

**TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI HUZURIDAGI
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.15/31.08.2022.T.73.07 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI

JAMILOV SHUHRAT FARMON O'G'LI

**LOKOMOTIVLARNING O'ZGARMAS TOK TORTUV ELEKTR
DVIGATELLARINI TEXNIK HOLATINI BAHOLASH VA
ISHONCHLILIGINI OSHIRISH**

**05.08.05 – Temir yo'llarning harakatlanuvchi tarkibi, poyezdlarni tortish
va elektrlashtirish**

**TEXNIKA FANLARI BO'YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Toshkent – 2025

**Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati
mundarijasi**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)
по техническим наукам**

**Content of the dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)
on technical sciences**

Jamilov Shuhrat Farmon o‘g‘li

Lokomotivlarning o‘zgaras tok tortuv elektr dvigatellarini texnik holatini baholash va ishonchliligini oshirish..... 3

Жамилов Шухрат Фармон угли

Оценка технического состояния и повышение надежности электродвигателей постоянного тока локомотивов..... 21

Jamilov Shuhrat Farmon o‘g‘li

Assessment of the technical condition and improvement of reliability of electric motors of direct current locomotives..... 39

E‘lon qilingan ishlar ro‘yxati

Список опубликованных работ

List of published works..... 43

**TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.15/31.08.2022. T.73.07 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI

JAMILOV SHUHRAT FARMON O‘G‘LI

**LOKOMOTIVLARNING O‘ZGARMAS TOK TORTUV ELEKTR
DVIGATELLARINI TEXNIK HOLATINI BAHOLASH VA
ISHONCHLILIGINI OSHIRISH**

**05.08.05 – Temir yo‘llarning harakatlanuvchi tarkibi, poyezdlarni tortish
va elektrlashtirish**

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Toshkent – 2025

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasining mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2024.3.PhD/T4955 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Toshkent davlat transport universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy Kengash veb-sahifasida (www.tstu.uz) va "Ziyonet" Axborot ta'lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Xamidov Otabek Rustamovich
texnika fanlari doktori, professor

Rasmiy opponentlar:

Pirmatov Nurali Berdiyovich
texnika fanlari doktori, professor

Kurilkin Dmitriy Nikolayevich
texnika fanlari nomzodi, dotsent

Yetakchi tashkilot:

Dissertatsiya himoyasi Toshkent davlat transport universiteti huzuridagi DSc.15/31.08.2022.T.73.07 raqamli Ilmiy Kengashning 2025-yil _____ soat ____ dagi majlisida bo'lib o'tadi. Manzil: 100167, Toshkent sh., Temiryo'lhilar ko'chasi, 1-uy. Tel.: (99871) 299-00-01; faks: (99871) 293-57-54; e-mail: tashiit_rektorat@mail.ru.

Dissertatsiya bilan Toshkent davlat transport universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (231-raqam bilan ro'yxatga olingan). Manzil: 100167, Toshkent sh., Temiryo'lhilar ko'chasi, 1-uy. Tel.: (99871) 299-05-66.

Dissertatsiya avtoreferati 2025-yil _____ kuni tarqatildi.
(2025-yil _____dagi ____ raqamli reyestr bayonnomasi).

R.V. Raximov

Ilmiy darajalar beruvchi
Ilmiy kengash raisi, t.f.d., professor

Ya.O. Ruzmetov

Ilmiy darajalar beruvchi
Ilmiy kengash ilmiy kotibi, t.f.d., professor

R.M. Mirsaatov

Ilmiy darajalar beruvchi
Ilmiy kengash qoshidagi ilmiy seminar raisi, t.f.d., professor

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Dunyoda temir yo‘l transportida lokomotiv tortuv elektr dvigatellarining mavjud konstruksiyalarini takomillashtirish va yangilarini yaratishga alohida e‘tibor qaratilmoqda. Ushbu muammolarni hal qilish dunyoning ixtisoslashgan ilmiy, konstruktorlik va ishlab chiqarish tashkilotlarida rivojlanishning asosiy yo‘nalishlaridan biridir. Hozirgi vaqtda rivojlangan mamlakatlarda ilmiy-tadqiqot va ilmiy markazlar turli xil yuklash rejimlari va tezlik oraliqlarida poyezdlar harakati xavfsizligini oshirish, lokomotivlarga texnik xizmat ko‘rsatish xarajatlarini kamaytirish va lokomotivlarning ta‘mirlararo vaqtini oshirish bilan bog‘liq bir qator masalalarni hal qilmoqdalar. Mavjud lokomotivlarning yetishmasligi va temir yo‘l uchastkalarining quvvati pastligi bilan yuk aylanmasini oshirish uchun lokomotivlar parkini takomillashtirish va innovatsion yechimlar taklif qilish, xususan, lokomotivlarning asosiy tortuv moduli hisoblangan, tortuv elektr dvigatellarning ish faoliyatini yaxshilashga qaratilgan dastur va uslubiyotlarni joriy etish bo‘yicha yangi tadqiqot yo‘nalishlarini ishlab chiqish zarur. Shu bilan birga, magistral va manyovir lokomotivlari parkining texnik-iqtisodiy ko‘rsatkichlarini yaxshilash va ulardan samarali foydalanish usullaridan biri bu tortuv elektr dvigatellari texnik holatini baholash va ishonchliligini oshirish bo‘yicha keng ko‘lamli chora tadbirlarni o‘tkazish.

Jahonda tortuv elektr dvigatellarining zamonaviy konstruksiyalarini ishlab chiqish va takomillashtirish bo‘yicha turli ilmiy-texnik va texnologik ishlar olib borilmoqda, mavjud tortuv elektr dvigatellaridan samarali foydalanishni tadqiq etish bo‘yicha kompleks chora-tadbirlar bajarilmoqda. Bu yo‘nalishda, xususan, lokomotiv xo‘jaligiga tegishli lokomotivlarning o‘zgarmas tokda ishlaydigan tortuv elektr dvigatellarni texnik holatini baholash katta e‘tiborga loyiqdir. Shu sababli, o‘zgarmas tokda ishlaydigan tortuv elektr dvigatellarni eksplutatsiya sharoitlarida texnik holatini aniqlash va ishonchliligini oshirish temir yo‘l transporti oldida turgan muhim vazifalardan biri bo‘lib, uni hal qilish yangi tortuv elektr dvigatellari va ularning tarkibiy qismlarini sotib olish uchun ajratiladigan budjet valyuta mablag‘larini tejaydi, bu esa mavjud tortuv elektr dvigatellariga texnik xizmat ko‘rsatish va ta‘mirlash xarajatlarini qisqarishiga olib keladi.

Respublikamizda transportning turli sohalarini yanada rivojlantirish, xususan, temir yo‘l lokomotivlari parkiga texnik xizmat ko‘rsatish va ulardan samarali foydalanishni tashkil etish, shuningdek uni texnik-iqtisodiy xususiyatlari takomillashtirilgan lokomotivlar bilan to‘ldirish maqsadida bir qator chora-tadbirlar amalga oshirilmoqda. 2022-2026 yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasida¹ va O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining PQ-329-son qarorida² “... barcha transport turlarini uzviy bog‘lagan holda yagona transport tizimini rivojlantirish ..., ... transport va logistika xizmatlari bozori va infratuzilmasini rivojlantirish ..., ... transport tizimida “yashil koridorlar” hamda tranzit imkoniyatlarini kengaytirish ...”, hamda “...yo‘lovchi va yuk tashish

¹O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi “2022-2026 yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekiston taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida”gi PF-60-sonli Farmoni

²O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023 yil 10 oktyabrdagi “O‘zbekiston Respublikasi temir yo‘l transporti sohasini tubdan isloh qilish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi PQ-329-sonli qarori

xarajatlarini kamaytirish..., ... temir yo‘l infratuzilmasini rivojlantirish, lokomotiv va vagonlar parkini yangilash ...” kabi muhim vazifalar belgilangan. Ushbu vazifalarni amalga oshirish uchun, xususan, lokomotivlarning o‘zgarmas tokda ishlaydigan tortuv elektr dvigatellari izolatsiya materiallarini dielektrik mustahkamligi, elektr qarshiligi va harorat ko‘rsatkichini tadqiq etish muhim yo‘nalishlardan biri bo‘lib, ularni aniqlash ushbu dvigatellarning texnik holatini baholash imkoniyat beradi va ularning ishonchliligini oshirishni asoslaydi.

O‘zbekiston Respublikasining 2021 yil 9 avgustdagi “Transport to‘g‘risida” gi O‘RQ-706-sonli va 1999 yil 15 apreldagi “Temir yo‘l transporti to‘g‘risida” gi 766-I-sonli Qonunlari, O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi “2022-2026 yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida” gi PF-60-sonli va 2019 yil 1 fevraldagi “Transport sohasida davlat boshqaruvi tizimini tubdan takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida” gi PF-5647-sonli Farmonlari, O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020 yil 4 maydagi “Transport sohasida kadrlar tayyorlash tizimini tubdan takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida” gi PQ-4703-sonli va 2023 yil 10 oktabrdagi “O‘zbekiston Respublikasi temir yo‘l transporti sohasini tubdan isloh qilish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi PQ-329-sonli Qarorlari hamda ushbu faoliyatga tegishli boshqa me‘yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga mazkur dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalarini rivojlantirishning ustuvor yo‘nalishlariga muvofiqligi. Mazkur tadqiqot doirasida o‘tkazilgan tahlillar va izlanishlar, lokomotivlarda o‘tkazilgan eksperimentlar natijalariga asoslanib, yoqilg‘i-energetika resurslaridan foydalanish samaradorligini baholash va yoqilg‘i uchun xarajatlarni kamaytirish - II. “Enertika, energiya va resurslarni tejash” ustuvor yo‘nalishiga muvofiq bajarilgan.

Muammoning o‘rganilganlik darajasi. Temir yo‘l harakatlanuvchi tarkiblarning tortuv elektr dvigatellarini texnik holatini baholash, ishonchliligini oshirish va zamonaviy mobil diagnostika qilish tizimlarini takomillashtirishga bilan bo‘g‘liq dolzarb muammolarni hal qilishga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar dunyoning yetakchi mamlakatlarining universitetlari, ilmiy markazlari va ilmiy-tadqiqot institutlarida olib borilmoqda.

Tortuv elektr dvigatellarining ekspluatatsion ishonchliligini oshirish va zamonaviy mobil diagnostika usullari va vositalarini ishlab chiqishga xorijiy olimlar katta hissa qo‘shganlar. Jumladan: V.B. Kulakovskiy, G.N. Aleksandrov, A.S. Kurbasov, A.D. Glushchenko, N.A. Rotanova, A.A. Skvortsov, V.A. Vinokurova, N.D. Vaikova, A.S. Serebryakova, V.D. Radchenko, O.D. Goldberg, V.P. Nemukhina, G.K. Gervais, va boshqalarning ilmiy ishlarida tortuv elektr dvigatel chulg‘amlarining izolatsiya materiallarida sodir bo‘ladigan fizik jarayonlarni o‘rganishgan. Lokomotiv tortuv elektr dvigatellarining ishonchliligini ta‘minlashning asosiy yo‘nalishlaridan biri - diagnostika usullari va vositalarini rivojlantirishdir va ko‘plab olimlar o‘z ishlarini bag‘ishlagan.

Mamlakatimizda tortuv harakat tarkiblarining elektr dvigatellarini diagnostika qilish bo‘yicha nazariy hisob-kitob usullari hamda eksperimental tadqiqotlarni yanada rivojlantirish va takomillashtirishga olimlarimiz salmoqli hissa qo‘shmoqdalar. Jumladan: O.R. Xamidov,, Sh.S. Fayzibayev, S.F. Ablyalimov,

A.T. Djanikulov, N.S. Zayniddinov, O.T. Kasimov va yana bir qator mahalliy olimlarimiz tomonidan ushbu masalalar bo'yicha keng qamrovli ilmiy-tadqiqotlar o'tkazilgan.

Xorijiy va mahalliy tajribaning tahlil shuni ko'rsatadiku, o'zgarmas tokda ishlaydigan tortuv elektr dvigatellarining texnik holatini baholash va ishonchliligini oshirish maqsadida diagnostika qurilmalarini joriy qilish bo'yicha yangi yechimlarni ishlab chiqish, izolatsiya materiallarini xizmat qilish muddatini aniqlash va ekspluatatsiya sharoitida dvigatellarni harorat ko'rsatkichlarini hisoblash metodikasi va diagnostika qurilmasi orqali harorat ko'rsatkichlarini aniqlashga yo'naltirilgan ilmiy izlanishlar yetarli darajada olib borilmagan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti "O'zbekiston temir yo'llari" AJ ilmiy-texnik Kengashi yig'ilishi (29/1-sonli bayonnoma 28.09.18 y.) va "O'zbekiston temir yo'llari" AJ ning 2019-yildagi texnik darajasini oshirishning yagona kompleks rejasi"ga (27.12.18 y. №2374-NZ-sonli buyruq) muvofiq amalga oshirilgan.

Tadqiqotning maqsadi O'zbekiston Respublikasida foydalanilayotgan o'zgarmas tokda ishlaydigan tortuv elektr dvigatellarining texnik holatini baholash orqali ularning ekspluatatsiyadagi samaradorligini va ishonchliligini oshirishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

O'zbekiston temir yo'llarida foydalanilayotgan magistral va manyovr lokomotivlarida foydalanishda bo'lgan tortuv elektr dvigatellarining texnik holatini aniqlash va nosozliklarini tahlil qilish;

Matlab simulink dasturiy ta'minotida tortuv elektr dvigatellarining harorat ko'rsatkichlarini aniqlash tizimini imitatsion modelini yaratish;

yuqori aniqlikga ega diagnostika usullaridan foydalangan holda tortuv elektr dvigatellaridagi harorat ko'rsatkichlarini aniqlash qurilmasini ishlab chiqish;

ekspluatatsiya sharoitlarida tortuv elektr dvigatellaridagi harorat ko'rsatkichlarini hisoblash metodikasini ishlab chiqish;

tortuv elektr dvigatellaridagi harorat ko'rsatkichlari ta'sirida izolatsiya materiallarining xususiyatlari o'zgarishini tahlil qilish va harorat ko'rsatkichlarini tortuv elektr dvigatellarning xizmat qilish muddatiga bog'liqligini tadqiq etish.

Tadqiqotning obyekti sifatida lokomotivlarning o'zgarmas tokda ishlaydigan tortuv elektr dvigatellari olingan.

Tadqiqotning predmeti sifatida lokomotivlarning o'zgarmas tok tortuv elektr dvigatellarini ishonchliligidir.

Tadqiqotning usullari. Ilmiy-tadqiqotlarni bajarish jarayonida statistika, tahliliy va eksperimental tadqiqod usullaridan foydalanilgan. Ilmiy-tadqiqod davomida lokomotivlar tortuv elektr dvigatellarining joriy texnik holatini baholash bo'yicha nazariy tadqiqotlarida tahliliy usullar, hamda MATLAB zamonaviy muhandislik dasturlaridan foydalanilgan. MATLAB dasturida lokomotiv uchun mo'ljallangan tortuv elektr dvigatellarining harorat ko'rsatkichlarini aniqlash tizimini imitatsion modelini ishlab chiqish asosida yangi diagnostika qurilmasini yaratish.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

lokomotiv tortuv elektr dvigatellari izolyatsiya materiallarining degradatsiya jarayonlarini hisobga olgan holda, ularning issiqlik ta'siriga bardoshlilikini tahlil qilish imkonini beruvchi imitatsion model ishlab chiqilgan;

ilk bor yuqori aniqlikdagi harorat datchiklari yordamida o'zgaras tokda ishlaydigan tortuv elektr dvigatellari chulg'amlarining harorat ko'rsatkichini aniqlash imkonini beruvchi diagnostika qurilmasi ishlab chiqilgan;

tortuv elektr dvigatellarini issiqlik balansi tenglamalari yordamida materialning qarshilik koeffitsientini e'tiborga olgan holda yakor cho'lg'amlarida ortiqcha yuklanishni hisoblash imkonini beruvchi matematik modeli ishlab chiqilgan;

lokomotivlarning turli ekspluatatsiya sharoitlari va rejimlarida o'zgaras tok tortuv elektr dvigatellariga issiqlik yuklamalarini hisobga olgan holda, ularning texnik holati va ishonchliligini aniqlash imkonini beruvchi takomillashtirilgan metodikasi ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

“O'zbekiston temir yo'llari” AJ Tinchlik lokomotiv deposiga tegishli UzTE16M3 014 raqamli teplovozigiga ilk bora yaratilgan, turli xil ekspluatatsiya sharoitlarida o'zgaras tokda ishlaydigan tortuv elektr dvigatellarning texnik holatini diagnostika qilish qurilmasi o'rnatilib, u orqali ularning harorat ko'rsatkichlarini nazorat qilish usullari ishlab chiqilgan;

o'zgaras tokda ishlaydigan tortuv elektr dvigatellarning texnik holatini baholashning asosiy mezonlarini aniqlash imkonini beruvchi harorat ko'rsatkichlarni aniqlash orqali dvigatelning texnik holatini baholashning takomillashtirilgan uslubiyoti ishlab chiqilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi nazariy tadqiqotlarda zamonaviy raqamli usullardan va muhandislik dasturiy ta'minotlardan, tajriba va sinovlarda sertifikatlangan va kalibrlangan o'lchov vositalaridan foydalanish hamda nazariy va amaliy tadqiqotlar natijalarining o'zaro muvofiqligi bilan tasdiqlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati ekspluatatsiya davomida, magistral va manyovr lokomotivlarining o'zgaras tok TEDlarining texnik holatini baholashning yangi metodikasi ishlab chiqildi. Ushbu metodikada lokomotivlarning ishlash jarayonida yuzaga keladigan texnik nosozliklar va xavflarni oldindan aniqlash, ularni samarali tahlil qilish va kerakli ta'mirlash ishlarini o'tkazish uchun ilmiy asoslangan yondoshuv keltirib o'tilgan. Bundan tashqari TEDlarning harorat ko'rsatkichlarini muntazam ravishda nazorat qilish uchun yangi diagnostika tizimi ishlab chiqildi. Haroratning ortishi TEDlarning ishlash samaradorligini pasaytiradi va uzoq muddatli ekspluatatsiyada jiddiy nosozliklarga olib keladi. Yangi tizim, harorat ko'rsatkichlarini real vaqt rejimida monitoring qilish orqali, nosozliklarning oldini olish va eng kam vaqt ichida texnik xizmat ko'rsatish imkoniyatini yaratilishi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati yangi ishlab chiqilgan diagnostika tizimi yordamida lokomotivlarning texnik holatini tez va samarali baholashga imkon berib, ekspluatatsiya va ta'mirlash ishlarining samaradorligini oshiradi. Ekspluatatsiya davomida yuzaga keladigan texnik muammolarni aniqlash va bartaraf etish jarayonlari soddalashadi, bu esa samarali va arzon texnik xizmat ko'rsatish imkonini yaratadi. Shuningdek, ta'mirlash va texnik xizmat ko'rsatish vaqti qisqaradi, bu esa lokomotivlar ishlashining uzluksizligini bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. O‘zbekiston temir yo‘llarida foydalanishda bo‘lgan magistral va manyovr lokomotivlarning o‘zgarmas tokda ishlaydigan tortuv elektr dvigatellarini texnik holatini aniqlash va ishonchligi oshirish bo‘yicha olib borilgan ilmiy tadqiqotlar asosida:

magistral va manyovr lokomotivlarning o‘zgarmas tokda ishlaydigan tortuv elektr dvigatellarini turli ekspluatatsiya sharoitlarida harorat ko‘rsatkichlarini hisoblash metodikasi takomillashtirilib “Tinchlik lokomotiv deposi”da ishlab chiqarishga joriy etilgan. (O‘zbekiston Respublikasi Transport Vazirligining 2024 yil 2 dekabrda №4/E1617 ma’lumotnomasi). Hisob-kitob va eksperimental o‘lchovlar natijalari asosida tortuv elektr dvigatellarni xizmat qilish muddati uzaytirilgan.

magistral va manyovr lokomotivlarning o‘zgarmas tokda ishlaydigan tortuv elektr dvigatellarni harorat ko‘rsatkichlarini aniqlash diagnostika qurilmasi “Tinchlik lokomotiv deposi” da ishlab chiqarishga joriy etilgan, (O‘zbekiston Respublikasi Transport Vazirligining 2024 yil 12 dekabrda №4/E1617 ma’lumotnomasi). Natijada, magistral lokomotivlarga o‘rnatilgan diagnostika qurilmasi orqali o‘zgarmas tokda ishlaydigan tortuv elektr dvigatellaridagi harorat ko‘rsatkichlarini mashinist brigadalari ko‘rishi, nazorat qilishi va boshqarish imkoniyati yaratilgan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Dissertatsiya tadqiqot natijalari 8 ta ilmiy anjumanlarda, shu jumladan 3 ta Scopus xalqaro ma’lumotlar bazasida indekslangan ilmiy anjumanda, 2 ta xalqaro va 3 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarda bayon etilgan.

Tadqiqot natijalarining e’lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo‘yicha 19 ta ilmiy ish, shu jumladan 4 ta xalqaro va 11 ta O‘zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi tomonidan doktorlik dissertatsiyaning asosiy ilmiy natijalarini chop etish uchun tavsiya etilgan nashrlar, shu jumladan 3 ta SCOPUS ma’lumotlar bazasida indekslangan ilmiy anjumanlarda e’lon qilingan, 1 ta EHM uchun dasturiy mahsulotlar ro‘yxatga olingan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya kirish, to‘rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiya hajmi 125 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

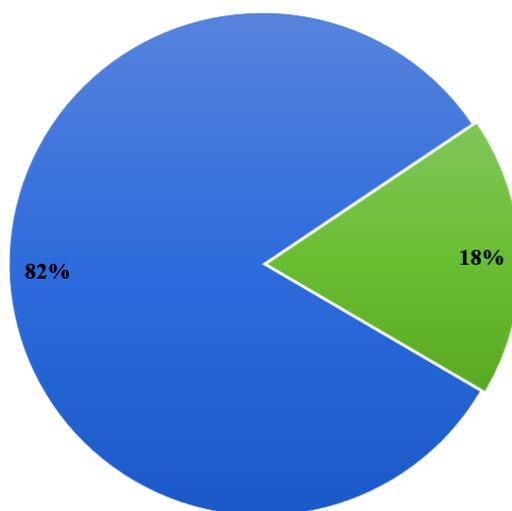
Kirish qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zaruriyati asoslangan, masalaning holati yoritilgan, tadqiqotning maqsadi va vazifalari shakllantirilgan, tadqiqot obyekti va predmetini tavsiflangan, tadqiqotning respublika fan va texnologiyasini rivojlantirishning ustuvor yo‘nalishlariga muvofiqligi ko‘rsatilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan, nazariy va amaliy ahamiyati, ishonchligi asoslangan, ilmiy tadqiqotlar natijalarini ishlab chiqarishga joriy etish to‘g‘risida ma’lumot berilgan va shuningdek, nashr etilgan ishlar va dissertatsiya tuzilishi to‘g‘risidagi ma’lumotlar ko‘rsatilgan.

Dissertatsiyaning **“O‘zbekiston temir yo‘llarida foydalanilayotgan lokomotivlarning tortuv elektr dvigatellarining ekspluatatsion ko‘rsatkichlari**

tahlili va texnik holatini baholash” deb nomlangan birinchi bobida amalga oshirilgan tahlillar natijasida “O‘zbekiston temir yo‘llari” AJ lokomotiv parkida foydalanilayotgan tortuv harakatlanuvchi tarkiblarning katta qismi, ya’ni 82 foizi, o‘zgarmas tokda ishlaydigan tortuv elektr dvigatellari bilan jihozlanganligi aniqlanib, ularning texnik holatiga ta’sir qiluvchi omillar to‘liq yoritib berilgan.

O‘zgarmas tokda ishlaydigan tortuv elektr dvigatellari (TED) temir yo‘l transportida keng qo‘llaniladigan elektr dvigatellardan biri bo‘lib, ularning ekspluatatsion ko‘rsatkichlarini tahlil qilish muhim ahamiyatga ega. Bunday dvigatellar texnik xizmat ko‘rsatish, ishlash muddati, texnik nosozliklarga chidamlilik va energiya samaradorlik kabi ko‘rsatkichlar orqali baholanadi. Ularning ekspluatatsion ko‘rsatkichlari bir nechta omillarga asoslanadi.

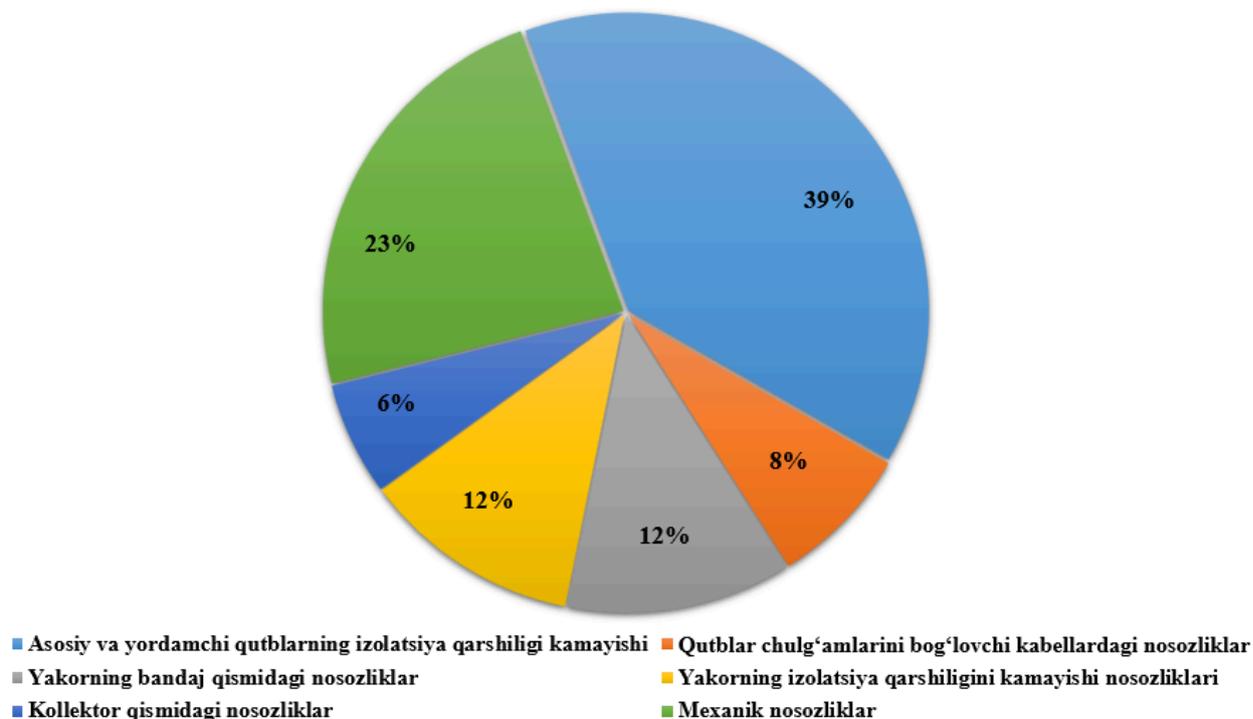
Buning natijasida ta’mirlash harajatlarini kamaytirish ham muhim ahamiyat kasb etadi. Belgilangan reja asosida va o‘z vaqtida amalga oshirilishi orqali dvigatellarning ishlash muddatini uzaytirish mumkin, bu esa ortiqcha xarajatlarni oldini olishga xizmat qiladi. Lokomotivlarni muntazam diagnostika qilish orqali nosozliklar ertaroq bosqichda aniqlanadi va katta avariylarning oldi olinadi, bu esa lokomotivlarning uzoq muddatli foydalanishida muhim omil hisoblanadi. Shunday qilib, texnik xizmat ko‘rsatish jarayonlarining samaradorligini oshirish va harakatlanuvchi tarkibni doimo ishga tayyor holatda ushlab turish, “O‘zbekiston temir yo‘llari” AJning lokomotivlarini tortuv elektr dvigatellariga xizmat ko‘rsatish sifati va xavfsizligini oshirishga yordam beradi. Lokomotiv parkidagi o‘zgarmas tokda ishlaydigan TEDlarning ulushi 82 %ni tashkil etishi va bu orqali texnik xizmat ko‘rsatish va ta’mirlash xarajatlari yildan-yilga oshib borishi hisobiga ushbu yo‘nalishda ilmiy-tadqiqot izlanishlarini olib borishni taqozo etadi. “O‘zbekiston temir yo‘llari” AJ lokomotiv parkidagi barcha turdagi TEDlarning tok turi bo‘yicha klassifikatsiyasiga ajratilgan tahlillari va uning diagrammlari 1-rasmda keltirib o‘tilgan.



■ O‘zgaruvchan tokda ishlaydigan TED lar ■ O‘zgarmas tokda ishlaydigan TED lar

1-rasm. “O‘zbekiston temir yo‘llari” AJ lokomotiv parkidagi tortuv harakatlanuvchi tarkiblarning TEDlarini soni bo‘yicha tahlili

“O‘zbekiston temir yo‘llari” AJ lokomotiv parkidagi manyovr, magistral teplovozzlar va BJI60, BJI80 elektrovozzlarining tortuv elektr dvigatellari o‘zgarma tokda ishlashini inobatga olgan holda uning uzoq muddatli ekspluatatsiya natijasida aniqlangan nosozliklarning tahlil qilishga majbur etadi.



2-rasm. “Tinchlik” lokomotiv deposiga qarashli o‘zgarma tokda ishlovchi TEDlarning 2019-2023 yillarda aniqlangan nosozliklar tahlillari

“O‘zbekiston temir yo‘llari” AJ Lokomotivlardan foydalanish boshqarmasiga qarashli “Tinchlik” lokomotiv deposida 2019-2023 yillar davomida TEDda uchraydigan barcha nosozliklar tahlillari 2-rasmida keltirib o‘tilgan.

Tortuv elektr dvigatellarning ekspluatatsiyadagi ishonchliligi va xizmat muddati sezilarli darajada chulg‘am izolyatsiya materialining ish haroratiga bog‘liq. Harorat ta’siri, shuningdek, boshqa salbiy omillarning (o‘zgaruvchan termomexanik yuklanishlar, atmosfera namligining mavjudligi va boshqalar) tortuv elektr dvigatellarining ishlash muddatiga ta’sirini kuchaytiradi va joriy ta’mirlash xarajatlarining oshishiga olib keladi. Shuni alohida ta’kidlash kerakki, faol qismlari haroratining atigi 8-12° C ga oshishi tortuv elektr dvigatelining xizmat qilish muddatini deyarli yarmiga qisqartirishi mumkin.

Dissertatsiyaning **“O‘zgarma tokda ishlaydigan tortuv elektr dvigatellari texnik holatini baholash”** deb nomlangan ikkinchi bobida o‘zgarma tokda ishlaydigan tortuv elektr dvigatellarining holatini baholash uchun diagnostika ko‘rsatkichlari va mezonlari, avtomatik diagnostika qilish tizimi va qoldiq xizmat qilish muddatini tadqiq qilinga.

Temir yo‘llarda foydalanishdagi tortuv elektr dvigatelining yaroqliyligi uchun undagi harorat ko‘tarilishini hisobga olgan holda aniqlanadi. Tortuv elektr dvigateli ko‘p qismlardan iborat bo‘lib, ularda ajralib chiqadigan geometrik shakllar, massalar, materiallar va energiya yo‘qotishlari orqali farqlanadi. Turli qismlar

turlicha qiziydi, shuning uchun issiqlik hisob-kitoblari dvigatelning qizish nuqtai nazaridan eng xavfli qismi uchun amalga oshiriladi. Kollektorli tortuv elektr dvigatellar uchun bu qism yakor cho'lg'ami va kamroq miqdorda qo'zg'atish cho'lg'ami, asinxron elektr dvigatellar uchun esa qisqa tushashgan rotorlardagi stator cho'lg'amidir.

Qizish eng qiyin ish sharoitlariga qarab tekshiriladi (eng katta massali poyezdlar qiyin uchashtalarda eng yuqori tezlikda va minimal to'xtash davomiyligi bilan harakat qilganda).

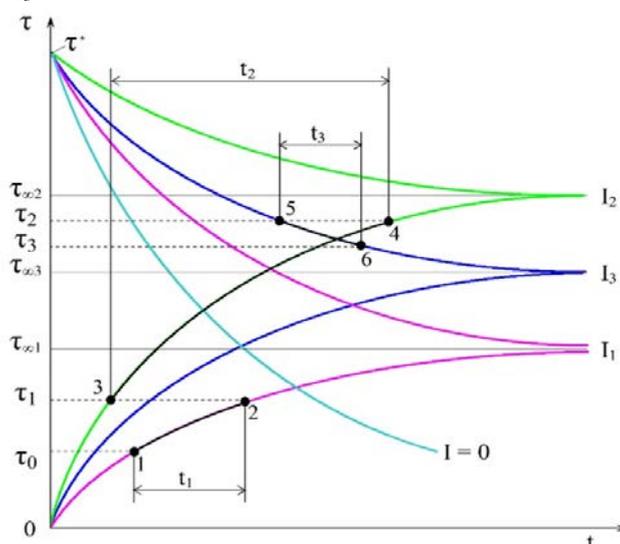
Muammoni soddalashtirish uchun tortuv elektr dvigateli bir xil jism sifatida qaraladi. Atrof-muhitga issiqlik uzatish doimiy va harorat farqining birinchi kuchiga mutanosib ekanligiga ishoniladi. Shunga ko'ra, T tortuv elektr dvigatelining haddan tashqari qizishi uchun asosiy ifoda quyidagicha ifodalanadi

$$\tau = \tau_{\infty} \cdot [1 - e^{-\frac{t}{T}}] + \tau_0 \cdot e^{-\frac{t}{T}}, \quad (1)$$

bu yerda τ_{∞} - qizib ketishdagi o'rnatilgan harorat (issiqlik muvozanati); t - joriy vaqt; e - natural logarifm asosi; T - termik vaqt doimiysi; τ_0 - sovutish paytida qizib ketishning dastlabki harorati.

Harorat egri chizig'idan t ni aniqlash usuli. Bu egri chiziqlar sinov dastgohlarida tortuv elektr dvigatelini sinov natijalari asosida tuzilgan. Doimiy yuklamada (tokda) cho'lg'amlarning harorati ma'lum vaqt oralig'ida o'lchanadi va grafikda chiziladi. Keyin boshqa tok kuchi uchun shunga o'xshash grafiklar tuziladi (3-rasm).

Tortuv elektr dvigateli katta ortiqcha yuklanish bilan ishlaganda va τ^* ga qadar qiziydi, keyin I_1 da ishlaganda uning harorati sovutish qonuniga muvofiq pasayadi. I_1 dagi qizish va sovutish egri chiziqlari barqaror holat qiymatiga intiladi. I_2 va I_3 uchun shunga o'xshash qizish va sovutish egri chiziqlari barqaror harorat ko'tarilishiga $\tau_{\infty 2}$ va $\tau_{\infty 3}$.



3-rasm. Tortuv elektr dvigatelini qizishi va sovutish egri chiziqlari:

I_1, I_2, I_3, I - tok kuchi, t - vaqt, τ_0 - sovutish paytida qizib ketishning dastlabki harorati, 1,2,3,5,6 - belgilangan nuqtalar, τ_1, τ_2, τ_3 - har xil tok kuchlari uchun barqaror harorat qiymatlari, t_1 - dvigatel I_1 tokda ishlagandagi vaqt, t_2 - dvigatel I_2 tokda ishlagandagi vaqt, t_3 - dvigatel I_3 tokda ishlagandagi vaqt, 1-nuqtadan 2-nuqtaga — I_1 tokda ishlash natijasida

qizish jarayoni, 2-nuqtadan 3-nuqtaga - sovutish jarayoni, 3-4 nuqtalar - I_2 tok kuchida yangi barqaror holatda qizish jarayoni, 5-6 nuqtalar - I_3 tok kuchida qizish yoki sovutish jarayonini ifodalaydi.

Buning sababi shundaki, chulgʻamlar t °C harorati atrof-muhit τ_∞ dan yuqori qizib ketganda, hosil boʻlgan barcha issiqlik atrof-muhitga chiqariladi.

$t < \tau_\infty$ da atrof-muhitga kamroq issiqlik chiqariladi, qolgan qismi esa haroratning koʻtarilishiga olib keladi.

Qizish va sovutish jarayonlari yuklama va tok kuchiga bogʻliq. Chiziq yuqoriga qarab oʻsa boshlasa, bu qizish jarayonidir. Chiziq pastga qarab borsa, bu sovutish jarayonidir.

Tortuv elektr dvigatellarining qoldiq muddatini baholash oldindan nosozliklarni oldini olish, ishonchliligini oshirish va tortuv elektr dvigatellarning xizmat qilish muddatini uzaytirishning muhim jihati hisoblanadi. Ushbu boʻlimda ED-118 A (B) turidag tortuv elektr dvigatellarining chidamliligini baholash uchun matematik modellar va statistik usullardan foydalangan holda harorat xususiyatlariga asoslangan nosozliklarni bashorat qilish usullari oʻrganib chiqildi.

Tortuv elektr dvigatellardan foydalanish davomida sodir boʻladigan jarayon yani haroratni koʻtarilishi natijasida tortuv elektr dvigatellarning izolatsiya qismiga harorat taʼsirida qanday reyaksiyalar sodir boʻlishi, tortuv elektr dvigatellardagi harorati normativ hujjatlarda belgilangan tashqi atrof muhit harorati yaʼni 40°C oshganda tortuv elektr dvigatellarning izolatsiya qismiga qanday taʼsiri borligi va izolatsiya materiallarida ruhsat etilgan issiqlik sinfiga qoʻllanilishi kerak boʻlgan izolatsiya materallarining tarkibi ham tahlil qilingan.

Tortuv elektr dvigatellar ishlash jarayonida qiziydi. Harorat oʻzgarishi har xil boʻlishi mumkin, yaʼni baʼzi elektr dvigatellar kamroq qiziydi, boshqalari esa koʻproq. Elektr dvigatellarning haroratining barqaror qiymati uning validagi yuklanishga bogʻliq. Katta yuklanish bilan vaqt birligida katta miqdorda issiqlik chiqariladi, yaʼni elektrodvigelning barqaror holatidagi harorat yuqoriroq boʻladi. Tortuv elektr dvigatellarining ruxsat etilgan harorati chulgʻamlarning izolyatsiyasi sinfiga bogʻliq. Izolyatsiyaning alohida sinflari uchun yuqorida koʻrsatilgan cheklangan qizish harorati amalda toʻliq qoʻllanilmaydi, chunki tortuv elektr dvigatellari va apparatlardan foydalanishda eng qizigan qismlarning izolyatsiyasi harorati ustidan aniq nazoratni oʻrnatish mumkin emas. Shu sababli, tortuv elektr dvigatellari uchun mavjud standartlar ushbu qismlarning koʻrinishi va mashinada joylashishiga qarab, alohida mashina qismlarining ruxsat etilgan haroratlari uchun pastki chegaralarni belgilaydi.

Yuqoridagilarni inobatga olgan holda shuni taʼkidlash kerakki, izolatsiya bu tortuv elektr dvigatellarning uzoq muddat ishlashini belgilovchi omil hisoblanadi.

Dissertatsiyaning **“Oʻzgarmas tokda ishlaydigan tortuv elektr dvigatellarining issiqlik koʻrsatkichlarini aniqlash algoritmlarini ishlab chiqish va matematik modellashtirish”** deb nomlangan uchinchi bobida tortuv elektr

dvigateli issiqlik almashinuv jarayoni matematik ifodalaniib, algoritm va immitatsion model ishlab chiqish yoritilgan.

Tortuv elektr dvigateling noqulay ish sharoitlari uning shikastlanishiga va noto'g'ri ishlashiga olib keladi. Barcha teplovozlardagi tortuv elektr dvigatellarining nosozliklarini ikki guruhga bo'lish mumkin bo'ladi: birinchi guruhga – eng katta nosozliklar elektr qismlariga zararlanishlar va ikkinchi guruhga mexanik nosozliklar kiradi.

Amaliyot shuni ko'rsatadiki, tortuv elektr dvigatellarining nosozliklarining umumiy sonidan, shikastlanish holatlari soni generatorlar va ikki-mashinali agregatlari ulushi 5% va qolganlari tortuv elektr dvigatellarini nosozliklari bilan bog'liq. Ko'pincha tortuv elektr dvigatellarining nosozliklari teplovozlardan foydalanish davomida sodir bo'ladi, bu nosozliklar tufayli tortuv elektr dvigatellari rejadan tashqari ta'mirlash kirishga majbur bo'ladi.

O'tkazilgan tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, tortuv elektr dvigatellari bir ishlaymay rejadan tashqari teplovozni ta'mirlash olib keladi. Ushbu nuqsonlarning aksariyati tortuv elektr dvigatellarining tok o'tkazuvchi qismidagi izolyatsiyaning shikastlanishidan iborat.

Bunday nosozliklarning paydo bo'lishining sababi issiqlikka aylantirilgan energiyaning yo'qolishi bo'lib, bu mashinalarning xizmat qilish muddatini qisqartirishga, izolyatsiyani eskirishiga, mikrodarzlar shakllanishiga va hokazolarga olib keladi. Ushbu nuqsonlarning oldini olish uchun tortuv elektr dvigateling tok o'tkazuvchi qismlarining issiqlik holatini real vaqt rejimida kuzatib borish kerak, bu lokomotivlarning o'zgaras tokda ishlaydigan tortuv elektr dvigatellarini harorat ko'rsatkichlari orqali texnik holatini baholash qurilmasi yordamida amalga oshirilishi mumkin.

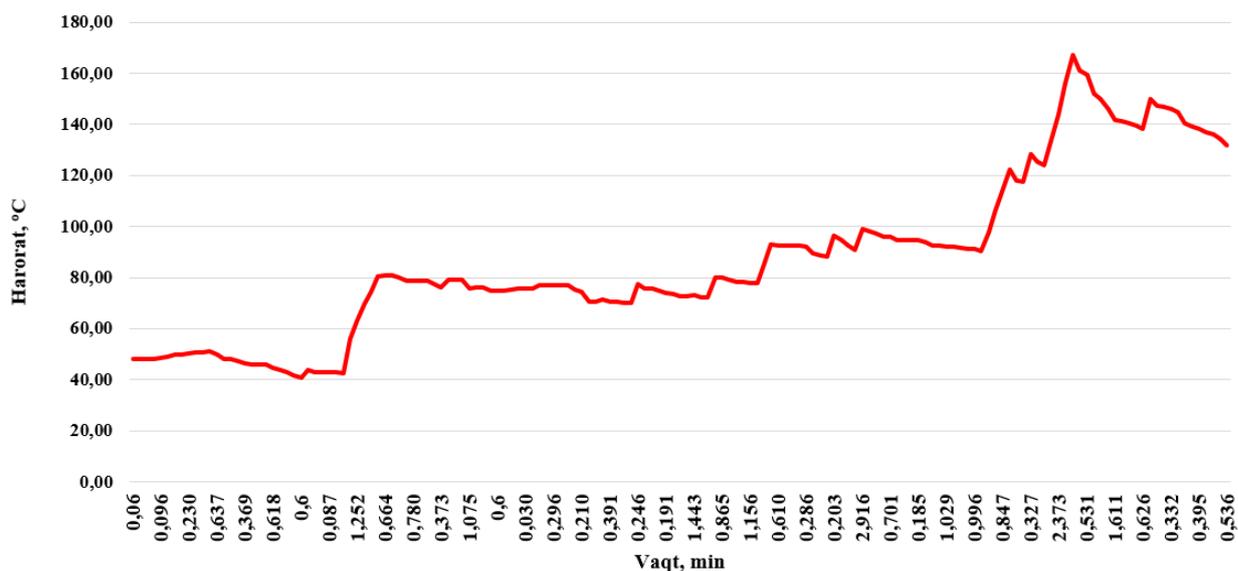
O'zgaras tokda ishlaydigan tortuv elektr dvigatellari, qoida tariqasida, dvigateling asosiy elementlarining harorati (kollektor, cho'tkalar, yakor chulg'amlari, yakorning po'latlari, asosiy va qo'shimcha qutblar) va havo oqimining harorati boshqariladi.

Asosan tortuv elektr dvigateling harorat ko'rsatkichlarini aniqlash teplovozga o'rnatilgan harorat ko'rsatkichlarini aniqlash qurilmasi tomonidan taqdim etilgan ma'lumotlar asosida, hisoblashning analitik usulini qo'llash kerak. Algoritmini yaratish uchun avvalo uning tuzilishini tuzish kerak. Birinchidan, mashinist nazoratchisining pozitsiyasini, tortuv elektr dvigateling tok qiymatini va birinchi vaqt oralig'i qiymatlarini, teplovozning keyingi diagnostikasi uchun bo'ladigan ko'rsatkichlarini olish imkonini beradi.

Keyingi qadam vaqt oralig'ida tokning boshlang'ich va oxirgi o'rtacha qiymatini hisoblash, barcha vaqt oralig'ida tok o'zgarib turadi va shuning uchun bu o'zgarishni o'rtachasini hisoblash talab qiladi. °C

Keyinchalik, mashinist nazoratchisining pozitsiyasi baholanadi. Chunki uning qiymati interval oxirida nolga teng bo'lsa, u holda teplovoz tortuv rejimida bo'ladi,

tortuv elektr dvigatelidagi harorat ko'rsatkichi o'sishi yoki kamayish jarayonni bildiradi 4-rasm.



4-rasm. Tortuv elektr dvigatelining harorat ko'rsatkichlarini vaqtga bog'liqlik grafigi

Matematik modelga kiritilishi mumkin bo'lgan asosiy formulalar:

Issiqlik tarqalishi tenglamasi: Bu tenglama chulg'am haroratining vaqtga nisbatan o'zgarishini hisoblaydi

$$\frac{dT}{dt} = \frac{k}{m \cdot c} (T_{\max} - T), \quad (2)$$

bu yerda T_{\max} -chulg'am qizishi natijasidagi maksimal harorat, T - chulg'amning joriy harorati, K - issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, m – massasi, c – issiqlik sig'imi.

Issiqlik balansi issiqlik uzatish va tarqatishni hisobga olgan holda chulg'amdagi issiqlik energiyasini quyidagi tenglama orqali aniqlash mumkin:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T, \quad (3)$$

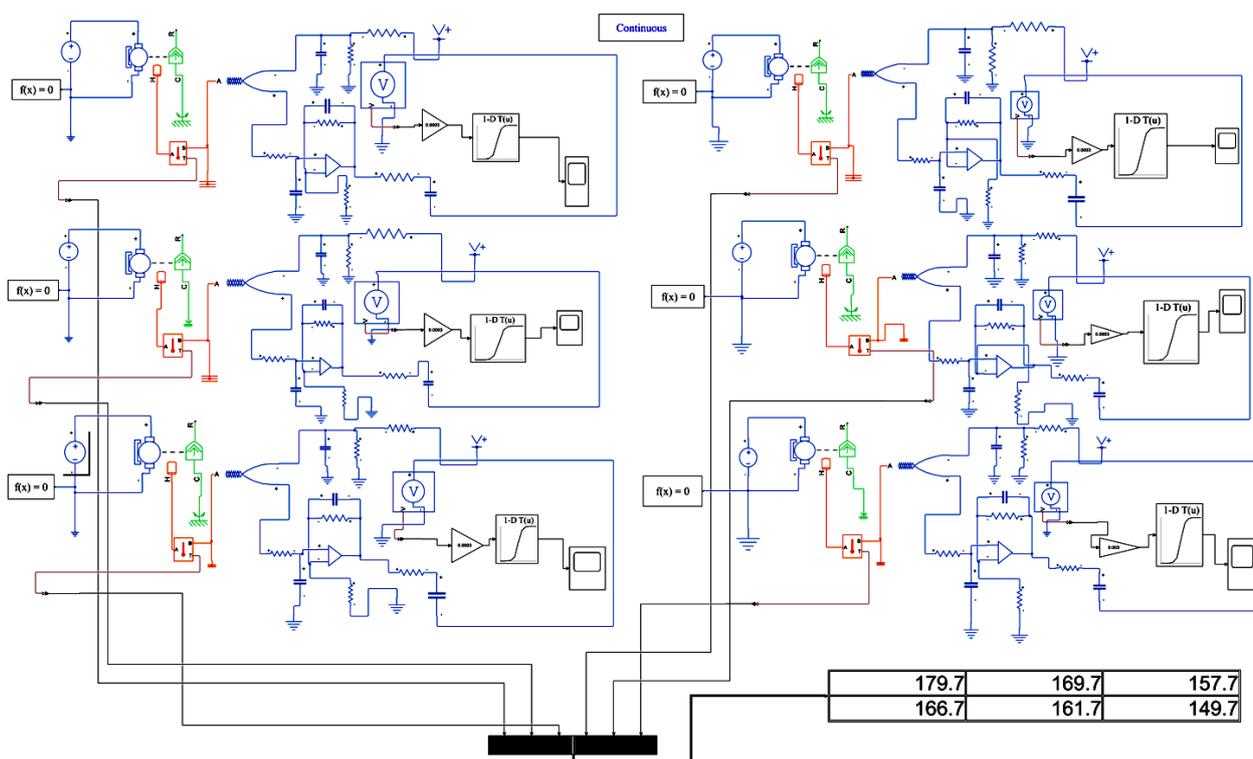
bu yerda Q - issiqlik miqdori, ΔT - harorat o'zgarishi ($T_{\max} - T$).

Chulg'amdagi issiqlik energiyasi Joule-Lens qonuni bo'yicha hisoblanadi:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t, \quad (4)$$

bu yerda I – elektr toki, R – qarshilik, t – vaqt.

Ushbu tadqiqotda MATLAB Simulink dasturiy ta'minoti yordamida tortuv elektr dvigatellarining harorat ko'rsatkichlarini aniqlash uchun imitatsion model yaratildi 5-rasm. Model yordamida real ishlash sharoitlarini modellashtirish va dvigatelning optimal harorat rejimini aniqlash imkoniyati yaratilgan.



5-rasm. Lokomotivning bitta seksiyasi uchun ishlab chiqilgan immitastion modeli

Izolyatsiyaning eskirishi kimyoviy va jismoniy eskirishning o‘zaro bog‘liq jarayonlari natijasi sifatida ko‘rib chiqilishi kerak. Kimyoviy darajada, materialning tuzilishi va tarkibi, uning elektr xususiyatlarining o‘zgarishi bilan bog‘liq bo‘lgan termik parchalanish va termik-oksidlanishning qaytarilmas jarayonlari sodir bo‘ladi.

Harorat ko‘rsatkichlarini o‘lchash va tahlil qilish dvigatellar texnik xizmatining ajralmas qismi hisoblanadi. Yuqori harorat dvigatelning samaradorligini pasaytiradi va nosozliklarning kelib chiqish xavfini oshiradi. Shu sababli, haroratni o‘z vaqtida aniqlash va nazorat qilish texnik xizmat ko‘rsatish samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

Issiqlik ta‘sirida jarayonlarini o‘rganishga zamonaviy yondashuv kimyoviy reaksiyalarning kinetik qonuniyatlarini izolyatsiya materiallarga nisbatan qo‘llashga asoslangan. Vant-Xoff-Arrhenius tenglamasiga ko‘ra, τ haroratda izolyatsiyaning xizmat qilish muddati ifoda bilan aniqlanadi:

$$D = D_n \exp \left[\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{\tau + 273} \right) - \left(\frac{1}{\tau_{qo'sh} + 273} \right) \right] = D_n \exp \left[-\frac{E_a}{R} \frac{\tau - \tau_{qo'sh}}{(\tau + 273)(\tau_{qo'sh} + 273)} \right], \quad (5)$$

bu yerda D_n - $\tau_{qo'sh}$ haroratda nominal ruxsat etilgan izolyatsiyaning xizmat qilish muddati; E_a – aktivlanish energiyasi, J/mol; $R = 8,317$ - universal gaz doimiysi, J / (deg × mol).

Formula (5) quyidagi shaklga qisqartirilishi mumkin:

$$D = D_n \exp \left(-B \frac{\Delta \tau}{\tau + 273} \right), \quad (6)$$

bu yerda B - o'lchovsiz koeffitsient, bir xil issiqlikka chidamlilik sinfidagi materiallar uchun doimiy (1-jadval); $\Delta\tau = \tau - \tau_{qo'sh}$ - izolyatsiyani qizish haroratining ruxsat etilgan haroratdan oshib ketishi.

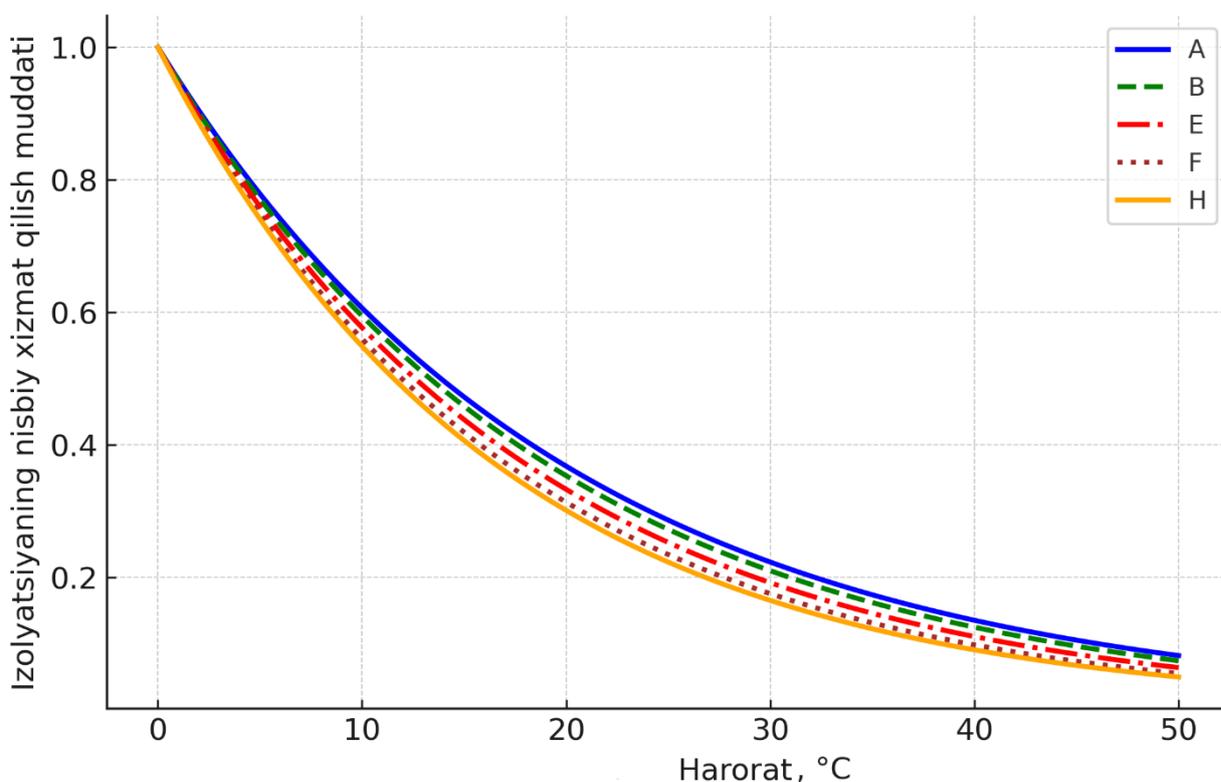
1-jadval

Izolyatsiya sinflari uchun B koeffitsientining qiymatlari

Izolatsiya sinfi	A	E	B	F	H
B	25,1	25,1	25,3	29,7	34,2

Izolyatsiyaning eskirishi kimyoviy va jismoniy eskirishning o'zaro bog'liq jarayonlari natijasi sifatida ko'rib chiqilishi kerak. Kimyoviy darajada, materialning tuzilishi va tarkibi, uning elektr xususiyatlarining o'zgarishi bilan bog'liq bo'lgan termik parchalanish va termik-oksidlanishning qaytarilmas jarayonlari sodir bo'ladi.

6-rasmda har xil sinfdagi izolyatsiya materiallar uchun nisbiy xizmat muddatining harorat ko'tarilishiga bog'liqligi ko'rsatilgan.



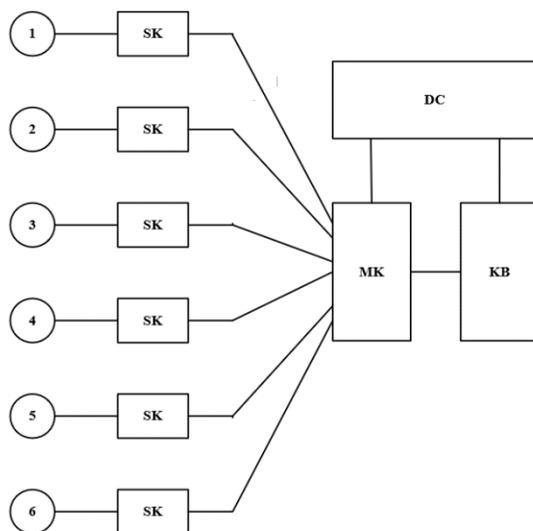
6-rasm. Izolyatsiya materiallarning nisbiy xizmat qilish muddatiga harorat o'zgarishini bog'liqligi

Ushbu bo'limdagi tahlillar va yechimlar tortuv elektr dvigatellari uchun samarali harorat monitoringi va boshqaruv tizimini yaratishga qaratilgan. Taklif etilgan model va algoritmlar dvigatellarning xizmat muddatini uzaytirishga, texnik xizmat ko'rsatish samaradorligini oshirishga va xavfsiz ishlashini ta'minlashga yordam beradi. Shu bilan birga, texnologiyaning rivojlanishi va MATLAB Simulink kabi zamonaviy vositalardan foydalanish dvigatellarning harorat ko'rsatkichlarini aniq nazorat qilish va baholashga imkon beradi. Bu esa lokomotivlarning ishonchliligini oshirish va ortiqcha issiqlikdan kelib chiqadigan nosozliklarni kamaytirishga xizmat qiladi.

Dissertatsiyaning “O‘zgarmas tokda ishlaydigan tortuv elektr dvigatellarini harorat ko‘rsatkichlarini aniqlashning tajribaviy sinov tadqiqotlari” deb nomlangan to‘rtinchi bobida diagnostika qurilmasi ishlab chiqilib, turli ekspluatatsiya sharoitlarida harorat ko‘rsatkichini aniqlash orqali tortuv elektr dvigatellarning texnik holatini baholash metodikasi takomillashtirilib, tajriba tadqiqotlari amalga oshirilgan.

Lokomotivlarni texnik holatini baholash uning qismlarini ta‘mirlash turlari xarajatlarini kamaytirish eng asosiy mezonlardan biridir bu esa temir yo‘l transportida sarf-xarajatlarni kamaytirishga va yuk va yo‘lovchi tashish tan narxini pasaytirishga imkon beradi. Lokomotivni texnik holatini uzliksiz nazorat qilish uchun diagnostika qurilmalari va metodlardan foydalanish orqali ko‘zda tutilgan natijaga erishish mumkin. “O‘zbekiston temir yo‘llari” AJ ning lokomotivlardan foydalanish boshqarmasining asosiy vazifalaridan biri lokomotivlarni ta‘mirlash xarajatlariga ketadigan sarf-xarajatlarni va import mahsulotlarini kamaytirish hisobiga mahalliyashtirish, yani lokomotivlarga nosozlik kelib chiqishini oldindan baholay olish, buning uchun zamonaviy diagnostika qurilmalaridan foydalangan holda erishish mumkin. Zamonaviy diagnostika qurilmalaridan foydalanish lokomotivlarni soz holatda ishlashini ta‘minlaydi.

Tortuv elektr dvigatellarini issiqlik holatini aniqlash orqali diagnostika qilish qurilmasi quydagi sxema yordamida amalga oshirildi (7-rasm).



7-rasm. O‘zgarmas tokda ishlaydigan tortuv elektr dvigatellarni diagnostika qilish qurilmasini sxemasi: 1,2,3,4,5,6 -mos ravishda lokomotivning bitta seksiyasida tortuv elektr dvigatellariga o‘rnatilgan harorat datchiklari; SK- signal kuchaytirgich; MK-mikrokontroller; DC- o‘zgarmas tok manbai; KB- ko‘rsatish blogi

Arduino sxemasi asosida tortuv elektr dvigatellarning harorat ko‘rsatkichlari orqali diagnostika usuli mobil diagnostika moslamasi ishlab chiqilgan, bu esa mobil nazoratning tavsiya etilgan usulidan foydalanishga imkon beradi.

Natijada, issiqlik ko‘rsatkichlarini aniqlash orqali tortuv elektr dvigatellarining texnik holatini baholashning mezonlari asoslanadi. Tortuv elektr dvigatellarining texnik holatini baholash quyidagicha olib boriladi: tortuv elektr dvigatellar ishlayotganda ularning harorati ko‘tariladi, shundan so‘ng issiqlik ta‘siri

va dielektrik izolyatsiyalarning qoldiq resursni taxmin qilish mumkin. Shu bilan birga, asosiy maqsad tortuv elektr dvigaellarning ishdan chiqishida uning yakori va qutblarini ishdan chiqishini oldini olish uchun haroratni o'z vaqtida aniqlashdan iborat.

Ixtironing vazifasi uzoq muddatli ekspluatatsuya davomida tortuv elektr dvigatellarining ishonchliligi va ekspluatatsiya samaradorligini oshirishdir. Yuqorida qo'yilgan vazifa 8-rasmda tortuv elektr dvigatellarning texnik holatini uning harorat ko'rsatkichlarini aniqlash orqali baholash bilan hal qilinadi.

a



b



8-rasm. Tortuv elektr dvigatellarining texnik holatining diagnostikasi:

a - UzTE16M №014 teplovozining tortuv elektr dvigatellarini haroratini ko'rsatuvchi display; *b* – diagnostika kompleksi displeyining harorat ko'rsatkichi

Tortuv elektr dvigatelning qizishini hisoblash ancha murakkab masala hisoblanadi. Uning yechimi ko'p jihatdan konstruksiyaning o'ziga xos xususiyatlari va muayyan mashinaning xarakteristikalariga bog'liq.

O'tkazilgan tadqiqot va sinovlar natijasida tortuv elektr dvigatellarining haroratini doimiy ravishda nazorat qiluvchi diagnostika tizimining samaradorligi isbotlandi. Qurilma yordamida dvigatelning qizib ketishini oldindan aniqlash va tegishli choralarni ko'rish imkoniyati yaratildi. Bu nafaqat lokomotivning ishonchliligini oshirish, balki ekspluatatsiya xarajatlarini kamaytirish, xizmat muddatini uzaytirish va favqulodda nosozliklarning oldini olishga xizmat qildi.

Tizimning ishlash jarayonida yig'ilgan ma'lumotlar texnik xizmat ko'rsatish strategiyasini takomillashtirishga yordam berdi. Diagnostika tizimidan olingan signal ma'lumotlari asosida dvigatelning holatini real vaqtda kuzatish va mashinistlarga xavfli harorat sharoitlarini oldindan bildirish imkoniyati yaratildi. Bu texnologik yondashuv lokomotiv parkini yanada samarali boshqarish va modernizatsiya qilish uchun katta qadam bo'lib xizmat qiladi.

Bunday tizimlardan foydalanish bo'lajak texnik xizmat ko'rsatish texnologiyalarining asosi bo'lib, "O'zbekiston temir yo'llari" AJ tomonidan zamonaviy diagnostika metodlarini qo'llash orqali temir yo'l transportida ishonch va samaradorlikni yanada oshirishga imkon beradi.

XULOSA

Dissertatsiya ishida magistral va manyovr lokomotivlarning o'zgaras tokda ishlaydigan tortuv elektr dvigatellarini texnik holatini baholash va ishonchligini oshirishga qaratilgan nazariy va eksperimental tadqiqotlar o'tkazildi, shu bilan birga:

1. O'zbekiston temir yo'llarida o'zgaras tokda ishlaydigan tortuv elektr dvigatellarining asosiy nosozliklari tahlil qilindi. Ularning ishlash samaradorligini pasaytiruvchi muhim omillar sifatida izolyatsiya qarshiligining pasayishi, mexanik nosozliklar va harorat ta'sirida yuzaga keladigan muammolar belgilab olindi. Mavjud diagnostika usullari o'rganilib, yangi texnologiyalar bilan takomillashtirish talab etilishi aniqlandi.

2. MATLAB Simulink dasturiy ta'minotida TEDlarning harorat ko'rsatkichlarini aniqlash tizimining imitatsion modeli ishlab chiqildi. Ushbu model izolyatsiya materiallarining eskirish jarayonlarini oldindan baholash va diagnostika natijalarini aniqlik bilan olish imkonini beradi.

3. Harorat ko'rsatkichlarini aniq va real vaqt rejimida kuzatish imkonini beruvchi yangi diagnostika qurilmasi ishlab chiqildi. Qurilma tajriba sinov stansiyasida va ekspluatatsion sinovlardan o'tkazilib, uning yuqori aniqlikda ishlashi tasdiqlandi.

4. Harorat ko'rsatkichlariga asoslangan holda izolyatsiya materiallarining eskirish jarayonlarini baholash metodikasi ishlab chiqildi. Ushbu metodika orqali ekspluatatsion nosozliklarni oldindan aniqlash va texnik xizmat muddatlarini optimallashtirish imkoniyati yaratildi.

5. Tinchlik lokomotiv deposida o'tkazilgan amaliy tadqiqotlar asosida diagnostika uskunalari va harorat ko'rsatkichlarini aniqlash metodikasi ekspluatatsion sharoitlarda sinovdan o'tkazildi. Tadqiqot natijalari diagnostika tizimlarining samaradorligini tasdiqladi va ularni keng qo'llash bo'yicha tavsiyalar ishlab chiqildi.

6. Diagnostikasi qilish orqali TEDning texnik xizmat ko'rsatish intervalini optimallashtirish va ekspluatatsiya xarajatlarini kamaytirish bo'yicha amaliy takliflar ishlab chiqildi. TED larning ishlatiladigan izolatsiya sinfini H klass izolatsiya sinfiga o'tkazish taklifi lokomotivlarni ta'mirlash korxonalariga berildi.

Shu bois, bajarilgan nazariy va eksperimental tadqiqotlar asosida ishlab chiqilgan yangi texnik yechimlar barcha ekspluatatsion ish rejimlarida tortuv elektr dvigatellarning harorat ko'rsatkichlarini yuqori aniqlik bilan o'lchash orqali ishonchlikni oshirish va asosiy, yordamchi qutblar va yakorlarning shikastlanishi tufayli lokomotivlarning ishdan chiqishini oldini olish imkonini beradi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ НАУЧНЫХ СТЕПЕНЕЙ
DSc.15/31.08.2022.Т.73.07 ПРИ ТАШКЕНТСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ ТРАНСПОРТНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТРАНСПОРТНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

ЖАМИЛОВ ШУХРАТ ФАРМОН УГЛИ

**ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ПОВЫШЕНИЕ
НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА
ЛОКОМОТИВОВ**

05.08.05 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент – 2025

Тема диссертации доктора философии по техническим наукам (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за B2024.3.PhD/T4955.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном транспортном университете.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-сайте Научного Совета (www.tstu.uz) и Информационно-образовательном портале «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель:

Хамидов Отабек Рустамович
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Пирматов Нурали Бердиярович
доктор технических наук, профессор

Курилкин Дмитрий Николаевич
кандидат технических наук, доцент

Ведущая организация:

Защита диссертации состоится _____ 2025 г. ____ часов на заседании Научного совета DSc.15/31.08.2022.T.73.07 при Ташкентском государственном транспортном университете. Адрес: 100167, Ташкент, Темирийулчилар, 1. Тел.: (99871) 299-00-01; факс: (99871) 293-57-54, e-mail: tashiit_rektorat@mail.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в Ташкентском государственном транспортном университете (регистрационный номер – 231). Адрес: 100167, Ташкент, ул. Темирийулчилар, 1. Тел.: (99871) 299-05-66.

Автореферат диссертации разослан _____ 2025 года.
(протокол реестра № _____ от _____ 2025 года).

Р.В. Рахимов

Председатель Научного совета
по присуждению учёных степеней,
д.т.н., профессор

Я.О. Рузметов

Ученый секретарь Научного совета
по присуждению учёных степеней,
д.т.н., профессор

Р.М. Мирсаатов

Председатель Научного семинара
при Научном совете по присуждению
учёных степеней, д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире особое внимание уделяется совершенствованию существующих конструкций тяговых электродвигателей локомотивов на железнодорожном транспорте и созданию новых. Решение этих задач является одним из основных направлений развития в специализированных научных, конструкторских и производственных организациях мира. В настоящее время в развитых странах научно-исследовательские и научные центры решают ряд вопросов, связанных с повышением безопасности движения поездов при различных режимах нагрузки и диапазонах скоростей, снижением затрат на техническое обслуживание локомотивов и увеличением межремонтного периода локомотивов. Необходимо разработать новые направления исследований по совершенствованию парка локомотивов и предложению инновационных решений для увеличения грузооборота при нехватке существующих локомотивов и низкой мощности железнодорожных участков, в частности, по внедрению программ и методик, направленных на улучшение работы тяговых электродвигателей, являющихся основным тяговым модулем локомотивов. Вместе с тем, одним из способов улучшения технико-экономических показателей и эффективного использования парка магистральных и маневровых локомотивов является проведение масштабных мероприятий по оценке технического состояния и повышению надежности тяговых электродвигателей.

В мире ведутся различные научно-технические и технологические работы по разработке и совершенствованию современных конструкций тяговых электродвигателей, реализуются комплексные мероприятия по исследованию эффективного использования существующих тяговых электродвигателей. В этом направлении, в частности, большое внимание заслуживает оценка технического состояния тяговых электродвигателей, работающих на постоянном токе локомотивов, относящихся к локомотивному хозяйству. Поэтому определение технического состояния и повышение надежности тяговых электродвигателей постоянного тока в условиях эксплуатации является одной из важных задач, стоящих перед железнодорожным транспортом, решение которой позволит сэкономить бюджетные валютные средства, выделяемые на приобретение новых тяговых электродвигателей и их компонентов, что приведет к сокращению затрат на техническое обслуживание и ремонт существующих тяговых электродвигателей.

В нашей республике реализуется ряд мер по дальнейшему развитию различных отраслей транспорта, в частности, организации технического обслуживания и эффективного использования парка железнодорожных локомотивов, а также пополнению его локомотивами с улучшенными технико-экономическими характеристиками. В Стратегии развития Нового

Узбекистана на 2022-2026 годы³ и Постановлении Президента Республики Узбекистан № ПП-329⁴ определены такие важные задачи, как ...развитие единой транспортной системы с неразрывной связью всех видов транспорта..., ...развитие рынка и инфраструктуры транспортно-логистических услуг..., ...расширение "зеленых коридоров" и транзитных возможностей в транспортной системе..., а также ..."снижение затрат на перевозку пассажиров и грузов..., ...развитие железнодорожной инфраструктуры, обновление парка локомотивов и вагонов..." Для реализации этих задач, в частности, одним из важных направлений является исследование диэлектрической прочности, электрического сопротивления и температурных показателей изоляционных материалов тяговых электродвигателей локомотивов, работающих на постоянном токе, определение которых позволяет оценить техническое состояние этих двигателей и обосновывает повышение их надежности.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Законах Республики Узбекистан № ЗРУ-706 «О транспорте» от 9 августа 2021 года и № 766-І «О железнодорожном транспорте» от 15 апреля 1999 года, Указах Президента Республики Узбекистан № УП-60 «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы» от 28 января 2022 года и № УП-5647 «О мерах по коренному совершенствованию системы государственного управления в сфере транспорта» от 1 февраля 2019 года, Постановлениях Президента Республики Узбекистан № ПП-4703 «О мерах по коренному совершенствованию системы подготовки кадров в сфере транспорта» от 4 мая 2020 года и № ПП-329 «О мерах по коренному реформированию сферы железнодорожного транспорта Республики Узбекистан» от 10 октября 2023 года, а также в других нормативно-правовых документах, относящихся к данной деятельности.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. На основе анализа и исследований, проведенных в рамках данного исследования, результатов экспериментов, проведенных на локомотивах, проведена оценка эффективности использования топливно-энергетических ресурсов и снижения затрат на топливо - II. «Энергетика, энерго-и ресурсосбережение».

Степень изученности проблемы. Научные исследования, направленные на решение актуальных проблем, связанных с оценкой технического состояния, повышением надежности и совершенствованием современных систем мобильной диагностики тяговых электродвигателей железнодорожных подвижных составов, проводятся в университетах, научных центрах и научно-исследовательских институтах ведущих стран мира.

Зарубежные ученые внесли большой вклад в повышение эксплуатационной надежности тяговых электродвигателей и разработку

¹Указ Президента Республики Узбекистан № УП-60 от 28 января 2022 года «О стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы»

² Постановление Президента Республики Узбекистан № ПП-329 от 10 октября 2023 года «О Мерах по коренному реформированию сферы железнодорожного транспорта Республики Узбекистан»

современных методов и средств мобильной диагностики. В частности: В.Б. Кулаковский, Г.Н. Александров, А.С. Курбасов, А.Д. Глущенко, Н.А. Ротанова, А.А. Скворцов, В.А. Винокурова, Н.Д. Вайкова, А.С. Серебрякова, В.Д. Радченко, О.Д. Гольдберг, В.П. Немухина, Г.К. Герваис и другие в своих научных работах изучали физические процессы.

Одним из основных направлений обеспечения надежности тяговых электродвигателей локомотивов является развитие методов и средств диагностики, которым посвятили свои работы многие ученые.

В нашей стране ученые вносят весомый вклад в дальнейшее развитие и совершенствование методов теоретических расчетов и экспериментальных исследований по диагностике электродвигателей тяговых подвижных составов. В частности, О.Р. Хамидов, Ш.С. Файзибаев, С.Ф. Абляимов, А.Т. Джаникулов, Н.С. Зайниддинов, О.Т. Касимов и ряд других отечественных ученых провели широкомасштабные научные исследования по этим вопросам.

Анализ зарубежного и отечественного опыта показывает, что научные исследования, направленные на разработку новых решений по внедрению диагностических устройств с целью оценки технического состояния и повышения надежности тяговых электродвигателей, работающих на постоянном токе, определения срока службы изоляционных материалов и методики расчета температурных показателей двигателей в условиях эксплуатации и определения температурных показателей с помощью диагностического устройства, проведены недостаточно.

Связь диссертационного исследования с планами научно - исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с решением научно-технического совета АО «Узбекистон темир йуллари» (протокол № 29/1 от 28.09.18 г.) и «Единым комплексным планом повышения технического уровня АО «Узбекистон темир йуллари» на 2019 год». (приказ № 2374 - НЗ от 27.12.18 г.), утвержденным постановлением Кабинета Министров Республики Узбекистан.

Целью исследования является повышение эксплуатационной эффективности и надежности тяговых электродвигателей постоянного тока, используемых в Республике Узбекистан, путем оценки их технического состояния.

Задачи исследования:

определение технического состояния и анализ неисправностей тяговых электродвигателей, используемых на магистральных и маневровых локомотивах железных дорог Узбекистана;

создание имитационной модели системы определения температурных показателей тяговых электродвигателей в программном обеспечении Matlab Simulink;

разработка устройства для определения температурных показателей тяговых электродвигателей с использованием высокоточных методов диагностики;

разработка методики расчета температурных показателей тяговых электродвигателей в условиях эксплуатации;

анализ изменения свойств изоляционных материалов под влиянием температурных показателей в тяговых электродвигателях и исследование зависимости температурных показателей от срока службы тягового электродвигателя.

Объектом исследования являются тяговые электродвигатели локомотивов, работающие на постоянном токе.

Предметом исследования является надежность электродвигателей постоянного тока локомотивов.

Методы исследования. В процессе выполнения научных исследований использовались статистические, аналитические и экспериментальные методы исследования. В ходе научных исследований были применены аналитические методы в теоретических исследованиях по оценке текущего технического состояния тяговых электродвигателей локомотивов, а также современные инженерные программы MATLAB. Создание нового диагностического устройства на основе разработки имитационной модели системы определения температурных показателей тяговых электродвигателей, предназначенных для локомотивов, в программе MATLAB.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

Разработана имитационная модель, позволяющая анализировать устойчивость к тепловым воздействиям тяговых электродвигателей локомотивов с учетом процессов деградации изоляционных материалов;

впервые разработано диагностическое устройство, позволяющее определить температурные показатели обмоток тяговых электродвигателей постоянного тока с помощью высокоточных датчиков температуры;

разработана математическая модель, позволяющая рассчитать перегрузку якорных обмоток с учетом коэффициента сопротивления материала с помощью уравнений теплового баланса тяговых электродвигателей;

разработана усовершенствованная методика определения технического состояния и надежности тяговых электродвигателей постоянного тока с учетом тепловых нагрузок в различных условиях и режимах эксплуатации локомотивов.

Практические результаты исследования состоят в следующем:

Впервые на тепловозе UzTE16M3 014 локомотивного депо «Гинчлик» АО «Узбекистон темир йуллари» установлено устройство диагностики технического состояния тяговых электродвигателей постоянного тока, работающих в различных эксплуатационных условиях, с помощью которого разработаны методы контроля их температурных показателей;

разработана усовершенствованная методика оценки технического состояния двигателя путем определения температурных показателей, позволяющая выявить основные критерии оценки технического состояния тяговых электродвигателей постоянного тока.

Достоверность результатов исследования подтверждается

использованием в теоретических исследованиях современных цифровых методов и инженерного программного обеспечения, в экспериментах и испытаниях - сертифицированных и калиброванных средств измерений, а также взаимной согласованностью результатов теоретических и практических исследований.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования заключается в разработке новой методики оценки технического состояния ТЭД постоянного тока магистральных и маневровых локомотивов в процессе эксплуатации. В данной методике приводится научно обоснованный подход к прогнозированию технических неисправностей и рисков, возникающих в процессе работы локомотивов, их эффективному анализу и проведению необходимых ремонтных работ. Кроме того, была разработана новая диагностическая система для регулярного контроля температурных показателей ТЭД. Повышение температуры снижает эффективность работы ТЭД и приводит к серьезным неисправностям при длительной эксплуатации. Новая система позволяет предотвращать неисправности и обеспечивать техническое обслуживание в кратчайшие сроки путем мониторинга температурных показателей в режиме реального времени.

Практическая значимость результатов исследования заключается в том, что разработанная новая диагностическая система позволяет быстро и эффективно оценивать техническое состояние локомотивов, повышая эффективность эксплуатационных и ремонтных работ. Упрощаются процессы выявления и устранения технических проблем, возникающих в процессе эксплуатации, что создает возможность эффективного и экономичного технического обслуживания. Также сокращается время ремонта и технического обслуживания, что обеспечивает непрерывность работы локомотивов.

Внедрение результатов исследования. На основе проведенных научных исследований по определению технического состояния и повышению надежности тяговых электродвигателей постоянного тока магистральных и маневровых локомотивов, эксплуатируемых на железных дорогах Узбекистана:

усовершенствована методика расчета температурных показателей тяговых электродвигателей магистральных и маневровых локомотивов на постоянном токе в различных условиях эксплуатации и внедрена в производство в "Локомотивном депо "Тинчлик." (Справка Министерства транспорта Республики Узбекистан № 4/E1617 от 2 декабря 2024 г.). На основании результатов расчетов и экспериментальных измерений продлен срок службы тяговых электродвигателей;

Диагностическое устройство для определения температурных показателей тяговых электродвигателей магистральных и маневровых локомотивов, работающих на постоянном токе, внедрено в производство в "Тинчлик локомотив депо" (Справка Министерства транспорта Республики

Узбекистан № 4/E1617 от 12 декабря 2024 г.). В результате, благодаря диагностическому устройству, установленному на магистральных локомотивах, машинистские бригады могут видеть, контролировать и управлять показателями температуры в тяговых электродвигателях постоянного тока.

Апробация результатов исследования. Результаты диссертационного исследования были представлены на 8 научных конференциях, в том числе на 3 научных конференциях, индексируемых в международной базе данных Scopus, на 2 международных и 3 республиканских научно-практических конференциях.

Публикация результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 19 научных работ, в том числе 4 в международных и 11 в изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, включая 3 работы на научных конференциях, индексируемых в базе данных SCOPUS, зарегистрирован 1 программный продукт для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 125 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и необходимость темы диссертации, освещено состояние вопроса, сформулированы цель и задачи исследования, охарактеризованы объект и предмет исследования, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснованы теоретическая и практическая значимость, достоверность, приведены сведения о внедрении результатов научных исследований в производство, а также представлена информация об опубликованных работах и структуре диссертации.

В первой главе диссертации, озаглавленной **«Анализ эксплуатационных показателей и оценка технического состояния тяговых электродвигателей локомотивов, эксплуатируемых на железных дорогах Узбекистана»**, в результате проведенных анализов установлено, что большая часть тяговых подвижных составов, используемых в локомотивном парке АО «Узбекистон темир йуллари», а именно 82%, оснащены тяговыми электродвигателями, работающими на постоянном токе. Также подробно освещены факторы, влияющие на техническое состояние этих двигателей.

Тяговые электродвигатели (ТЭД), работающие на постоянном токе, являются одним из широко используемых типов электродвигателей на железнодорожном транспорте, и анализ их эксплуатационных показателей имеет важное значение. Такие двигатели оцениваются по показателям технического обслуживания, срока службы, устойчивости к техническим

неисправностям и энергоэффективности. Их эксплуатационные характеристики зависят от нескольких факторов.

В связи с этим снижение затрат на ремонт также имеет важное значение. Благодаря установленному плану и своевременной реализации можно продлить срок службы двигателей, что способствует предотвращению излишних расходов. Регулярная диагностика локомотивов позволяет выявлять неисправности на ранней стадии и предотвращать крупные аварии, что является важным фактором долгосрочной эксплуатации локомотивов. Таким образом, повышение эффективности процессов технического обслуживания и поддержание подвижного состава в постоянной готовности к работе способствует повышению качества и безопасности обслуживания тяговых электродвигателей локомотивов АО «Узбекистон темир йуллари». Доля ТЭД, работающих на постоянном токе в локомотивном парке, составляет 82%, что требует проведения научно-исследовательских работ в этом направлении из-за увеличения из года в год затрат на техническое обслуживание и ремонт. На рисунке 1 приведены анализы и диаграммы, отражающие классификацию всех типов ТЭД в локомотивном парке АО «Узбекистон темир йуллари» по типу тока.



Рис. 1. Анализ количественного состава тяговых электродвигателей (ТЭД) в локомотивном парке АО «Узбекистон темир йуллари»

Учитывая, что тяговые электродвигатели маневровых и магистральных тепловозов, а также электровозов ВЛ60, ВЛ80 в локомотивном парке АО «Узбекистон темир йуллари» работают на постоянном токе, необходимо проанализировать неисправности, выявленные в результате их длительной эксплуатации.

Анализ всех неисправностей, встречающихся в тяговых электродвигателях локомотивного депо «Тинчлик» Управления эксплуатации локомотивов АО «Узбекистон темир йуллари» в течение 2019-2023 годов, представлен на рисунке 2.

Эксплуатационная надежность и срок службы тяговых электродвигателей в значительной степени зависит от рабочей температуры изоляционного материала обмотки.

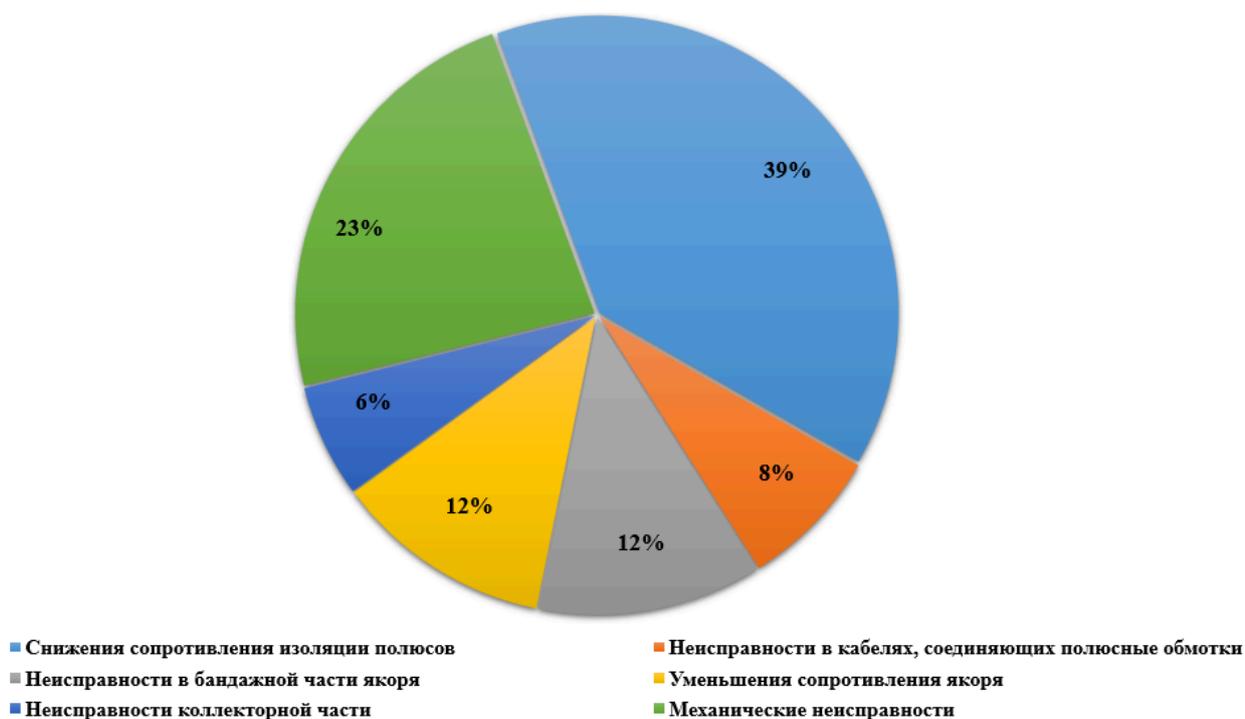


Рис. 2. Анализ неисправностей ТЭД электровозов постоянного тока, обнаруженных в локомотивном депо «Тинчлик» в 2019-2023 годах

Влияние температуры, а также других негативных факторов (переменные термомеханические нагрузки, наличие атмосферной влаги и др.) усиливает воздействие на срок службы тяговых электродвигателей и приводит к увеличению затрат на текущий ремонт. Следует особо отметить, что повышение температуры активных частей всего на 8-12°C может сократить срок службы тягового электродвигателя почти наполовину.

Во второй главе диссертации, озаглавленной «**Оценка технического состояния тяговых электродвигателей постоянного тока**» исследованы диагностические показатели и критерии для оценки состояния тяговых электродвигателей постоянного тока, система автоматической диагностики и остаточный срок службы.

При эксплуатации на железных дорогах пригодность тягового электродвигателя определяется с учетом его нагрева. Тяговый электродвигатель состоит из многих частей, которые отличаются геометрическими формами, массами, материалами и потерями энергии. Разные части нагреваются по-разному, поэтому тепловые расчеты производятся для наиболее критичной с точки зрения нагрева части двигателя. Для коллекторных тяговых электродвигателей эта часть является обмоткой якоря в меньшей степени, обмоткой возбуждения, а для асинхронных электродвигателей - обмоткой статора в короткозамкнутых роторах.

Проверка нагрева проводится для наиболее сложных условий работы (при движении поездов с наибольшей массой на трудных участках с максимальной скоростью и минимальной длительностью остановок).

Для упрощения задачи тяговый электродвигатель рассматривается как однородное тело. Считается, что теплоотдача в окружающую среду постоянна и пропорциональна разности температур в первой степени. Соответственно, основное выражение для перегрева тягового электродвигателя T выражается следующим образом

$$\tau = \tau_{\infty} \cdot [1 - e^{-\frac{t}{T}}] + \tau_0 \cdot e^{-\frac{t}{T}} \quad (1)$$

где τ_{∞} - установившаяся температура при нагревании (тепловое равновесие); t - текущее время; e - основание натурального логарифма; T - постоянная термического времени; τ_0 - начальная температура перегрева при охлаждении.

Метод определения t по температурной кривой. Эти кривые построены на основе результатов испытаний тягового электродвигателя на испытательных стендах. При постоянной нагрузке (токе) температуру обмоток измеряют через определенные промежутки времени и наносят на график. Затем составляются аналогичные графики для других значений силы тока (рис. 3).

При работе тягового электродвигателя с большой перегрузкой он нагревается до τ^* , а затем при работе на токе I_1 его температура понижается согласно закону охлаждения.

Кривые нагрева и охлаждения в I_1 стремятся к значению устойчивого состояния. Аналогичные кривые нагрева и охлаждения для I_2 и I_3 приводят к стабильному повышению температуры $\tau_{\infty 2}$ и $\tau_{\infty 3}$.

Это объясняется тем, что при нагревании t °С обмоток выше температуры окружающей среды все полученное тепло выбрасывается в окружающую среду. При $t < \tau_{\infty}$ в окружающую среду выделяется меньше тепла, а остальное приводит к повышению температуры.

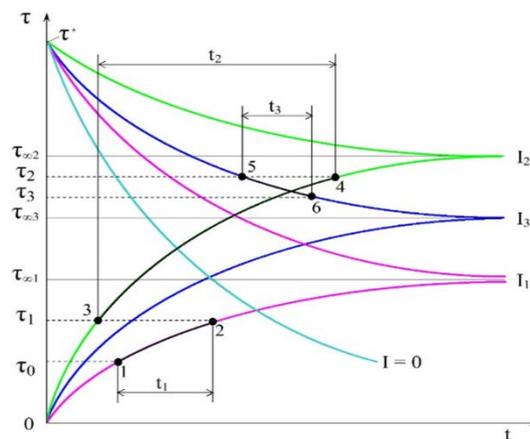


Рис. 3. Кривые нагрева и охлаждения тягового электродвигателя:

I_1, I_2, I_3, I - сила тока, t - время, τ_0 - начальная температура перегрева при охлаждении, 1, 2, 3, 5, 6 - фиксированные точки, τ_1, τ_2, τ_3 - значения установившейся температуры для различных сил тока, t_1 - время работы двигателя при токе I_1 , t_2 - время работы двигателя при токе I_2 , t_3 - время работы двигателя при токе I_3 , от точки 1 до точки 2 - процесс нагрева в результате работы при токе I_1 , от точки 2 до точки 3 - процесс охлаждения, 3-4 точки - процесс нагрева в новом установившемся состоянии при силе тока I_2 , 5-6 точки - процесс нагрева или охлаждения при силе тока I_3

Процессы нагрева и охлаждения зависят от нагрузки и силы тока. Когда линия начинает расти вверх, это процесс нагревания. Если линия идет вниз, это процесс охлаждения.

Оценка остаточного срока службы тяговых электродвигателей является

важным аспектом предотвращения преждевременных отказов, повышения надежности и продления срока службы тяговых электродвигателей. В данном разделе изучены методы прогнозирования отказов на основе температурных характеристик с использованием математических моделей и статистических методов для оценки долговечности тяговых электродвигателей типа ЭД-118 А (Б).

Проанализированы процессы, происходящие в ходе эксплуатации тяговых электродвигателей, а именно реакции, возникающие под воздействием температуры на изоляционную часть тяговых электродвигателей в результате повышения температуры, влияние на изоляционную часть тяговых электродвигателей при повышении температуры окружающей среды выше установленной нормативными документами (40°C), а также состав изоляционных материалов, которые должны применяться в соответствии с допустимым классом нагревостойкости.

Тяговые электродвигатели нагреваются в процессе работы. Изменения температуры могут быть различными: одни электродвигатели нагреваются меньше, другие - больше. Установившееся значение температуры электродвигателей зависит от нагрузки на его вал. При большой нагрузке в единицу времени выделяется большое количество теплоты, то есть температура электродвигателя в установившемся состоянии выше. Допустимая температура тяговых электродвигателей зависит от класса изоляции обмоток. Для отдельных классов изоляции указанная выше предельная температура нагрева практически не применяется в полной мере, так как при эксплуатации тяговых электродвигателей и аппаратов невозможно установить точный контроль за температурой изоляции наиболее нагретых частей. Поэтому действующие стандарты для тяговых электродвигателей устанавливают нижние границы допустимых температур отдельных частей машины в зависимости от их вида и расположения в машине.

Учитывая вышеизложенное, следует отметить, что изоляция является фактором, определяющим длительность работы тяговых электродвигателей.

В третьей главе диссертации, озаглавленной **«Разработка и математическое моделирование алгоритмов определения тепловых показателей тяговых электродвигателей, работающих на постоянном токе»**, описывается математическое описание процесса теплообмена тяговых электродвигателей, разработка алгоритма и имитационной модели.

Неблагоприятные условия работы тягового электродвигателя приводят к его повреждению и неправильному функционированию. Неисправности тяговых электродвигателей всех тепловозов можно разделить на две группы: к первой группе относятся наиболее серьезные неисправности - повреждения электрических частей, а ко второй группе - механические неисправности.

Практика показывает, что из общего числа неисправностей тяговых электродвигателей доля случаев повреждений генераторов и двухмашинных агрегатов составляет 5%, а остальные связаны с неисправностями тяговых электродвигателей. Чаще всего неисправности тяговых электродвигателей возникают во время эксплуатации тепловозов, из-за чего тяговые электродвигатели вынуждены подвергаться внеплановому ремонту.

Проведенные исследования показали, что неисправность тяговых

электродвигателей приводит к внеплановому ремонту тепловоза. Большинство этих дефектов связано с повреждением изоляции в токопроводящей части тяговых электродвигателей.

Причиной возникновения таких неисправностей являются потери энергии, преобразованной в тепло, что приводит к сокращению срока службы машин, износу изоляции, образованию микротрещин и т.д. Для предотвращения этих дефектов необходимо отслеживать тепловое состояние токопроводящих частей тягового электродвигателя в режиме реального времени, что может быть осуществлено с помощью устройства оценки технического состояния тяговых электродвигателей постоянного тока локомотивов по температурным показателям.

В тяговых электродвигателях постоянного тока, как правило, контролируется температура основных элементов двигателя (коллектора, щеток, обмоток якоря, сталея якоря, основных и дополнительных полюсов) и температура воздушного потока.

В основном для определения температурных показателей тягового электродвигателя следует применять аналитический метод расчета на основе данных, предоставленных устройством определения температурных показателей, установленным на тепловозе.

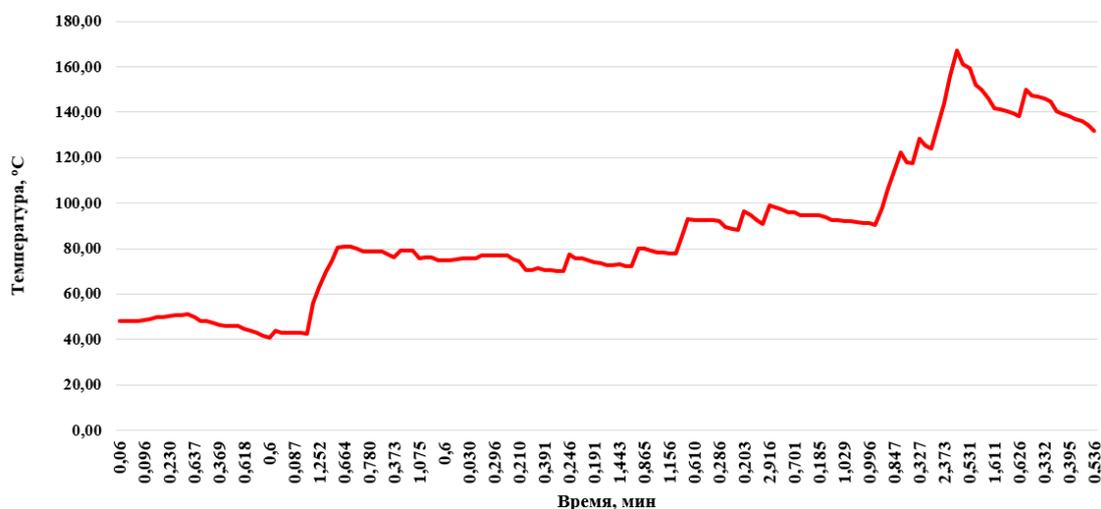


Рис. 4. График зависимости температурных показателей тягового электродвигателя от времени

Для создания алгоритма необходимо сначала разработать его структуру. Во-первых, это позволяет получить позицию контроллера машиниста, значение тока тягового электродвигателя и значения первого временного интервала, показатели, необходимые для дальнейшей диагностики тепловоза.

Следующим шагом является вычисление среднего значения тока в начале и конце временного интервала, так как ток меняется на протяжении всего интервала времени, и поэтому требуется рассчитать среднее значение этого изменения.

Далее оценивается позиция контроллера машиниста. Если его значение равно нулю в конце интервала, то тепловоз находится в тяговом режиме, что указывает на процесс повышения или понижения температуры в тяговом электродвигателе (рис. 4).

Основные формулы, которые могут быть включены в математическую

модель:

Уравнение распространения тепла: это уравнение вычисляет изменение температуры обмотки во времени

$$\frac{dT}{dt} = \frac{k}{m \cdot c} (T_{\max} - T)$$

где T_{\max} - максимальная температура в результате нагрева обмотки, T - текущая температура обмотки, K - коэффициент теплопроводности, m - масса, c - теплоемкость.

Тепловой баланс это тепловую энергию в обмотке с учетом передачи и распределения тепла можно определить по следующему уравнению:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

где Q - количество теплоты, ΔT - изменение температуры ($T_{\max} - T$)

Тепловая энергия в обмотке рассчитывается по закону Джоуля-Ленца:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t$$

где I - электрический ток, R - сопротивление, t - время.

В данном исследовании с помощью программного обеспечения MATLAB Simulink была разработана имитационная модель для определения температурных характеристик тяговых электродвигателей (рис. 5). Модель позволяет проводить симуляцию реальных условий работы и определять оптимальный температурный режим двигателя.

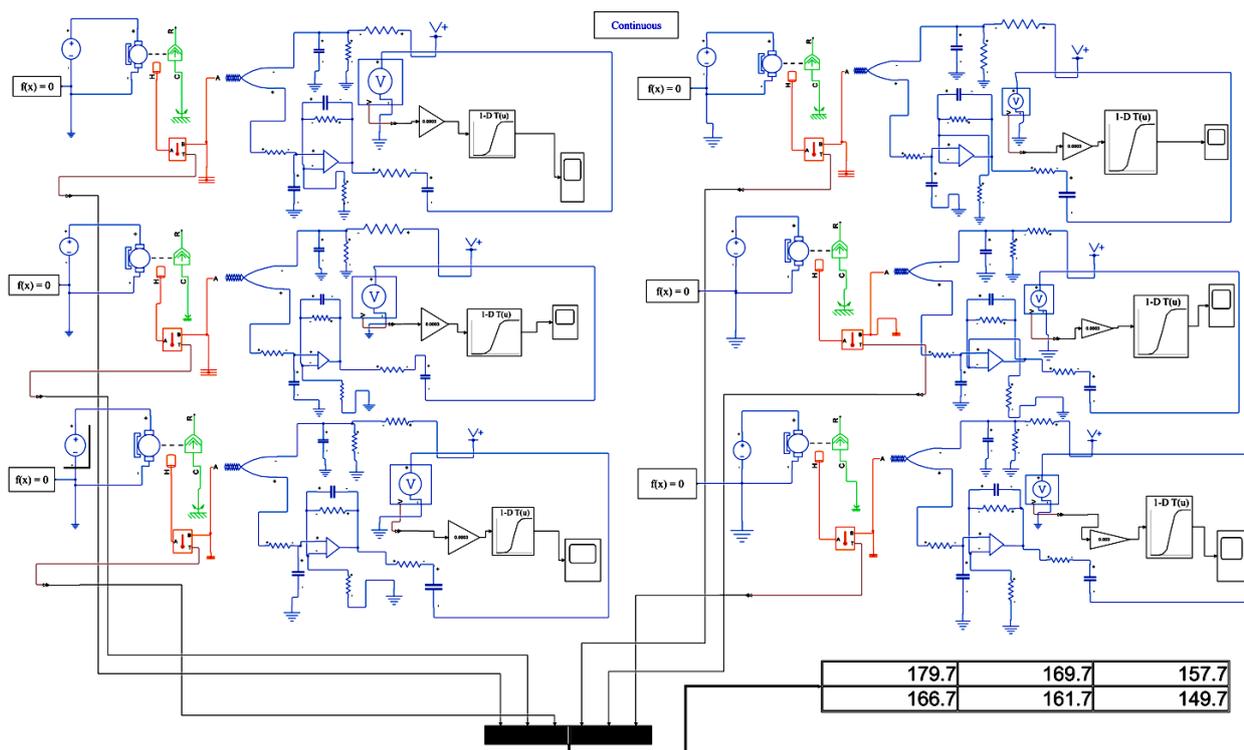


Рис. 5. Разработанная имитационная модель для одной секции локомотива

Старение изоляции следует рассматривать как результат взаимосвязанных процессов химического и физического старения. На химическом уровне происходят необратимые процессы термического разложения и термоокисления, связанные с изменением структуры и состава материала, его электрических свойств.

Измерение и анализ температурных показателей являются неотъемлемой

частью технического обслуживания двигателей. Высокая температура снижает эффективность двигателя и повышает риск возникновения неисправностей. Поэтому своевременное выявление и контроль температуры способствуют повышению эффективности технического обслуживания.

Современный подход к изучению процессов теплового воздействия основан на применении кинетических закономерностей химических реакций к изоляционным материалам. Согласно уравнению Вант-Гоффа-Аррениуса, срок службы изоляции при температуре τ определяется выражением:

$$D = D_n \exp \left[\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{\tau + 273} \right) - \left(\frac{1}{\tau_{qo'sh} + 273} \right) \right] = D_n \exp \left[-\frac{E_a}{R} \frac{\tau - \tau_{qo'sh}}{(\tau + 273)(\tau_{qo'sh} + 273)} \right]$$

где D_n - номинально допустимый срок службы изоляции при $\tau_{qo'sh}$ температуре; E_a - энергия активации, Дж/моль; $R = 8,317$ - универсальная газовая постоянная, Дж / (deg \times mol).

Формула (1) может быть приведена в следующем виде:

$$D = D_n \exp \left(-B \frac{\Delta\tau}{\tau + 273} \right)$$

где B - безразмерный коэффициент, постоянный для материалов одного и того же класса теплоустойчивости; $\Delta\tau = \tau - \tau_{qo'sh}$ - превышение допустимой температуры нагрева изоляции.

Таблица 1

Значения коэффициента B для классов изоляции

Класс изоляции	A	E	B	F	H
B	25,1	25,1	25,3	29,7	34,2

Старение изоляции следует рассматривать как результат взаимосвязанных процессов химического и физического износа. На химическом уровне происходят необратимые процессы термического разложения и термоокисления, связанные с изменением структуры и состава материала, а также его электрических свойств.

На рис. 6 показаны зависимости относительного срока службы от повышения температуры для различных классов изоляционных материалов.

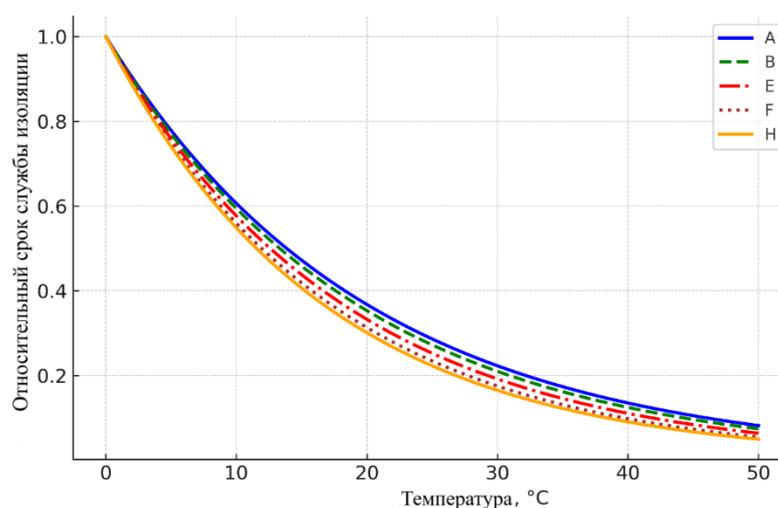


Рис. 6. Зависимость изменения температуры от относительного срока службы изоляционных материалов

Анализы и решения в данном разделе направлены на создание эффективной системы мониторинга и управления температурой для тяговых электродвигателей. Предложенные модели и алгоритмы способствуют увеличению срока службы двигателей, повышению эффективности технического обслуживания и обеспечению их безопасной эксплуатации. Наряду с этим, развитие технологий и использование современных инструментов, таких как MATLAB Simulink, позволяют осуществлять точный контроль и оценку температурных показателей двигателей. Это, в свою очередь, служит повышению надежности локомотивов и сокращению неисправностей, вызванных перегревом.

В четвертой главе диссертации, озаглавленной «**Экспериментальные исследования по определению температурных показателей тяговых электродвигателей постоянного тока**» разработано диагностическое устройство, усовершенствована методика оценки технического состояния тяговых электродвигателей путем определения температурных показателей в различных эксплуатационных условиях, а также проведены экспериментальные исследования.

Оценка технического состояния локомотивов является одним из основных критериев снижения затрат на различные виды ремонта его частей, что позволяет сократить расходы на железнодорожном транспорте и снизить себестоимость грузовых и пассажирских перевозок. Достижение предусмотренного результата возможно путем использования диагностических устройств и методов для непрерывного контроля технического состояния локомотива. Одной из основных задач управления эксплуатации локомотивов АО «Узбекистон темир йуллари» является локализация за счет снижения затрат на ремонт локомотивов и сокращения импортной продукции, то есть возможность предварительной оценки возникновения неисправностей локомотивов, что может быть достигнуто с использованием современных диагностических устройств. Использование современных диагностических устройств обеспечивает исправную работу локомотивов.

Диагностическое устройство для определения теплового состояния тяговых электродвигателей реализовано по следующей схеме (Рис. 7).

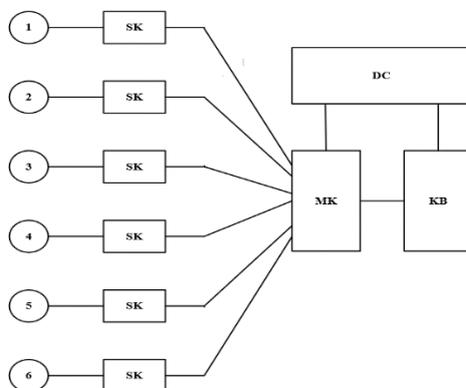


Рис. 7. Схема устройства диагностирования тяговых электродвигателей, работающих на постоянном токе: 1,2,3,4,5,6 - соответственно датчики температуры, установленные на тяговых электродвигателях в одной секции локомотива; SK - усилитель сигнала; МК - микроконтроллер; DC - источник постоянного тока; КВ - блок отображения

На основе схемы Arduino разработано мобильное диагностическое устройство для метода диагностики тяговых электродвигателей по температурным показателям, что позволяет использовать предложенный способ мобильного контроля.

В результате обоснованы критерии оценки технического состояния тяговых электродвигателей путем определения тепловых показателей. Оценка технического состояния тяговых электродвигателей проводится следующим образом: при работе тяговых электродвигателей их температура повышается, после чего можно прогнозировать остаточный ресурс теплового воздействия и диэлектрической изоляции. При этом основной целью является своевременное определение температуры для предотвращения выхода из строя якоря и полюсов тяговых электродвигателей.

Задачей изобретения является повышение надежности и эксплуатационной эффективности тяговых электродвигателей в течение длительного срока эксплуатации. Вышеуказанная задача решается путем оценки технического состояния тяговых электродвигателей, как показано на рис. 8, посредством определения их температурных показателей.

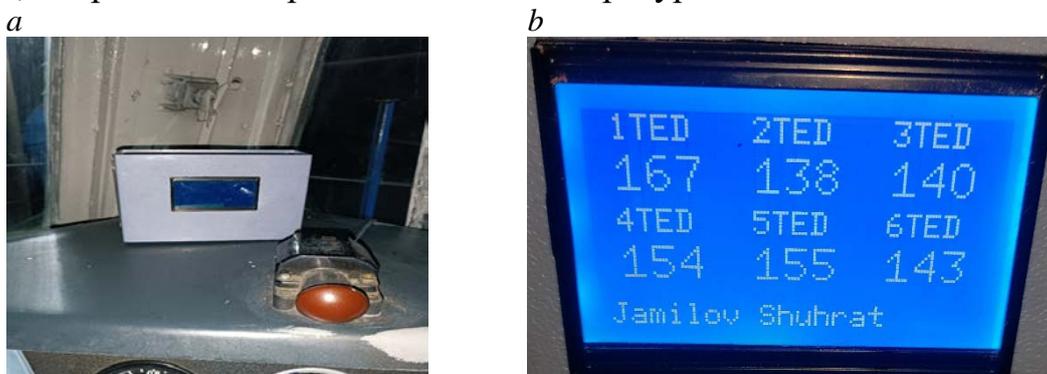


Рис. 8. Диагностика технического состояния тяговых электродвигателей: а - дисплей, показывающий температуру тяговых электродвигателей тепловоза UzTE16M №014, б - температурный показатель дисплея диагностического комплекса.

Расчет нагрева тягового электродвигателя является довольно сложной задачей. Его решение во многом зависит от особенностей конструкции и характеристик конкретной машины.

В результате проведенных исследований и испытаний доказана эффективность диагностической системы, постоянно контролирующей температуру тяговых электродвигателей. С помощью устройства создана возможность заранее определять перегрев двигателя и принимать соответствующие меры. Это послужило не только повышению надежности локомотива, но и снижению эксплуатационных затрат, продлению срока службы и предотвращению аварийных отказов.

Данные, собранные в процессе работы системы, способствовали совершенствованию стратегии технического обслуживания. На основе сигнальных данных, полученных из системы диагностики, создана возможность наблюдения за состоянием двигателя в режиме реального времени и заблаговременного оповещения машинистов об опасных температурных условиях. Этот технологический подход послужит важным шагом к более эффективному управлению и модернизации локомотивного парка.

Использование таких систем становится основой будущих технологий технического обслуживания и позволит АО «Узбекистон темир йуллари» повысить надежность и эффективность железнодорожного транспорта путем применения современных методов диагностики.

ВЫВОД

В диссертационной работе проведены теоретические и экспериментальные исследования, направленные на оценку технического состояния и повышение надежности тяговых электродвигателей магистральных и маневровых локомотивов, работающих на постоянном токе, при этом получены следующие основные научные и практические результаты:

1. Проанализированы основные неисправности тяговых электродвигателей, работающих на постоянном токе на железных дорогах Узбекистана. В качестве важных факторов, снижающих эффективность их работы, были определены снижение сопротивления изоляции, механические неисправности и проблемы, возникающие под влиянием температуры. Изучены существующие методы диагностики и определено, что их необходимо усовершенствовать новыми технологиями.

2. Разработана имитационная модель системы определения температурных показателей ТЭД в программном обеспечении MATLAB Simulink. Данная модель позволяет прогнозировать процессы старения изоляционных материалов и получать результаты диагностики с точностью.

3. Разработано новое диагностическое устройство, позволяющее точно и в режиме реального времени отслеживать температурные показатели. Устройство было проверено на опытно-испытательном стенде и проведено эксплуатационные испытания, что подтвердило его высокую точность работы.

4. Разработана методика оценки процессов износа изоляционных материалов на основе температурных показателей. Данная методика позволяет заранее выявлять эксплуатационные неисправности и оптимизировать сроки технического обслуживания.

5. На основе практических исследований, проведенных в локомотивном депо «Тинчлик», проведены испытания диагностического оборудования и методики определения температурных показателей в эксплуатационных условиях. Результаты исследования подтвердили эффективность диагностических систем и разработаны рекомендации по их широкому применению.

6. На основе проведенной диагностики были разработаны практические предложения по оптимизации интервалов технического обслуживания ТЭД и снижению эксплуатационных расходов. Предприятиям по ремонту локомотивов было представлено предложение о переводе используемого класса изоляции ТЭД на класс изоляции Н.

Поэтому новые технические решения, разработанные на основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований, позволяют повысить надежность за счет высокоточного измерения температурных показателей тяговых электродвигателей во всех режимах эксплуатации и предотвратить отказы локомотивов из-за повреждения основных, вспомогательных полюсов и якорей.

**TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY
SCIENTIFIC COUNCIL FOR AWARDED
SCIENTIFIC DEGREES DSc.15/31.08.2022.T.73.07**

TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY

JAMILOV SHUXRAT FARMON OGLI

**ASSESSMENT OF TECHNICAL CONDITION AND RELIABILITY
IMPROVEMENT OF LOCOMOTIVE DC ELECTRIC MOTORS**

05.08.05 – Railway rolling stock, train traction and electrification

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)
ON TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent – 2025

The theme of the dissertation of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under B2024.3.PhD/T4955.

The dissertation has been prepared at the Tashkent state transport university.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website of the Scientific Council (www.tstu.uz) and on the web site of «Ziyonet» Information and education portal (www.ziyonet.uz).

Scientific supervisor:

Khamidov Otabek Rustamovich
doctor of technical sciences, professor

Official opponents:

Pirmatov Nurali Berdiyrovich
doctor of technical sciences, professor

Kurilkin Dmitriy Nikolayevich
candidate of technical sciences, professor

Leading organization:

The defense will be take place _____ 2025 at _____ at the meeting of Scientific Council at the Scientific Council DSc.15/31.08.2022.T.73.07 Tashkent state transport university. Address: 1, Temiryolchilar str., Tashkent 100167, Uzbekistan. Phone: (+998 71) 299-00-01, fax: (99871) 293-57-57, e-mail: tashiit_rektorat@mail.ru.

The doctoral (PhD) dissertation can be reviewed at the Information–Resource Center of the Tashkent state transport university (Registration number 231). Address: 1, Temiryolchilar str., Tashkent 100167, Uzbekistan. Phone: (+998 71) 299-05-66).

Abstract of dissertation was distributed on _____, 2025 year.
(mailing record ____ on _____, 2025 year).

R.V. Rahimov
Chairman of Scientific council
on awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor

Ya.O. Ruzmetov
Scientific secretary of the Scientific council
on awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor

R.M. Mirsaatov
Chairman of the Scientific seminar
under scientific council on
awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The aim of the study is to improve the operational efficiency and reliability of DC traction motors used in the Republic of Uzbekistan by assessing their technical condition.

Tasks of the research:

determination of technical condition and fault analysis of traction electric motors used on mainline and shunting locomotives of Uzbekistan railways;

creation of a simulation model of the system for determination of temperature parameters of traction motors in MATLAB Simulink software;

development of a device for determination of temperature indicators of traction motors using high-precision diagnostic methods;

development of a methodology for calculation of temperature indices of traction electric motors under operating conditions;

analyzing the change of insulation materials properties under the influence of temperature indicators in traction motors and studying the dependence of temperature indicators on the traction motor service life.

The object of the study is locomotive traction electric motors operating on direct current.

The subject of the study is the reliability of DC electric motors of locomotives.

Methods of research. Statistical, analytical and experimental research methods were used in the process of scientific research. In the course of scientific research were applied analytical methods in theoretical studies to assess the current technical condition of traction electric motors of locomotives, as well as modern engineering programmers MATLAB. Creation of a new diagnostic device based on the development of a simulation model of the system for determining the temperature indicators of traction motors designed for locomotives in MATLAB programmed.

Scientific novelty of the research consists in the following:

A simulation model has been developed to analyze the thermal resistance of locomotive traction electric motors, considering the degradation processes of insulation materials;

For the first time, a diagnostic device has been created that determines the temperature parameters of DC traction motor windings using high-precision temperature sensors;

A mathematical model has been developed to calculate the overload of armature windings, taking into account the material resistance coefficient, using heat balance equations for traction electric motors;

An improved methodology has been developed for determining the technical condition and reliability of DC traction motors, considering thermal loads under various operating conditions and modes of locomotive operation.

The reliability of the research results is confirmed by the use of modern digital methods and engineering software in theoretical studies, certified and calibrated measuring instruments in experiments and tests, as well as by the mutual consistency of the results of theoretical and practical research.

Implementation of the research results. On the basis of conducted scientific researches on determination of technical condition and reliability improvement of DC traction electric motors of mainline and shunting locomotives operated on the railways of Uzbekistan:

the methodology for calculating the temperature indicators of DC traction electric motors of main and shunting locomotives under various operating conditions has been improved and introduced into production at the "Tinchlik Locomotive Depot." (Reference № 4/E1617 of the Ministry of Transport of the Republic of Uzbekistan dated December 2, 2024). Based on the results of calculations and experimental measurements, the service life of traction motors has been extended.

A diagnostic device for determining the temperature indicators of DC traction electric motors of main and shunting locomotives has been introduced into production at the "Tinchlik Locomotive Depot" (certificate of the Ministry of Transport of the Republic of Uzbekistan №. 4 / E1617 dated December 12, 2024). As a result, through the diagnostic device installed on the main locomotives, it was possible to see, control, and manage the temperature indicators of the traction electric motors operating on direct current.

Structure and scope of the thesis. The thesis consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of used literature and appendices. The volume of the thesis is 125 pages.

E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I bo'lim (I часть; I part)

1. Jamilov Sh.F. Modern temperature sensors for the assessment of the permissible thermal state of electric traction machines of a locomotive tractor / Sh.F. Jamilov // Acta of Turin Polytechnic University in Tashkent. – 2023. – Vol. 41 – 44. (05.00.00; № 25).
2. Jamilov Sh.F. Studying factors determining the service life of electric machines / Sh.F. Jamilov // Acta of Turin Polytechnic University in Tashkent. – 2023. – Vol. 25 – 29. (05.00.00; № 25).
3. Жамилов Ш.Ф. Анализ показателей надежности локомотивных тяговых электродвигателей / Ш.Ф. Жамилов, Ш.А. Саматов, А.М. Юсуфов, С.М. Азимов, Ш.Х. Абдурасулов // Материалы Второй Международной научно-технической конференции «Железнодорожный подвижной состав: проблемы, решения, перспективы» - Т.:ТГТрУ, 2023. – С. 145 – 150. (05.00.00; ОАК Раёсатининг 2023 йил 1 апрелдаги 336/3-сон қарори).
4. Жамилов Ш.Ф. Исследование показателей надежности тяговых электрических машин / Ш.Ф. Жамилов, Ш.А. Саматов, Б.Х. Бегалиева, С.С. Гайбуллаева // Universum: технические науки: электрон. научн. Журн, 2023. – С. 16 - 19. DOI: 10.32743/UniTech.2023.108.3
5. Jamilov Sh.F. Improvement of Diagnostics of Traction Electrical Motors of Railway Rolling Stock / Sh. Jamilov, O. Kasimov, S. Azimov, Z. Keldibekov // AIP Conference Proceedings. – Namangan, 2022. – Vol. 3045 B, - 050041. (<https://doi.org/10.1063/5.0197378>) – P. 1-6 (Scopus IF = 2,16).
6. Jamilov Sh.F. Improving the temperature resistance of traction electric motors using a microprocessor control system for modern locomotives / Sh.F. Jamilov, O. Ergashev, M. Abduvaxobov, S. Azimov, Sh. Abdurasulov // E3S Web of Conferences. – Conmechydro. - 2023. – Vol. 401. – 03030. – P. 1 – 8 (<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340103030>) (Scopus IF = 2,16).
7. Jamilov Sh.F. Remaining life of main frame and extension of service life of shunting Locomotives on railways of Republic of Uzbekistan / A.M. Yusufov, O.R. Khamidov, Sh.I. Kudratov // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – Т. 365. – С. 05008 (<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202336505008>) (Scopus IF = 2,16).
8. Jamilov Sh.F. Research of factors affecting the heating and cooling of locomotive traction electric machines / Sh. Jamilov, A. Yusufov, Sh. Samatov, Sh. Kudratov, Sh. Abdurasulov // International Conference on Thermal Engineering: Theory and Applications, ICTEA, 2024. – Vol. 301. – 0230. – P. 1 – 6 (Scopus IF = 2,16).
9. Jamilov Sh.F. Analysis of experimental studies of transient processes during the start-up of the protection of the diesel generator set / Sh.F. Jamilov, U.I. Safarov,

Kh.R. Kosimov, N.V. Julenev // International Conference on Thermal Engineering: Theory and Applications, ICTEA, 2024. – Vol. 301. – 0230. – P. 1 – 5 (Scopus IF = 2,16).

II бўлим (II часть; II part)

10. Jamilov Sh.F. Elektr mashinalarning izolyatsiyasini harorat ta'sirida o'zgarishini tahlil qilish / Sh.F. Jamilov, A.A. Shoimqulov // scientific progress. – Volume 2. – ISSN: 2181-1601. – B. 673–676.

11. Jamilov Sh.F. Determination of the service life of locomotive parts and assemblies using non-destructive testing methods / Sh.F. Jamilov, P. Vohidova, A. Yusufov, Sh. Abdurasulov // Oriental Renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences, 2024. – P. 427 – 436.

12. Jamilov Sh.F. Lokomotiv tortuv elektr mashinalarining o'tkazgichlari izolyatsiyasiga namlikning ta'siri / Sh.F. Jamilov, A.T. Djanikulov, A.R. Miravazov // Oriental Renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences. – 2023. – Vol. 7. – P. 953 – 956.

13. Jamilov Sh.F. The effect of moisture on electrical insulating parts of electric machines of locomotives / Sh.F. Jamilov, Sh. Abdurasulov, S. Azimov // Journal of new century innovations. – Volume 93 – 6. – C. 94 – 97.

14. Jamilov Sh.F. “O'ztemiryo'lmashta'mir” korxonasi sharoitida elektr mashinalarining izolyatsiyani dielektrik xususiyatlarini tiklash / Sh.F. Jamilov, A.A. Shoimqulov // Scientific progress (scientific journal). Tashkent 2021/01. Vol.1 Issue 3. 140-144.

15. Жамилов Ш.Ф. Современные методы диагностирования асинхронных тяговых электродвигателей электровозов / Ш.Ф. Жамилов, С.М.Азимов, У.И.Сафаров // Образование и наука в XXI веке, 2022. – С. 1370-1378.

16. Jamilov Sh.F. Elektr mashinalarning izolyatsiya parametrlarini almashtirish sxemasi bilan tekshirish / Sh.F. Jamilov, A.T. Djanikulov, A.R. Miravazov // The journal of academic research in educational sciences, 2021. – B. 877-882.

17. Jamilov Sh.F. O'zgarimas tokda ishlaydigan elektr mashinalarning haroratni o'lchash usullari / Sh.F. Jamilov, O.T. Kasimov, Sh.X. Abdurasulov // Transportda resurs tejimkor texnologiyalar xalqaro ilmiy-texnikaviy anjumani. - 2022. - B. 37-39.

18. Jamilov Sh.F. O'zgarimas tokda ishlaydigan tortuv elektr motor chulg'amlarini issiqlik holatini tahlil qilish / Sh.F. Jamilov, B.X. Begaliev, S.S. Gaybullaeva // Oriental Renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences, 2023. – B. 491 – 496.

19. Жамилов Ш.Ф. Электр машиналарни таъмирлаш жараёнини ўрганиш / Ш.Ф. Жамилов А.Б. Абдухамидов // Бакалаврият талабаларнинг ёзги амалиёт бўйича XIV илмий конференция, 2019. – B. 101.

20. Jamilov Sh.F. ED-118 tortuv elektr dvigateli kollektori haroratini tavsiflash / Sh.F. Jamilov, A.M. Yusufov, O.R. Xamidov, Sh.X. Abdurasulov, Sh.I. Kudratov,

O‘I. Safarov, X.R. Qosimov, O.E. Ergashev, Sh.A. Samatov, M.E. Abduvahobov // O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi Intelektual mulk agentligi. EHM uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risida guvohnoma. DGU 42870; 04.10.2024 yil.

Avtoreferat “TDTrU axborotnomasi” ilmiy-amaliy jurnali tahririyatida tahrirdan o‘tkazildi va matnlarni mosligi tekshirildi (21.01.2025-yil).

Qog‘oz bichmi 60x84/16. Rizograf bosma usuli Times New Roman garniturasida.
Shartli bosma tabog‘i: 2,8 b.t. Adadi: 40 nusxa. Buyurtma № 43-11/2025
Nashrga ruxsat etildi: 17.03.2025-y.

Toshkent davlat transport universiteti bosmaxonasida chop etildi.
Manzil: 100167, Toshkent shahar, Temiryo‘lchilar ko‘chasi, 1-uy.

