng X, Ren D, et al. Thermal runaway triggered by plated lithium on the anode after fast charging. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2019;11(50):46839–46850. doi:10.1021/acsami.9b16589.
9. Richardson RR, Zhao S, Howey DA. On-board monitoring of 2-D spatially-resolved temperatures in cylindrical lithium-ion batteries: Part II. State estimation via impedance-based temperature sensing. *Journal of Power Sources*. 2016;327:726–735. doi:10.1016/j.jpowsour.2016.07.103.
10. Petzl M, Danzer MA. Nondestructive detection, characterization, and quantification of lithium plating in commercial lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*. 2014;254:80–87. doi:10.1016/j.jpowsour.2013.12.060.
11. Feng X, Ouyang M, Liu X, et al. Thermal runaway mechanism of lithium ion battery for electric vehicles: A review. *Energy Storage Materials*. 2018;10:246–267. doi:10.1016/j.ensm.2017.05.013.
12. Birkel CR, Roberts MR, McTurk E, et al. Degradation diagnostics for lithium ion cells. *Journal of Power Sources*. 2017;341:373–386. doi:10.1016/j.jpowsour.2016.12.011.
13. An SJ, Li J, Daniel C, et al. Design and demonstration of three-electrode pouch cells for lithium-ion batteries. *Journal of The Electrochemical Society*. 2017;164(7):A1755–A1764. doi:10.1149/2.0031709jes.
14. McTurk E, Birkel CR, Roberts MR, et al. Minimally invasive insertion of reference electrodes into commercial lithium-ion pouch cells. *ECS Electrochemistry Letters*. 2015;4(12):A145–A147. doi:10.1149/2.0081512eel.
15. Chu Z, Feng X, Liaw B, et al. Testing lithium-ion battery with the internal reference electrode: An insight into the blocking effect. *Journal of The Electrochemical Society*. 2018;165(14):A3240–A3248. doi:10.1149/2.0141814jes.
16. Li Y, Han X, Feng X, et al. Errors in the reference electrode measurements in real lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*. 2021;481:228933. doi:10.1016/j.jpowsour.2020.228933.
17. Yang X-G, Wang C-Y. Understanding the trilemma of fast charging, energy density and cycle life of lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*. 2018;402:489–498.
18. Keyser M, Pesaran A, Li Q, et al. Enabling fast charging-Battery thermal considerations. *Journal of Power Sources*. 2017;367:228–236.
19. Huang W, Ye Y, Chen H, et al. Onboard early detection and mitigation of lithium plating in fast-charging batteries. *Nature Communications*. 2022;13:7091. doi:10.1038/s41467-022-33486-4.
20. Konz ZM, McShane EJ, McCloskey BD. Detecting the onset of lithium plating and monitoring fast charging performance with voltage relaxation. *ACS Energy Letters*. 2020;5(6):1750–1757. doi:10.1021/acsenerylett.0c00831.

TECHSCIENCE.UZ

**TEXNIKA FANLARINING DOLZARB
MASALALARI**

№ S/4 (4)-2026

TOPICAL ISSUES OF TECHNICAL SCIENCES

**TECHSCIENCE.UZ- TEXNIKA
FANLARINING DOLZARB MASALALARI**
elektron jurnali 15.09.2023-yilda 130346-
sonli guvohnoma bilan davlat ro'yxatidan
o'tkazilgan.

Muassislar: "SCIENCEPROBLEMS TEAM"
mas'uliyati cheklangan jamiyati;
Jizzax politexnika insituti.

TAHRIRIYAT MANZILI:

Toshkent shahri, Yakkasaroy tumani, Kichik
Beshyog'och ko'chasi, 70/10-uy.

Elektron manzil:

scienceproblems.uz@gmail.com