

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

TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI

AVAZOV BOBOMUROD KURBONOVICH

**TEMIR YO‘L TRANSPORTI NOTORTUVCHI ELEKTR TARMOQLARIDA
ISHLATILAYOTGAN TRANSFORMATORLAR MOYLARINI TOZALASH
TEXNOLOGIYASINI TAKOMILLASHTIRISH**

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

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

Toshkent - 2025

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi

Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)

Content of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)

Avazov Bobomurod Kurbonovich

Temir yo‘l transporti notortuvchi elektr tarmoqlarida ishlatilayotgan transformatorlar moylarini tozalash texnologiyasini takomillashtirish..... 3

Авазов Бобомурод Курбонович

Совершенствование технологии очистки масел трансформаторов, используемых в нетяговых электрических сетях железнодорожного транспорта..... 21

Avazov Bobomurod Kurbonovich

Improvement of the technology for cleaning transformer oils used in non-traction electrical networks of railway transport..... 41

E‘lon qilingan ishlar ro‘uxati

Список опубликованных работ

List of published works..... 44

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

TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI

AVAZOV BOBOMUROD KURBONOVICH

**TEMIR YO‘L TRANSPORTI NOTORTUVCHI ELEKTR TARMOQLARIDA
ISHLATILAYOTGAN TRANSFORMATORLAR MOYLARINI TOZALASH
TEXNOLOGIYASINI TAKOMILLASHTIRISH**

**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 B2023.3.PhD/T3999 raqami bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya ishi Toshkent davlat transport universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasi (www.tstu.uz) hamda "ZiyoNet" axborot – ta'lim portaliga (www.ziynet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Yusupov Dilmurod Turdaliyevich
texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD),
katta ilmiy xodim

Rasmiy opponentlar:

Pirmatov Nurali Berdiyevich
texnika fanlari doktori, professor

Bayanov Ildar Nazipovich
texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD),
dotsent

Yetakchi tashkilot:

Farg'ona davlat texnika universiteti

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: 100176, Toshkent shahri, Temiryo'lchilar ko'chasi, 1-uy. Tel: (99871) 299-00-01; faks: (99871) 293-57-54; e-mail: rektorat@tstu.uz).

Dissertatsiya bilan Toshkent davlat transport universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (___ raqam bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100176, Toshkent shahri, Temiryo'lchilar ko'chasi 1-uy. Tel: (99871) 299-05-66.

Dissertatsiya avtoreferati 2025-yil "___" _____ kuni tarqatildi.

(2025- yil "___" _____ dagi ___ raqamli bayonnomasi).

R.V. Raximov

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

Y.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 zaruriyati. Jahonda iqtisodiyot tarmoqlarining jadallik bilan rivojlanib borishi temir yo‘l transporti tizimlarining samarali va uzluksiz faoliyat yuritishini ta‘minlash, harakat tarkiblarining barqaror harakatini tashkil etish hamda elektr energiyasi bilan uzluksiz ta‘minlash masalalariga alohida ahamiyat berilmoqda. Xalqaro energetika agentligiga ko‘ra hozirgi kunda dunyoda ishlab chiqarilayotgan energiya¹ning 8 foizi temir yo‘l transporti tizimiga to‘g‘ri kelmoqda. Ushbu jarayonda harakat tarkiblarni sifatli va uzluksiz elektr energiyasi bilan ta‘minlashda temir yo‘l notortuvchi elektr tarmoqlarida qo‘llanilayotgan transformatorlarning ishonchli ishlashi muhim hisoblanadi. Rivojlangan mamlakatlar tajribasi shuni ko‘rsatmoqdaki, temir yo‘l tizimlaridagi transformatorlarning xizmat muddatini uzaytirish, ularni yuqori aniqlikda ishlashini ta‘minlash maqsadida uzviy texnik ko‘rikdan o‘tkazish va rejalashtirilgan ta‘mirlash ishlarini amalga oshirishga alohida e‘tibor qaratilmoqda. Xususan, temir yo‘l transporti tizimida foydalanilayotgan transformatorlarning texnik parametrlarini zamonaviy ilmiy usullar asosida baholash, ularni ekspluatatsiya qilish va xizmat ko‘rsatish texnologiyalarini takomillashtirish, ishonchliligi va samaradorligini oshirishga katta e‘tibor qaratilmoqda.

Jahonda temir yo‘l tizimlari notortuvchi elektr tarmoqlarida foydalanilayotgan transformatorlarida yuzaga keladigan turli nosozliklar va ularga sabab bo‘luvchi omillarni erta aniqlash, ularni bartaraf etish usullarini ishlab chiqish, mazkur uskunalarning texnik holatini baholash usullarini zamonaviy texnologiyalarni qo‘llagan holda takomillashtirish va barqarorlashtirish, ekspluatatsiya muddatini uzaytirish va ishlash samaradorligi hamda ishonchliligini oshirish, shuningdek ularga o‘z vaqtida texnik xizmatlar ko‘rsatish masalalariga qaratilgan bir qator tadqiqotlar olib borilmoqda. Ushbu yo‘nalishda, jumladan, temir yo‘l tizimlari notortuvchi elektr tarmoqlarida foydalanilayotgan transformatorlar moylarining sifat ko‘rsatkichlarini aniqlash, ularning yomonlashuviga sabab bo‘luvchi omillarni bartaraf etish orqali moyning texnik holatini saqlab qolish, moylarni o‘z vaqtida tozalash, maqbul tozalash texnologiyalarini tanlash va qayta tozalashning takomillashtirilgan texnologiyalarini ishlab chiqish, matematik modellashtirish orqali texnik xizmat ko‘rsatish jarayonlarini takomillashtirish dolzarb masalalardan hisoblanadi.

Respublikamizda amalga oshirilayotgan islohotlar natijasida transport sohalarini, xususan temir yo‘l transporti infratuzilmasini modernizatsiya qilish, yuqori tezlikdagi harakat tarkiblariga xizmat ko‘rsatish imkoniyatlarini kengaytirish va mavjud temir yo‘l tizimlarini elektrlashtirish bo‘yicha keng qamrovli chora-tadbirlar olib borilmoqda. 2022-2026 yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasida, jumladan “...iqtisodiyotni elektr energiyasi bilan uzluksiz ta‘minlash”, “...temir yo‘l sohasini transformatsiya qilish...”, “...temir yo‘l infratuzilmasini elektrlashtirish darajasini 60 foizga yetkazish...”, “...transport tizimida “yashil koridorlar” va tranzit imkoniyatlarini kengaytirish...”, “...temir yo‘l infratuzilmasini rivojlantirish...”² vazifalari belgilangan.

¹ <https://energy5.com/energy-consumption-benchmarking-for-railways>

Mazkur vazifalarni amalga oshirish, jumladan, temir yo‘l transporti tizimida foydalanishda bo‘lgan transformatorlardagi nosozliklarni aniqlash va ularni bartaraf etish tamoyillarini ishlab chiqish, ushbu transformatorlarning moylarini tozalash texnologiyalarini takomillashtirish va temir yo‘l notortuvchi elektr tarmoqlarning texnik holatini baholash muhim masalalaridan biri hisoblanadi.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 - yanvardagi PF-60-son “2022-2026 yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida” va 2019 yil 1 - fevraldagi PF-5647-son “Transport sohasida davlat boshqaruvi tizimini tubdan takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi Farmonlari, 2019 yil 22 - avgustdagi PQ-4422-son “Iqtisodiyot tarmoqlari va ijtimoiy sohaning energiya samaradorligini oshirish, energiya tejovchi texnologiyalarni joriy etish va qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirishning tezkor chora tadbirlari to‘g‘risida”, 2020 yil 10 - iyuldagi PQ-4779-son “Iqtisodiyotning energiya samaradorligini oshirish va mavjud resurslarni jalb etish iqtisodiyot tarmoqlarining yoqilg‘i - energetika mahsulotlariga qaramligini kamaytirishga doir qo‘shimcha chora - tadbirlar to‘g‘risida” va 2022 yil 6 - iyuldagi PQ-307-son “2022 - 2026 yillarda O‘zbekiston Respublikasining innovasion rivojlanish strategiyasini amalga oshirish bo‘yicha tashkiliy chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me‘yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga bog‘liqligi. Mazkur tadqiqot respublikada fan va texnologiyalar rivojlanishining II. “Energetika, energiya va resurs tejamkorlik” ustuvor yo‘nalishiga muvofiq bajarilgan.

Muammoning o‘rganilganlik darajasi. Kuch transformatorlari moylarini tozalash texnologiyasini takomillashtirishga yo‘naltirilgan ilmiy izlanishlar jahonning yetakchi ilmiy markazlari va oliy ta‘lim muassasalari, jumladan Moldova Respublikasi Fanlar akademiyasi Amaliy fizika instituti (Moldova), Hydro - Québec ilmiy - tadqiqot markazi (Kanada), Elektr tarmoqlari xalqaro komissiyasi (Italiya), Ekson tadqiqotlar markazi (AQSh), Yangi janubiy Uels universiteti (Avstraliya), Chuvash davlat universiteti (Rossiya)da olib borilmoqda. Temir yo‘l notortuvchi elektr tarmoqlarida ishlatilayotgan transformatorlarga texnik xizmat ko‘rsatish va ta‘mirlash, transformatorlarning ishlash ishonchligini oshirish va texnik holatini baholashga qaratilgan muammolarni hal etishda dunyoning yetakchi olimlari: Cavallini A., Pompili A., Nelson W.D., Nguyen Zui Xing, Dong Z.Y., Phung B.T., Duval M., Enze Zhang, Leu V.I., Mixeyev G.M., Achakov K.A., Gaynullina L.R., Savinix Yu.A., Bogachkov I.M, Bersenyov A.L., Bondaletto V.G., Mochalova N.Yu., Pijov A.I., Kuznesov Yu.V., Lisov S.V. va boshqa ko‘plab xorijiy olimlar katta hissa qo‘shib kelmoqdalar.

Mamlakatimizda temir yo‘l notortuvchi tizimlaridagi transformatorlarga texnik xizmat ko‘rsatish va ta‘mirlash, ishlash ishonchligini oshirish va texnik holatini baholash bo‘yicha ilmiy tadqiqotlar olib borgan yetakchi o‘zbek olimlaridan

² O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 28.01.2022 – yildagi PF-60-son “2022 - 2026 yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida” gi Farmoni

T.P. Salixov, B.B. Каһ, D.T. Yusupov, O.M. Qutbidinov, M.Sh. Muhammadjonov, Z.Z. Tuychiyev va boshqalar o‘z hissalarini qo‘shib kelmoqdalar.

Ko‘plab olib borilgan tadqiqotlar va erishilgan natijalarga qaramay, temir yo‘l transporti notortuvchi elektr tarmoqlarida ishlatilayotgan transformatorlarga texnik xizmat ko‘rsatish va ta‘mirlash, shu jumladan moylarini tozalash texnologiyasini takomillashtirish bo‘yicha ilmiy izlanishlar yetarli darajada o‘rganilmagan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta‘lim muassasasining ilmiy - tadqiqot ishlari rejalari bilan bog‘liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Toshkent davlat transport universiteti va “Temiryo‘linfratuzilma” AJ Qo‘qon elektr ta‘minoti masofasi filiali korxonasi o‘rtasida 2025 - yilda tuzilgan xo‘jalik shartnomasi doirasida bajarilgan.

Tadqiqot maqsadi temir yo‘l transporti notortuvchi elektr tarmoqlarida ishlatilayotgan transformatorlarning moylarini tozalash texnologiyasini takomillashtirishdan iborat.

Tadqiqot vazifalari:

temir yo‘l notortuvchi iste‘molchilarining transformator moylarini tozalash jarayonlarining texnologiyasini takomillashtirish;

notortuvchi elektr tarmoqlari texnik holatining qiymatini aniqlash imkonini beruvchi matematik va imitatsion modellarini ishlab chiqish;

temir yo‘l notortuvchi iste‘molchilarining transformatorlariga texnik xizmat ko‘rsatish bo‘yicha tavsiyalar beruvchi algoritmini ishlab chiqish;

temir yo‘l notortuvchi tizimlari texnik holatini baholash imkonini beruvchi usulni takomillashtirish.

Tadqiqot obyekti sifatida temir yo‘l transporti notortuvchi elektr tarmoqlarida ishlatilayotgan transformatorlarning moylari olingan.

Tadqiqot predmetini temir yo‘l transporti notortuvchi elektr tarmoqlarida ishlatilayotgan transformatorlar moylarining tozalash jarayonlari tashkil etadi.

Tadqiqot usullari. Tadqiqot jarayonida elektrotexnika nazariyasi, elektrostatika nazariyasi, elektromagnit induksiya qonuni, elektr maydon nazariyasi va noaniq mantiq usulidan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

temir yo‘l notortuvchi iste‘molchilarining transformator moylarini tozalash texnologiyasi elektr maydon, filtr va vakuum ketma-ketlikda aralashmalardan tozalash jarayonlarini qo‘llash orqali takomillashtirilgan;

temir yo‘l notortuvchi tizimlari texnik holatini baholash uchun transformator moyining elektr mustahkamligi, kinematik qovushqoqligi, mexanik aralashmalari, suv miqdori, kislota soni, chaqnash harorati, zichlik va dielektrik isroflarini inobatga olish imkonini beruvchi matematik va imitatsion modellari ishlab chiqilgan;

temir yo‘l notortuvchi iste‘molchilarining transformatorlariga texnik xizmat ko‘rsatish bo‘yicha tavsiyalar beruvchi algoritm beshta lingvistik mezonni qo‘llash orqali ishlab chiqilgan;

temir yo‘l notortuvchi tizimlari texnik holatini baholash imkonini beruvchi usul “transformator moyi asosiy ko‘rsatkichlari - transformatorning asosiy va qo‘shimcha elementlari - transformator - notortuvchi elektr tarmog‘i” ketma - ketligining har bir bosqichida 5 ta mezonni qo‘llash orqali takomillashtirilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

transformator moylarini tozalash jarayonlarini texnologiyasi takomillashtirilgan; notortuvchi elektr tarmoqlarida ishlatilayotgan transformatorlarning moylarini takomillashgan texnologiya asosida turli aralashmalardan tozalash imkonini beruvchi qurilma ishlab chiqilgan;

temir yo‘l transporti notortuvchi elektr tarmoqlarining texnik holatini transformator moyi orqali baholash uchun dasturiy ta‘minotlar ishlab chiqilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqot natijalarining ishonchliligi zamonaviy metrologik attestatsiyadan o‘tgan o‘lchov asboblarning, ma‘lumotlarni qayta ishlashning ilg‘or matematik usullari va me‘yoriy hujjatlarda ko‘rsatilgan tadqiqot uslublarining qo‘llanilganligi, shuningdek, nazariy va tajriba tadqiqotlari natijalarining o‘zaro mos kelishi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.

Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati transformator moyini o‘zgarmas elektr maydon yordamida turli mexanik aralashmalardan samarador tozalash jarayonlarining matematik modeli magnit induksiyasi, elektrodning uzunligi va sirt zichligi, elektrofilterning balandligi va FIK, zaryadlangan aralashmalarning aktivligi, moyning sarfi, massasi va xarakterli o‘lchami, turbulent va laminar oqimlar uchun proporsionallik koeffitsiyenti va berilayotgan o‘zgarmas kuchlanishning qiymati asosida ishlab chiqilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati notortuvchi elektr tarmoqlarida ishlatilayotgan transformatorlarning moylarini turli aralashmalardan tozalash imkonini beruvchi “moy nasos - elektr qizdirgich - elektr maydon - filtr - vakuum” ketma - ketligi asosida ishlaydigan qurilma ishlab chiqilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Temir yo‘l transporti notortuvchi elektr tarmoqlarida ishlatilayotgan transformatorlar moylarini tozalash texnologiyasini takomillashtirish bo‘yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

temir yo‘l transporti notortuvchi elektr tarmoqlarida ishlatilayotgan transformatorlar moylarini tozalash texnologiyasi “Temiryo‘linfratuzilma” AJ Qo‘qon elektr ta‘minoti masofasi filiali korxonasiga joriy etilgan (“O‘zbekiston temir yo‘llari” AJ 2025-yil 2-iyuldagi 07/2549-25 - sonli ma‘lumotnomasi). Natijada korxonadagi jami 159 dona TM-25/10(6)/0,4 turidagi va 28 dona TMJ-25/27,5/0,4 turidagi kuch transformatorlari moylarini tozalash hisobiga iqtisodiy samaradorlik 257 404 500 so‘m ni tashkil etgan.

temir yo‘l transporti notortuvchi elektr tarmoqlari texnik holatini baholashning takomillashtirilgan usuli “Temiryo‘linfratuzilma” AJ Qo‘qon elektr ta‘minoti masofasi filiali korxonasiga joriy etilgan (“O‘zbekiston temir yo‘llari” AJ 2025-yil 2-iyuldagi 07/2549-25 -sonli ma‘lumotnomasi). Natijada “transformator moyi - transformatorning asosiy elementlari - transformator - notortuvchi elektr tarmog‘i” ketma - ketligining har bir bosqichida 5 ta mezonni qo‘llash imkoniyati yaratilgan.

Tadqiqot natijalarining aprobastiyasi. Dissertatsiya tadqiqot natijalari 10 ta ilmiy-amaliy anjumanlar, shu jumladan 5 ta xalqaro (1 ta scopus bazasida) va 5 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida aprobatsiyadan o‘tgan.

Tadqiqot natijalarining e‘lon qilinishi. Dissertatsiya mavzusi bo‘yicha jami 20 ta ilmiy ish, shu jumladan, O‘zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining

dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarni chop etishga tavsiya etilgan ilmiy nashrlarida 5 ta maqola (1 ta xorijiy va 4 ta mahalliy) jurnallarda chop etilgan va 3 ta EHM daturiga guvohnoma olingan.

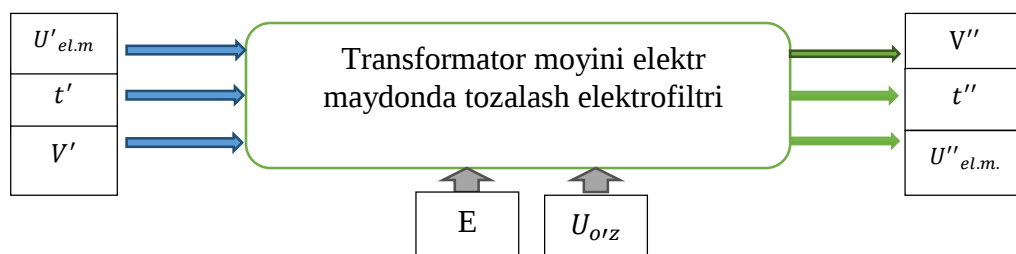
Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya tarkibi kirish, to'rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 120 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida tanlangan mavzuning dolzarbligi va zarurati asoslangan, tadqiqotning maqsad va vazifalari, obyekti va predmeti tavsiflangan, ularning respublika fan va texnologiyalarini rivojlantirishning ustuvor yo'nalishlariga muvofiqligi, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan, olingan natijalarning ilmiy va amaliy ahamiyati yoritib berilgan, tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy qilish, nashr etilgan ilmiy ishlar va dissertatsiya tuzilishi bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning **“Temir yo'l transporti notortuvchi elektr tarmoqlarida ishlatiladigan transformatorlarga texnik xizmat ko'rsatish va ta'mirlash texnologiyalari”** deb nomlangan birinchi bobida temir yo'l notortuvchi elektr tarmoqlarida ishlatilayotgan transformatorga xizmat ko'rsatish va ta'mirlashning ahamiyati, temir yo'l notortuvchi elektr tarmoqlarida ishlatilayotgan transformatorga xizmat ko'rsatish va ta'mirlash bo'yicha olib borilgan ilmiy tadqiqot ishlari tahlil qilingan. Temir yo'l transporti notortuvchi elektr tarmoqlarida ishlatilayotgan transformatorlar moylarini tozalash texnologiyasini takomillashtirishni inobatga olgan holda, olib borilgan tahlillar asosida dissertatsiya ishining maqsad va vazifalari shakllantirilgan.

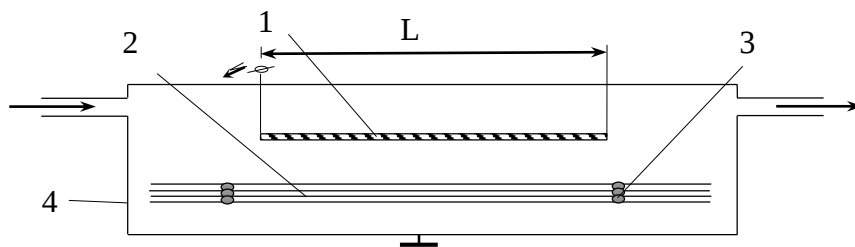
Dissertatsiyaning **“Temir yo'l notortuvchi elektr tarmoqlarida ishlatilayotgan transformator moylarini tozalash texnologiyasini takomillashtirish bo'yicha nazariy tadqiqotlarini o'tkazish”** deb nomlangan ikkinchi bobida temir yo'l notortuvchi elektr tarmoqlarida foydalanilayotgan transformator moyini elektr maydon yordamida turli mexanik aralashmalardan samarador tozalash jarayonlarining matematik modeli ishlab chiqildi. Elektrofiltarning ishlash prinsipini tavsiflash uchun qurilma parametrlarini indentifikatsiyalovchi struktura sxemasi ishlab chiqildi (1-rasm).



1 - rasm. Qurilma parametrlarining indentifikatsiyalash uchun qisqarilgan struktura sxemasi

Bu yerda, $U'_{el.m.}$ – elektr mustahkamlik, $U_{o'z}$ – o'zgarmas kuchlanish yordamida doimiy elektrostatik maydon hosil qilindi. Yuqoridagi struktura sxema asosida elektrofiltir qurilmasining ishchi sxemasi takomillashtirildi.

Bunda elektrofiltarga kirayotgan transformator moyining majburiy harakati va moy sarfini nazorat qilish orqali moy tarkibidagi elektr maydonga ta'sirchan mexanik aralashmalarni ajratib olish samaradorligi oshirildi (2 - rasm).



2 - rasm. Ishchi sxemasi takomillashtirilgan elektrofiltarning tashqi ko'rinishi:

1 - elektrokonvektor, 2 - elektrodlar, 3 - izoyator, 4 - korpus.

Transformator moyini mexanik aralashmalardan tozalashning fizik mexanizmi tashqi elektr maydoni orqali amalga oshiriladi va mexanik aralashma zarrachalariga ta'siri natijasida dipol momenti (P) hosil bo'ladi va ma'lum bir miqdordagi zaryad miqdorini shakllantiradi. Ushbu jarayon uchun elektrostatik kuchlarning funksional ifodasi quyidagicha ifodalandi:

$$\vec{f} = \begin{cases} (\vec{P} \cdot \nabla) \vec{E} \\ q \vec{E} \\ (\vec{P} \cdot \nabla) \vec{E} + q \vec{E} \end{cases}, \quad (1)$$

bu yerda $\vec{f}$ - natijaviy kuch vektori, $\vec{P}$ - dipol momenti, $\vec{E}$ - elektr maydon kuchlanganlik vektori (V/m), $(\vec{P} \cdot \nabla) \vec{E}$ - elektr maydonning qanday o'zgarayotganiga qarab dipolga ta'sir etuvchi kuch, q - zaryad miqdori.

Mexanik aralashmalar relaksatsion xarakterga ega bo'lib, elektr maydoniga ta'sirchan hisoblanadi. Agar relaksatsion xarakter hisobga olinsa, hajm birligidagi mexanik aralashmalarni konsentratsiyasi (φ) eksponentsial o'zgarishga ega bo'lib, quyidagicha ifodalandi:

$$\varphi = \varphi_0 \cdot e^{-t/\tau}, \quad (2)$$

bu yerda φ_0 - tozalanayotgan suyuqlikning boshlang'ich konsentratsiyasi, τ - relaksatsiya vaqti [soniya], t - tozalash vaqti [soniya].

Berilgan o'zgaras kuchlanish hosil qilgan magnit maydoni orqali moy tarkibidagi barcha mexanik aralashma zarrachalarini tozalab bo'lmaydi. Ushbu holatni hisobga olib, 2-ifodani berilgan o'zgaras kuchlanish uchun minimal konsentratsiyani hisobga olgan holda quyidagicha ifodalandi:

$$\frac{\varphi - \varphi_{min}}{\varphi_0 - \varphi_{min}} = e^{-t/\tau}, \quad (3)$$

bu yerda φ_{min} - mexanik aralashmalarning minimal konsentratsiyasi.

Mexanik aralashmalarni konsentratsiyasi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$\varphi = e^{-\frac{t}{\tau}}(\varphi_0 - \varphi_{min}) + \varphi_{min}. \quad (4)$$

Elektr maydoni ta'sirida mexanik aralashma zarrachalari elektrodlar tomonga ko'chadi. t - vaqt davomida transformator moyini tozalanishi natijasida elektrodda mexanik aralashmalar qatlami $-\zeta(t)$ hosil bo'ladi. Bu jarayonni vaqtga bog'liq ravishda differensial quyidagicha ifodalandi: $dm_1 = isdt$.

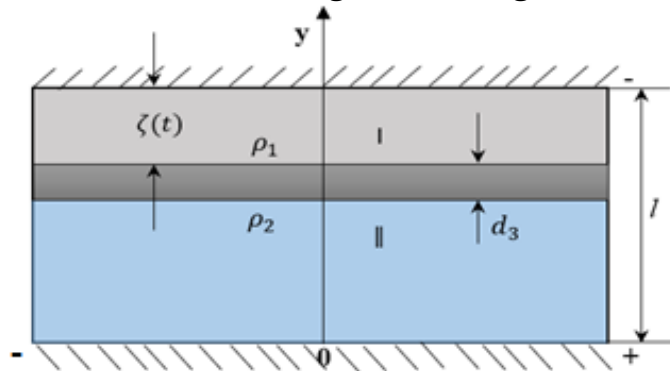
Mexanik aralashma massasini transformator moyi zichligi va tozalangan moyning hajmi bilan quyidagiga tengligi aniqlandi:

$$dm_1 = -\gamma V d\varphi. \quad (5)$$

Elektrofiltr ichidagi transformator moyining massasi - i ni quyidagicha aniqlandi:

$$i = \gamma \varphi u, \quad (6)$$

bu yerda: γ –suyuqlik zichligi [kg/m³], V - suyuqlik hajmi [m³], u - elektrodga ko‘chib borgan mexanik aralashma zarrachalarining massasi [kg].



3 - rasm. Elektrofiltrning fizik modeli

bu yerda m_1 –mexanik aralashmalardan hosil bo‘lgan qobiq massasi [kg], s – elektrod sirtining yuzasi [m²], i – elektrofiltr ichidagi moy massasi.

Elektr maydoni ta‘sirida elektrodga ko‘chib borgan mexanik aralashma zarrachalarining massasini aniqlash **Stoks** qonuni orqali quyidagicha ifodalandi:

$$u = b \cdot f, \quad (7)$$

bu yerda: f – mexanik aralashma zarrachasiga ta‘sir etuvchi kuch [N], b –transformator moyining harakatchanligi.

Transformator moyining harakatchanligi Stoks qonuniga asosan mexanik aralashma zarrachasining radiusi va dinamik qovushqoqligini hisobga olgan holda quyidagicha ifodalandi:

$$b = \frac{1}{6\pi\eta a}, \quad (8)$$

bu yerda: η –transformator moyining dinamik qovushqoqligi; a –mexanik aralashma zarrachasining radiusi.

5-ifodani elektrodning sirt yuzasi va hosil bo‘lgan mexanik aralashma zarrachalari qatlami orqali quyidagicha qayta tahrir qilindi:

$$dm_1 = \gamma_1 dV_1 = \gamma_1 s \cdot d\zeta. \quad (9)$$

Agar vaqt o‘tishi bilan elektrofiltr hajmini ($V = l - \zeta$) kamayishini hisobga olsak va mexanik zarrachalar konsentratsiyasi orqali ifodalasak, u holda 9-ifoda quyidagi ko‘rinishga keldi:

$$d\varphi = -\frac{\gamma_1}{\gamma} \cdot \frac{d\zeta}{l-\zeta}, \quad (10)$$

bu yerda γ_1 – tozalangan transformator moyining zichligi [kg/m³], ζ –qatlam, l –qatlam uzunligi [m].

Agar moy elektrofiltrdan o‘tib mexanik aralashmalardan maksimal darajada tozalandi deb olsak, 10 - ifoda quyidagi ko‘rinishga keldi:

$$\varphi = \varphi_0 + \gamma_1^* \ln(l - \zeta^*), \quad (11)$$

bu yerda: $\gamma_1^* = \gamma_1/\gamma$ -suyuqlikning nisbiy o'zgarishi, $\zeta^* = \zeta/l$ - qatlamning nisbiy qalinligi.

Yuqoridagi shartga ko'ra, 11 - ifodani quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$\zeta_m^* = 1 - e^{-\varphi_0/\gamma_1^*}. \quad (12)$$

Agar mexanik aralashmalarni konsentratsiyasini juda kichik deb olinsa, quyidagi ifoda o'rinli bo'ladi:

$$\zeta_m \cong \frac{\varphi_0 l}{\gamma_1^*}. \quad (13)$$

Oxirgi ifodada ishtirok etayotgan uchta parametr o'zgarish kattaliklar bo'lib, tashqi ta'sirlarga ega emas. Shuning uchun $\zeta_m = \text{const}$ deb hisoblash mumkin.

4, 5 va 11- ifodalardan mexanik aralashmalar qatlamining vaqt bo'yicha o'zgarish tenglamasini keltirib chiqarish mumkin:

$$\frac{\gamma_1^* l}{b} \cdot \frac{d\zeta^*}{[\varphi_0 + \gamma_1^* \ln(1 - \zeta^*)]f} = dt, \quad (14)$$

bu yerda: f —mexanik aralashma zarrachalariga ta'sir etuvchi kuch [N].

Birinchi muhit uchun ya'ni qattiq mexanik aralashmalar uchun zaryad zichligi differensial ko'rinishda quyidagicha ifodalandi:

$$\begin{aligned} \frac{dD_I^{(1)}}{dx} &= \sigma_1 \Rightarrow D_I^{(1)} = \sigma_1 x + c', \quad x \in [0; \zeta], \\ D_I^{(1)}|_{x=0} &= 0 \Rightarrow c' = 0 \Rightarrow D_I^{(1)} = \sigma_1 x, \end{aligned} \quad (15)$$

bu yerda $D_1^{(1)}(x)$ —zaryad zichligini qatlam qalinligiga bog'lanish funksiyasi x —qatlam qalinligi [m].

Ikkinchi muhit uchun ya'ni quyuq mexanik aralashmalar uchun zaryad zichligi differensial ko'rinishda quyidagicha ifodalandi:

$$\frac{dD_{II}^{(1)}}{dx} = \sigma_2 \Rightarrow D_{II}^{(1)} = \sigma_2 x + c'', \quad x \in [\zeta; l]. \quad (16)$$

Qatlamlarda elektr maydon kuchlanganligi ichki elektr maydon kuchlanganligiga tenglashib, dipol momentini hosil qiladi va natijada qutblanish kuchlari vujudga keladi:

$$f_p = P \frac{dE_{II}(x)}{dx} \Big|_{x=\zeta} = \frac{P}{\varepsilon_0 \varepsilon_2} \cdot \sigma_2. \quad (17)$$

Hosil bo'lgan dipol momenti tashqi elektr maydoniga to'g'ri proporsional, zaryadni zichligi esa potentsiallar farqiga to'g'ri proporsional deb hisoblansa, yuqoridagi ifoda quyidagi shaklga o'tadi: $mf = (1 + \alpha)qE(\zeta)$.

Agar transformator moyining tarkibidagi mexanik aralashmalar konsentratsiyasi juda kichik bo'lsa va hosil qilinayotgan tashqi elektr maydoni yassi kondensator shaklida bo'lsa, α ni hisobga olmasa ham bo'ladi.

Agar elektrofildrdan vaqt birligida majburiy ravishda Q miqdordagi transformator moyi tozalansa, ya'ni majburiy transformator moyi oqimi orqali ifodalash orqali quyidagi ifodaga ega bo'ladi:

$$v_0 = \frac{Q}{S}, \quad (18)$$

bu yerda: S —elektrofildrning effektiv ko'ndalang kesim yuzasi, Q - transformator moyi sarfi, v_0 — transformator moyining elektrofildrga kirish tezligi [m/s].

Agar majburiy transformator moyi aylanmasi amalga oshirilmasa, u holda ushbu shart uchun quyidagi ko‘rinishga ega bo‘ladi:

$$\varphi^* = 1 - h^* \cdot \frac{e^{\lambda t} - 1}{e^{\lambda t} - v}. \quad (19)$$

Mexanik aralashmalar oqib o‘tish tezligining ko‘ndalang tashkil etuvchisi umumiy holatda, quyidagicha ifodalandi: $u = u_E + v_j + v_1$. Bu yerda $u_E - E_0$ elektr maydoni ta’sirida yuzaga kelgan asosiy yo‘nalishdan og‘gan transformator moyining tezligi, v_j – hosil qilingan elektr maydoni va konveksiya ta’sirida yuzaga kelgan transformator moyini tezligi, v_1 – konveksiya va majburiy transformator moyi oqimiga perpendikulyar yo‘nalishdagi tezligi.

Agar $t \rightarrow \infty$ bo‘lsa, u holda 19 - ifoda quyidagi ko‘rinishga keladi:

$$\varphi_{\infty}^* = 1 - c_0 \frac{L}{H} Re_l^{-\frac{1}{2}} - \frac{L(kE_0 + c \frac{jQ^2}{k\eta})}{Hv_0} = (1 - \psi_{00}^*) - \frac{L(kE_0 + c \frac{jQ^2}{k\eta})}{Hv_0}, \quad (20)$$

bu yerda: ψ_{00}^* – transformator moyining mexanik aralashmalardan tozalanish darajasini ko‘rsatuvchi koeffitsiyent bo‘lib, tajribalarni ko‘rsatishicha ushbu koeffitsiyent $\psi_{00}^* = 0,1$ qiymatgacha ortishi mumkin ($\psi_{00}^* + \varphi_{00}^* = 1$ ga teng) va quyidagicha ifodalanadi:

$$\psi_{00}^* = c_0 \frac{L}{H} Re^{-\frac{1}{2}} = c_0 \frac{L}{H} \sqrt{\frac{vB}{Q}}. \quad (21)$$

(20) ifoda izohi va (21) - ifodalarni hisobga olgan holda (21) ifodani qayta tahrirlab quyidagicha ifodalandi:

$$\varphi_{00}^* - \varphi_{\infty}^* = \frac{U}{Q} \cdot \frac{B \cdot L}{H} \left(k + c \frac{\sigma Q^2}{k\eta} \right). \quad (22)$$

(22) - ifodaning B, L, H pramaterlar ham o‘zgarmas deb hisoblandi. Shunga ko‘ra quyidagi belgilashlar kiritildi: $M = \frac{B \cdot L}{H} \left(k + c \frac{\sigma Q^2}{k\eta} \right)$.

Agar yetarli vaqt tozalash imkoniyati mavjud bo‘lsa, ya’ni $t \rightarrow \infty$, mexanik aralashmalarning tozalanish darajasini amaliy tajriba natijalari bilan solishtirish imkoni paydo bo‘ladi. Buning uchun eng kichik kvadratlar usulidan foydalanamiz.

U/Q - chiziqli o‘zgaruvchi funksiya emas, shu sababli ushbu nisbat uchun quyidagicha $U/Q = \chi$ belgilash kiritildi.

Demak, $\chi^m \rightarrow \chi$ bog‘lanish orqali ifodalanadi: $\varphi_{00}^* - \varphi_{\infty}^* = \chi^m \cdot M$.

Ushbu ifodani darajasi bo‘yicha logarifmlasash orqali quyidagi ifoda olindi:

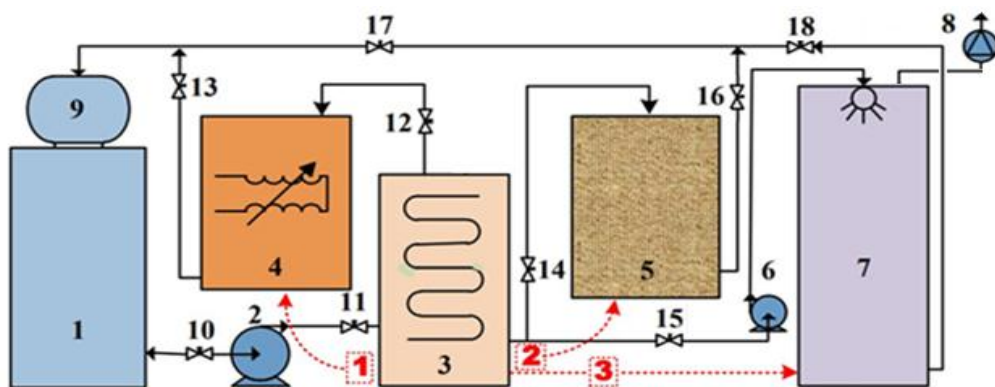
$$\ln(\varphi_{00}^* - \varphi_{\infty}^*) = m \ln \chi + \ln M, \quad (23)$$

bu yerda quyidagicha belgilashlar kiritildi: $\ln \chi \equiv k$; $\ln M \equiv n$; $\ln(\varphi_{00}^* - \varphi_{\infty}^*) \equiv N$ kabi belgilashlar kiritilsa, u holda eng kichik kvadratlar usuli shartiga ko‘ra quyidagi ifoda olindi:

$$\overline{(mk + n - N)^2} = \min(m, n). \quad (24)$$

Temir yo‘l notortuvchi elektr tarmoqlaridagi transformator moylarini elektr maydonda turli aralashmalardan tozalash jarayonlarining nazariyasi ishlab chiqildi.

Transformator moyini tozalash jarayonlarining takomillashtirilgan texnologik sxemasi uch bosqichda ishlaydi (4 - rasm):



4 - rasm. Transformator moyini tozalash jarayonlarining takomillashtirilgan texnologik sxemasi: 1 - kuch transformatori; 2 - sirkulyatsiya uchun moy nasosi; 3 - moy qizdirgich; 4 - elektromagnit filtr; 5 - filtr; 6 - moy nasosi; 7 - vakuum uskunasi; 8 - vakuum nasosi; 9 - transformatorning kengaytirish baki; 10...18 - ventillar

Birinchi bosqich. Ushbu bosqich transformator moyini qizdirgich va elektromagnit filtdan sirkulyatsion o'tkazishdan iborat bo'lib, aylanma sikl quyidagi tartibda bajariladi: (1) transformatoridagi tozalanuvchi moy (10) ventil orqali (2) moy nasos yordamida oqib o'tadi va (11) ventil orqali (4) qizdirgichdan o'tgan moy (12) ventil orqali (4) elektromagnit filtr qurilmasiga uzatiladi. Moy (4) elektromagnit filtr yordamida tozalanib (13) ventil orqali (9) transformatorning kengaytirish bakiga, so'ng (1) transformatorning o'ziga qayta quyiladi. Ushbu jarayonda (10), (11), (12) va (13) ventillar ochiq holatda, (14), (15) va (17) ventillar esa yopiq holatda bo'ladi. Dastlabki bosqichda transformator moyi qizdirgich va elektromagnit filtr yordamida zaryadlanadigan mexanik aralashmalardan tozalanadi.

Ikkinchi bosqich. Ushbu bosqich transformator moyini qizdirgich va filtdan sirkulyatsion o'tkazishdan iborat bo'lib, aylanma sikl quyidagi tartibda bajariladi: (1) transformatoridagi tozalanuvchi moy (10) ventil orqali (2) nasos yordamida oqib o'tadi, keyin (11) ventil orqali (3) qizdirgichdan o'tadi, (15) ventil orqali (5) filtrga uzatiladi. Moy (5) filtr yordamida tozalanib (20) ventildan oqib borib (9) transformatorning kengaytirish bakiga, so'ng (1) transformatorga qayta quyiladi.

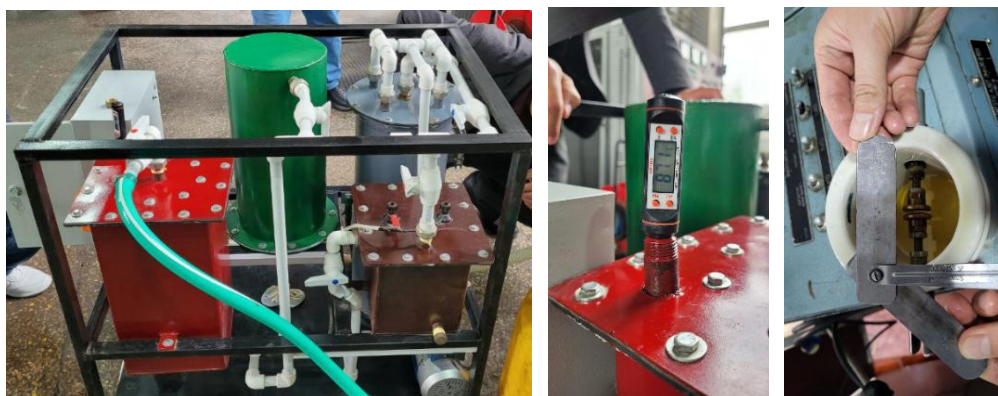
Ushbu jarayonda (10), (11), (14), (16) va (17) ventillar ochiq holatda, (12), (13), (15) va (18) ventillar esa yopiq holatda bo'ladi. O'rta bosqichda transformator moyi filtr yordamida zaryadlanmaydigan mexanik aralashmalardan tozalanadi.

Uchinchi bosqich. Ushbu bosqich transformator moyini qizdirgich va vakuumdan sirkulyatsion o'tkazishdan iborat bo'lib, aylanma sikl quyidagi tartibda bajariladi: (1) transformatoridagi tozalanuvchi moy (10) ventil orqali (2) nasos yordamida oqib o'tadi, (11) ventil orqali (3) qizdirgichdan o'tadi, keyin (15) ventil orqali (7) vakuum uskunasi uzatiladi. Moy (7) vakuum uskunasi yordamida tozalanib, (18) ventildan o'tib (9) transformatorning kengaytirish bakiga, so'ng (1) transformatorga qayta quyiladi. (8) vakuum nasosi yordamida suvli aralashmalar tortib olinadi. Ushbu jarayonda (10), (11), (15) va (18) ventillar ochiq holatda, (12), (13), (14) va (16) ventillar esa yopiq holatda bo'ladi. Oxirgi bosqichda transformator moyi vakuum uskunasi yordamida suvli aralashmalardan tozalanadi.

Tadqiqot natijalariga ko'ra temir yo'l notortuvchi tizimlarida ishlatilayotgan transformatorlar moylarini tozalash jarayonlarining texnologiyasi elektr maydon

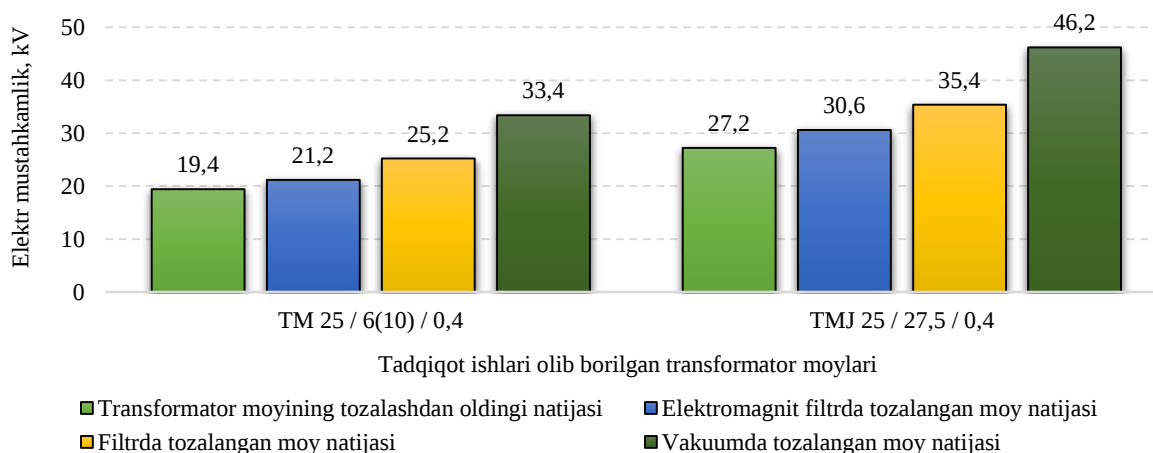
yordamida zaryadlangan, filtr yordamida zaryadlanmagan mexanik aralashmalardan va vakuum yordamida suvli aralashmalardan tozalash jarayonlarini inobatga olgan holda takomillashtirildi.

Dissertatsiyaning **“Temir yo‘l notortuvchi elektr tarmoqlarida ishlatilayotgan transformator moylarini takomillashtirilgan texnologiya asosida tozalash bo‘yicha tajriba tadqiqotlarini o‘tkazish”** deb nomlangan uchinchi bobida tajriba tadqiqotlari o‘tkazildi. Tajriba tadqiqotlarini o‘tkazish uchun **takomillashtirilgan texnologiya asosida** transformator moylarini turli aralashmalardan tozalash imkonini beruvchi “moy nasos - elektr qizdirgich - elektromagnit filtr - filtr - vakuum” ketma - ketligida qurilma ishlab chiqildi. Ushbu qurilma yordamida “Temiryo‘linfratuzilma” AJ Qo‘qon elektr ta‘minoti masofasi filiali korxonasida foydalanilayotgan TM-25/10(6)/0,4 va TMJ-25/27,5/0,4 turidagi transformatorlarda ishlatilayotgan T-1500 turidagi transformator moyini tozalash bo‘yicha tajriba tadqiqotlari o‘tkazildi (5 - rasm).

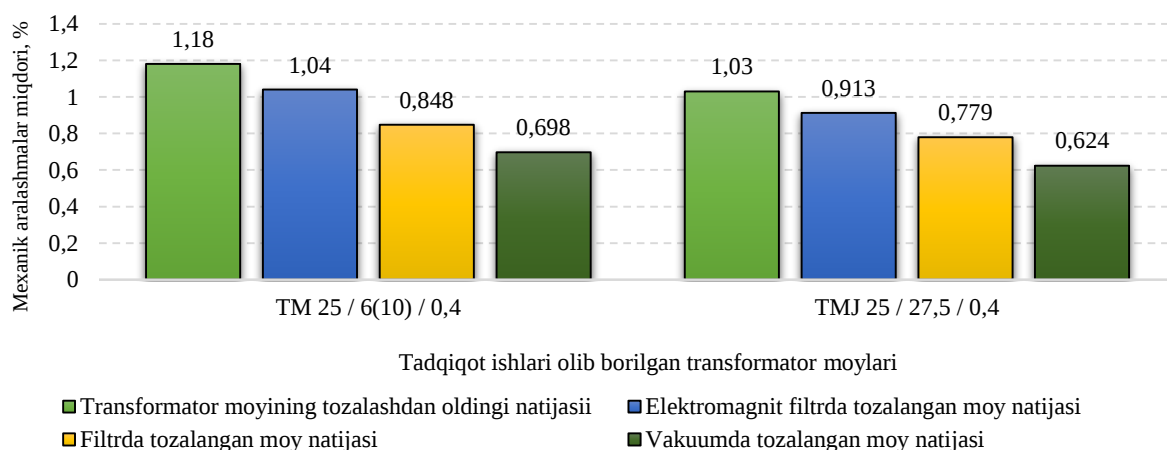


5 - rasm. Mobil qurilma yordamida tajriba tadqiqotlarini o‘tkazish jarayoni

Transformator moyning tozalashdan oldingi va tozalashdan keyingi holatlar uchun moylaridan na‘muna olinib, 8 ta ko‘rsatkich (elektr mustahkamlik, kinematik qovushqoqlik, mexanik aralashmalar miqdori, suv miqdori, kislota soni, chaqnash harorati, zichlik, dielektrik yo‘qotishlar) bo‘yicha laboratoriya tekshiruvlari amalga oshirildi (6 -, 7 - rasmlar).



6 - rasm. Transformator moyining tozalashdan oldingi va keyingi har bir bosqichda elektr mustahkamligi bo‘yicha natijalari



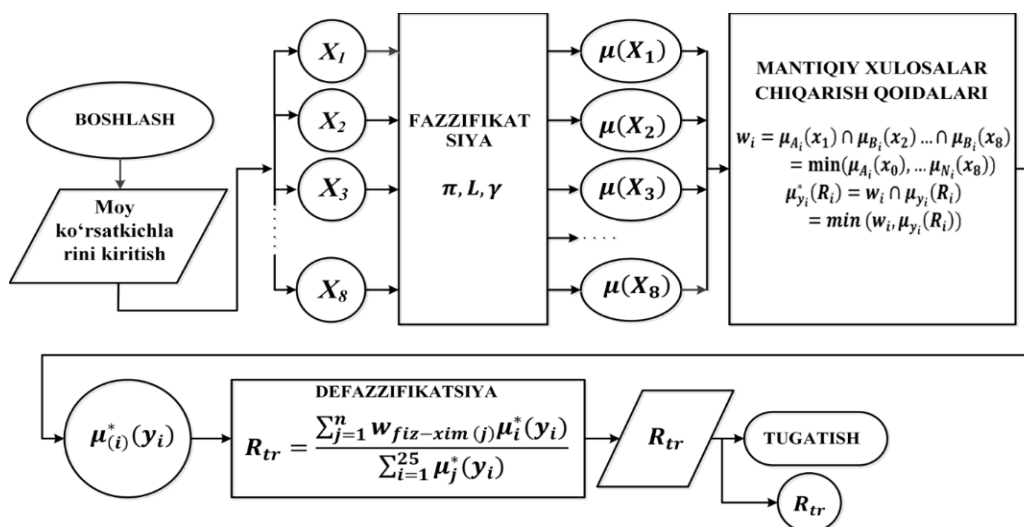
7 - rasm. Transformator moyining tozalashdan oldingi va keyingi har bir bosqichda mexanik aralashmalar miqdori bo'yicha natijalari

Tozalashdan oldingi holat uchun laboratoriya tekshiruv natijalariga ko'ra ikki turdagi transformator moylari ekspluatatsiyaga yaroqsiz ekanligi aniqlandi. Mobil qurilma yordamida TM - 25/10(6)/0,4 turidagi transformatorning moyini tozalash jarayoni o'tkazildi, so'ng TMJ - 25/27,5/0,4 turidagi transformator moyini tozalash jarayoni o'tkazildi. Har bir tajriba tadqiqotlari uch bosqichda amalga oshirildi. Olib borilgan tajriba tadqiqotlaridan so'ng tozalangan moylardan na'muna olinib, 8 ta ko'rsatkich (elektr mustahkamlik, kinematik qovushqoqlik, mexanik aralashmalar miqdori, suv miqdori, kislota soni, chaqnash harorati, zichlik, dielektrik yo'qotishlar) bo'yicha qayta tekshirildi. Tekshiruv natijalariga ko'ra TM 25/6(10)/0,4 va TMJ 25/27,5/0,4 turlaridagi transformator moylari mobil qurilma yordamida tozalanganidan so'ng ekspluatatsiyaga yaroqli ekanligi aniqlandi. Olib borilgan tajriba va nazariy tadqiqot natijalari o'zaro solishtirildi. Natijada ular orasidagi farq (adekvatlik) 5 % ga teng ekanligi aniqlandi.

Dissertatsiyaning **“Temir yo'l transporti notortuvchi elektr tarmoqlarining texnik holatini transformator moyi orqali baholash”** deb nomlangan to'rtinchi bobida transformator moyning ko'rsatkichlari, transformator asosiy va qo'shimcha elementlari, transformator hamda notortuvchi tarmog'i texnik holati uchun matematik modellari ishlab chiqildi:

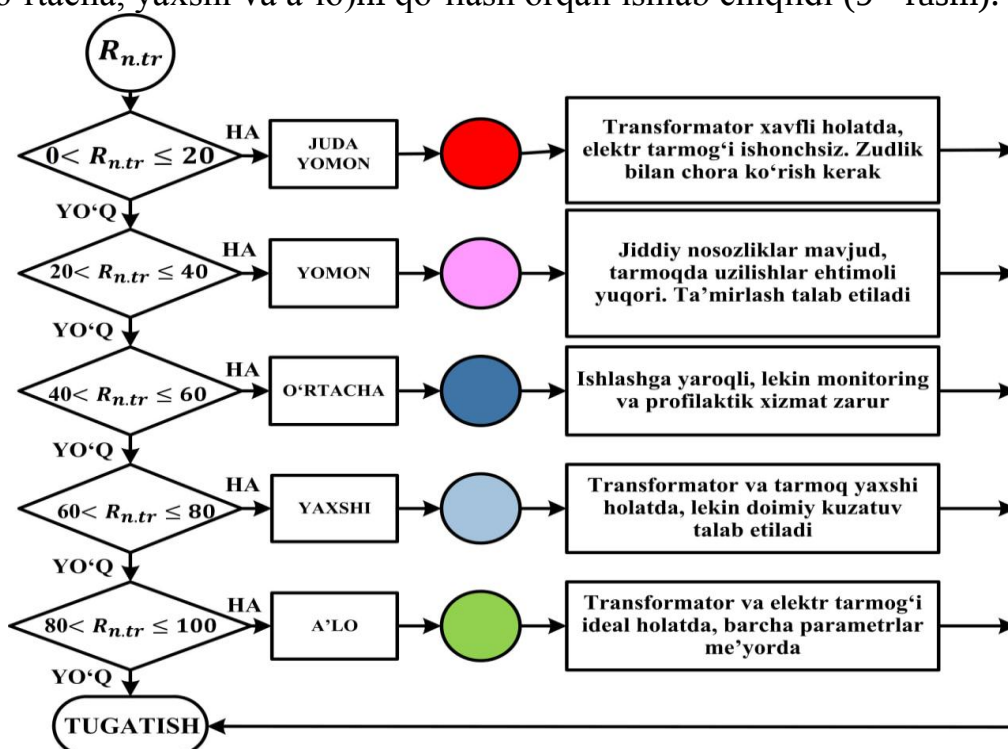
$$\begin{aligned} \text{transformator moyning texnik ko'rsatkichlari: } R_{kor} &= \frac{\sum_{i=1}^5 w_{Kkor(i)} * \mu_i^*(y_1)}{\sum_{i=1}^5 \mu_i^*(y_1)}; \\ \text{transformator elementlari texnik holati: } Y_{tr.elem.} &= \frac{\sum_{i=1}^{125} w_{tr.elem(i)} * \mu_i^*(y_{tr.elem})}{\sum_{i=1}^{125} \mu_i^*(y_{tr.elem})}; \\ \text{transformatorning texnik holati: } R_{tr} &= \frac{\sum_{i=1}^{625} w_{tr(i)} * \mu_i^*(y_{tr})}{\sum_{i=1}^{625} \mu_i^*(y_{tr.l})}; \\ \text{notortuvchi elektr tarmog'i texnik holati: } R_{n.tor.} &= \frac{\sum_{i=1}^{625} w_{not.(i)} * \mu_i^*(y_{not.})}{\sum_{i=1}^{625} \mu_i^*(y_{not.l})}. \end{aligned}$$

Temir yo'l notortuvchi elektr tizimlari texnik holatining qiymatini aniqlash algoritmi transformator moyining elektr mustahkamligi, kinematik qovushqoqligi, mexanik aralashmalari, suv miqdori, kislota soni, chaqnash harorati, zichlik va dielektrik isroflari ko'rsatkichlarini inobatga olgan holda ishlab chiqildi (8 - rasm).



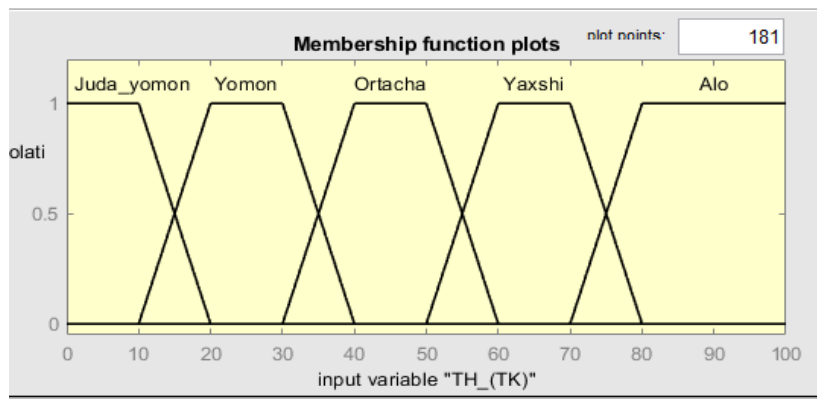
8 - rasm. Notortuvchi elektr tarmoqlari texnik holatining qiymatini aniqlash algoritmi

Algoritim quyidagicha ishladi: dastlab texnik holat qiymatini aniqlash uchun transformator moyining 8 ta asosiy diagnostik parametri kiritiladi va dastlabki bosqichda fazzifikatsiya (noaniqlashtirish) amalga oshirildi. Ushbu bosqichda π , L , γ turidagi a'zolik (mansublik) funksiyalari orqali aniq ma'lumotlar noaniq ifodalanishga o'tkazildi. Shundan so'ng, kirish va chiqish o'zgaruvchilari o'rtasidagi mantiqiy bog'liqliklar "Agar - keyin" (If - then) qoidalari asosida belgilanadi, har bir qoidaga tegishli faollik darajalari aniqlandi. So'nggi bosqichda esa defazzifikatsiya (aniqlashtirish) jarayoni amalga oshirildi. Bunda centroid usuli qo'llanib, hosil bo'lgan noaniq natijalardan aniq texnik holat qiymati aniqlandi. Yuqorida aniqlangan qiymatlar asosida temir yo'l notortuvchi tizimlaridagi transformatorlarga texnik xizmat ko'rsatish bo'yicha tavsiyalar beruvchi algoritim beshta lingvistik mezon (juda yomon, yomon, o'rtacha, yaxshi va a'lo)ni qo'llash orqali ishlab chiqildi (9 - rasm).

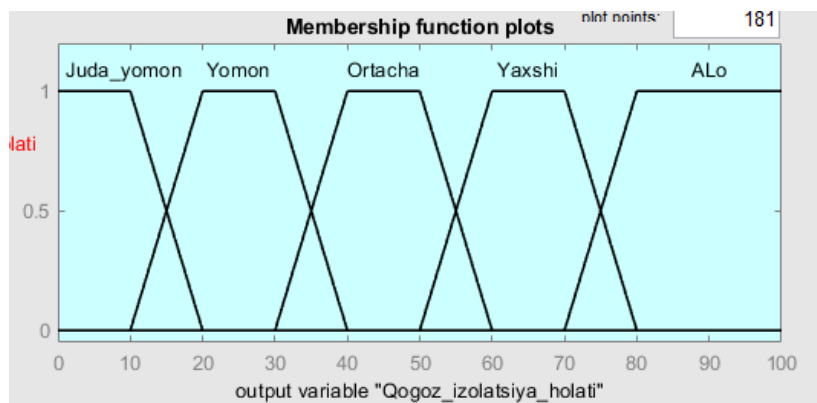


9 - rasm. Transformatorlarga texnik xizmat ko'rsatish bo'yicha tavsiyalar berish jarayonlarining ketma-ketligini ifodalovchi algoritmi

Baholash mexanizmi kirish (10 - rasm) va chiqish (11 - rasm) o'zgaruvchilarining mos mansublik funksiyalarini aniqlash, hamda ular orasidagi noaniq qoidalarni ishlab chiqish orqali amalga oshirildi. Temir yo'l transporti notortuvchi elektr tarmoqlarining texnik holatini aniqlashga doir qoidalar bazasi 12 - rasmda keltirilgan bo'lib, u mazkur tizimning umumiy texnik ko'rsatkichlarini baholash imkonini beradi.

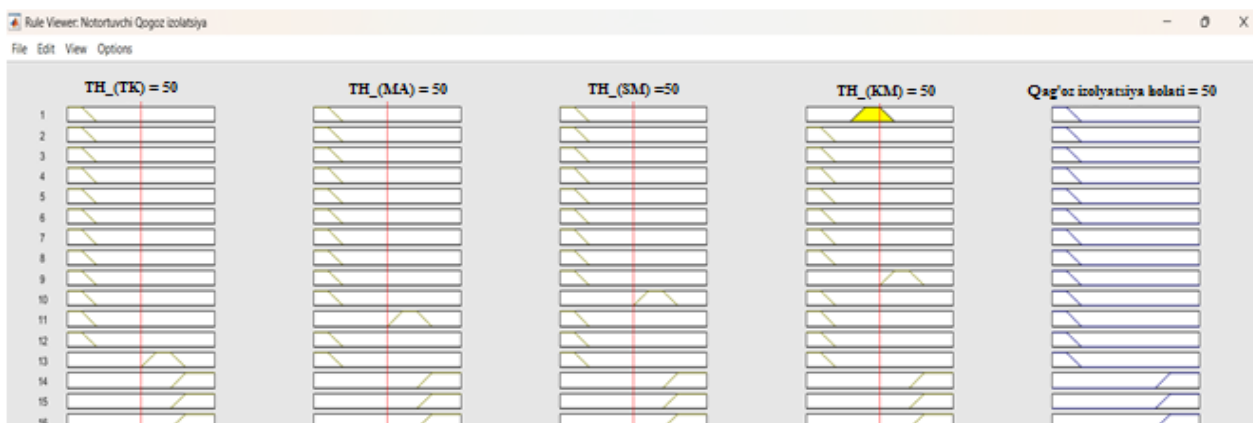


10 - rasm. Kirish parametri “Elektr mustahkamlik” ning mansublik funksiyasi



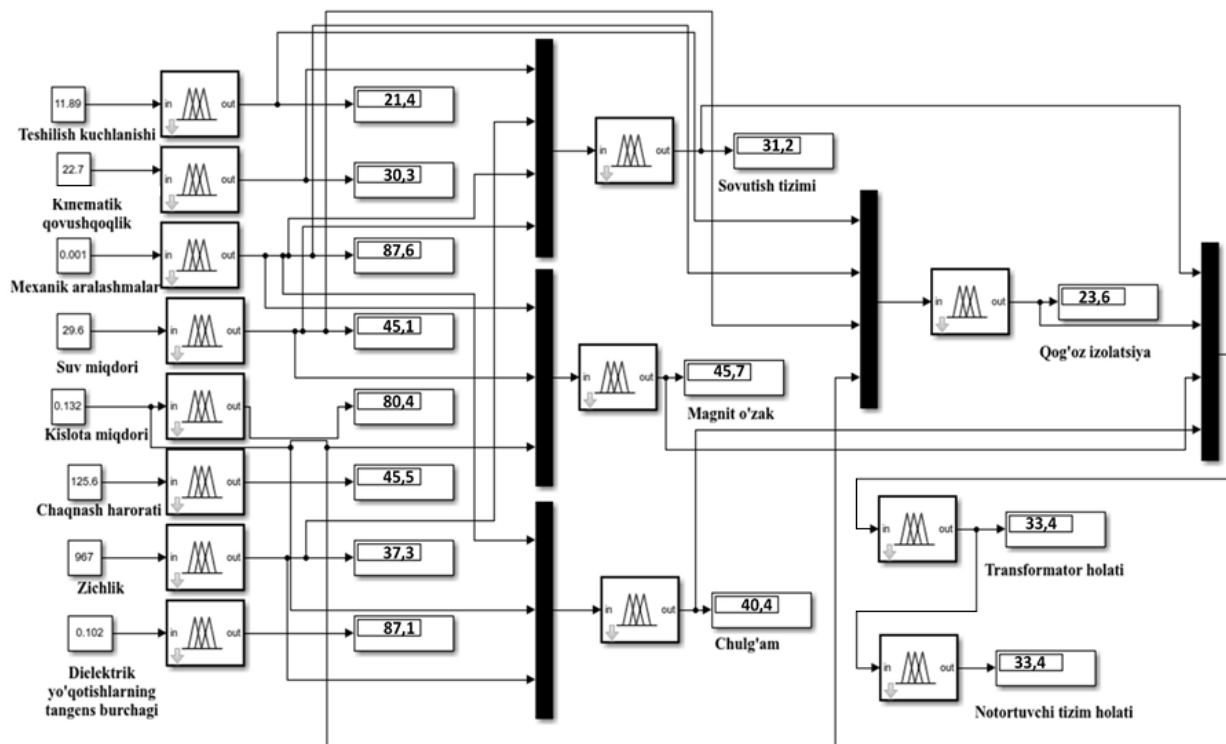
11 - rasm. Chiqish parametri “Qog‘oz izolyatsiyasi” ning mansublik funksiyasi

Kirish o'zgaruvchilari sonining ko'pligi va ularning har biri besh darajali qiymatga ega bo'lgani sababli, umumiy texnik holatni aniqlashda minimallashtirish tamoyiliga amal qilindi. Bunda yakuniy baho kirish parametrlarining eng past qiymatiga qarab belgilandi.



12 - rasm. Noaniq mantiq yordamida “Qog‘oz izolyatsiyasining umumiy texnik holatini baholash” qoidalar bazasi

MATLAB muhiti Fuzzy Logic oynasida yaratilgan qoidalar majmuasi asosida temir yo‘l transport notortuvchi elektr tarmoqlarining texnik holatini transformator moyi ko‘rsatkichlari orqali aniqlovchi imitatsion model ishlab chiqildi (13 - rasm).



13 - rasm. Notortuvchi elektr tarmoqlari texnik holatini qiymatini aniqlash imkoni beruvchi imitatsion model

Ushbu imitatsion model notortuvchi tizim elementlarining ishlashini matematik asosda takrorlab, ularning texnik holatini baholash va real ma'lumotlarga asoslanib, nosozlik xavfini aniqlash va xizmat ko'rsatishni rejalashtirish imkoniyatini beradi.

Temir yo‘l notortuvchi elektr tarmoqlari texnik holatining qiymatini aniqlash imkoni beruvchi matematik va imitatsion modellar noaniq mantiqning π , L , γ mansublik sinflaridan foydalanib, transformator moyining elektr mustahkamligi, kinematik qovushqoqligi, mexanik aralashmalari, suv miqdori, kislota soni, chaqnash harorati, zichlik va dielektrik isrofi ko'rsatkichlarini inobatga olib ishlab chiqildi.

Yuqorida olib borilgan tadqiqotlar natijasida temir yo‘l notortuvchi tizimlarining texnik holatini baholash imkonini beruvchi usul “transformator moyi – transformatorning asosiy va qo‘shimcha elementlari – transformator – notortuvchi elektr tarmog‘i” ketma – ketligining har bir bosqichida 5 ta mezon (juda yomon, yomon, o‘rtacha, yaxshi va a‘lo)ni qo‘llash hisobiga takomillashtirildi.

Olib borilgan ilmiy tadqiqot natijalari asosida temir yo‘l notortuvchi tizimlarida ishlatilayotgan transformatorlarning moylarini tozalash texnologiyasi “Temiryo‘linfratuzilma” AJ Qo‘qon elektr ta‘minoti masofasi filiali korxonasiga joriy etildi. Natijada korxonada jami TM-25/10(6)/0,4 turidagi 159 ta va TMJ - 25/27,5/0,4 turidagi 28 ta kuch transformatorlarining moylarini tozalash hisobiga umumiy 257 404 500 so‘m miqdorida yillik iqtisodiy samaradorlikka erishildi.

Xulosa

“Temir yo‘l transporti notortuvchi elektr tarmoqlarida ishlatilayotgan transformatorlar moylarini tozalash texnologiyasini takomillashtirish” mavzusidagi texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiya ishi bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlar natijalari asosida quyidagi xulosa taqdim etilgan:

1. Transformator moylarini tozalash jarayonlarining texnologiyasi bo‘yicha tadqiqotlar olib borilgan. Natijada temir yo‘l notortuvchi elektr tarmoqlarida ishlatilayotgan transformatorlar moylarini tozalash jarayonlarining texnologiyasi elektr maydon yordamida zaryadlangan, filtr yordamida zaryadlanmagan mexanik aralashmalardan va vakuum yordamida suvli aralashmalardan tozalash jarayonlarini inobatga olgan holda takomillashtirildi.

2. Noaniq mantiqning π , L, γ mansublik sinflaridan foydalangan holda tadqiqotlar o‘tkazilgan. Natijada temir yo‘l notortuvchi elektr tarmoqlari texnik holatining qiymatini aniqlash imkoni beruvchi matematik va imitatsion modellar transformator moylarining elektr mustahkamligi, kinematik qovushqoqligi, mexanik aralashmalari, suv miqdori, kislotasi soni, chaqnash harorati, zichlik va dielektrik isroflarini inobatga olgan holda ishlab chiqildi.

3. Beshta lingvistik mezon orqali baholanuvchi moyning asosiy ko‘rsatkichlarini inobatga olgan holda tadqiqotlar o‘tkazilgan. Natijada temir yo‘l notortuvchi elektr tarmoqlarida ishlatilayotgan transformatorlarga texnik xizmat ko‘rsatish bo‘yicha tavsiyalar berish jarayonlarining ketma - ketligini ifodalovchi algoritm ishlab chiqildi.

4. “Transformator moyi asosiy ko‘rsatkichlari – transformatorning asosiy va qo‘shimcha elementlari – transformator – notortuvchi elektr tarmog‘i” ketma – ketligining har bir bosqichida 5 ta (“juda yomon”, “yomon”, “o‘rtacha”, “yaxshi”, “a‘lo”) mezonlarini qo‘llash bo‘yicha tadqiqotlar o‘tkazilgan. Natijada temir yo‘l notortuvchi elektr tarmoqlarining texnik holatini baholash imkonini beruvchi usul takomillashtirildi.

5. Olib borilgan tajriba va nazariy tadqiqot natijalari o‘zaro solishtirilgan. Natijada ular orasidagi farq (adekvatlik) o‘rtacha 5 % ga teng ekanligi aniqlandi.

6. Temir yo‘l transporti notortuvchi elektr tarmoqlarida ishlatilayotgan transformatorlar moylarini tozalash texnologiyasi va texnik holatini baholashning takomillashtirilgan usuli “Temiryo‘linfratuzilma” AJ Qo‘qon elektr ta‘minoti masofasi filiali korxonasiga joriy etilgan. Natijada korxonadagi jami TM-25/10(6)/0,4 turidagi 159 dona va TMK-25/27,5/0,4 turidagi 28 dona kuch transformatorlarining moylarini tozalash hisobiga umumiy iqtisodiy samaradorlik 257 404 500 so‘mni tashkil etgan.

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

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТРАНСПОРТНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

АВАЗОВ БОБОМУРОД КУРБОНОВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ МАСЕЛ
ТРАНСФОРМАТОРОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В НЕТЯГОВЫХ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

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 (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан под номером B2023.3.PhD/T3999.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном транспортном университете.

Автореферат диссертации размещен на трех языках (узбекском, русском, английском (резюме)) на веб-сайте Научного совета (<http://tstu.uz>) и информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziynet.uz).

Научный руководитель:

Юсупов Дилмурод Турдалиевич
доктор философии по техническим наукам (PhD),
старший научный сотрудник

Официальные оппоненты:

Пирматов Нурали Бердиярович
доктор технических наук, профессор

Баянов Илдар Назипович
доктор философии по техническим наукам (PhD), доцент

Ведущая организация:

Ферганский государственный технический
университет

Защита диссертации состоится на заседании Научного совета DSc.15/31.08.2022.T.73.07 при Ташкентском государственном транспортном университете "___" _____ 2025 г. в ___ часов. Адрес: 100176, г. Ташкент, ул. Темирйулчилар, 1. Тел.: (99871) 299-00-01; факс: (99871) 293-57-54; e-mail: rektorat@tstu.uz.

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного транспортного университета (зарегистрирована под номером ____). (Адрес: 100176, г. Ташкент, ул. Темирйулчилар, 1. Тел.: (99871) 299-05-66.

Автореферат диссертации разослан "___" _____ 2025 г.

(Протокол No ___ от "___" _____ 2025 г.).

Рахимов Р.В.

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

Рузметов Ю.О.

Ученый секретарь Научного совета
по присуждению учёных степеней,
DSc., профессор

Мирсаатов Р.М.

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 ускоренное развитие отраслей экономики придает особое значение вопросам обеспечения эффективного и бесперебойного функционирования систем железнодорожного транспорта, организации устойчивого движения подвижного состава и бесперебойного обеспечения электроэнергией. По данным Международного энергетического агентства, в настоящее время 8% производимой в мире энергии приходится на систему железнодорожного транспорта. В этом процессе надежная работа трансформаторов, используемых в нетяговых электрических сетях, важна для обеспечения подвижного состава качественной и бесперебойной электроэнергией. Опыт развитых стран показывает, что особое внимание уделяется систематическому техническому осмотру и проведению плановых ремонтных работ с целью продления срока службы трансформаторов и обеспечения их высокой точности. В частности, проверка технического состояния трансформаторного масла признается важным процессом в раннем выявлении и предотвращении неисправностей. Также большое внимание уделяется оценке технических параметров трансформаторов, используемых в системе железнодорожного транспорта, на основе современных научных методов, совершенствованию технологий их эксплуатации и обслуживания, повышению надежности и эффективности.

Учитывая, что в мире трансформаторы широко используются в энергетической и производственной промышленности, они считаются основным электрооборудованием для передачи и распределения электроэнергии на большие расстояния, бесперебойного электроснабжения систем автоматики, телемеханики и связи на железной дороге через неотяжные электрические сети. Проводится ряд исследований, направленных на вопросы стабилизации технического состояния трансформаторов, продления срока эксплуатации и повышения эффективности их работы. В этом направлении являются актуальными вопросами, в том числе, раннее выявление неисправностей, возникающих в трансформаторах, разработка методов их устранения и совершенствование технического обслуживания путем математического моделирования этих процессов, поддержание качественного состояния трансформаторного масла, его своевременная очистка, выбор наиболее оптимальных методов очистки и разработка усовершенствованных структурных схем очистных устройств.

В результате реформ, проводимых в нашей республике, осуществляется масштабная работа по модернизации транспортных отраслей, в частности, инфраструктуры железнодорожного транспорта, расширению возможностей обслуживания высокоскоростного подвижного состава и электрификации существующих железнодорожных сооружений. В этом процессе особое значение имеет надежная работа трансформаторов, являющимися основным элементом распределения электроэнергии в нетяговых электрических сетях железных дорог. В Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы определены задачи, в том числе «бесперебойное обеспечение экономики

электроэнергией и активное внедрение технологий «Зеленой экономики» во все отрасли, повышение энергоэффективности экономики на 20 процентов». Реализация данных задач, в том числе выявление неисправностей трансформаторов и разработка принципов их устранения, совершенствование технологий очистки трансформаторных масел и оценка технического состояния неразборных электрических сетей, является одним из важных вопросов.

Указ Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № ПФ- 60 «О стратегии развития Нового Узбекистана на 2022 – 2026 годы», Указ от 1 февраля 2019 года № УП-5647 «О мерах по коренному совершенствованию системы государственного управления в сфере транспорта», Постановление от 22 августа 2019 года № ПП-4422 «О неотложных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии», от 10 июля 2020 года № ПП-4779 «О дополнительных мерах по повышению энергоэффективности экономики и снижению зависимости отраслей экономики от топливно-энергетических продуктов за счёт мобилизации имеющихся ресурсов», а также от 6 июля 2022 года № ПП-307 «Об организационных мерах по реализации стратегии инновационного развития Республики Узбекистан на 2022-2026 годы» и другие нормативно-правовые акты, регулирующие данную деятельность, в определённой степени послужили основой для проведения данного диссертационного исследования.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан II. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение».

Степень изученности проблемы. Научные исследования, направленные на совершенствование технологии очистки масел силовых трансформаторов, проводятся в ведущих научных центрах и высших учебных заведениях мира, в том числе в Институте прикладной физики Академии наук Республики Молдова (Молдова), Научно-исследовательском центре Hydro-Québec (Канада), Международной комиссии по электрическим сетям (Италия), Исследовательском центре Эксон (США), Университете Нового Южного Уэльса (Австралия), Чувашском государственном университете (Россия).

В решение задач, направленных на повышение надежности работы и оценку технического состояния трансформаторов, используемых в железнодорожных тяговых электрических сетях, большой вклад вносят ведущие ученые мира: Cavallini A., Pompili A., Nelson W.D., Dong Z.Y., Duval M., Phung B.T., Enze Zhang, Nguyen Z.X., Михеев Г.М., Савиных Ю.А., Ачаков К.А., Гайнуллина Л.Р., Богачков И.М., Берсенёв А.Л., Бондалето В.Г., Мочалова Н.Ю., Лисов С.В., Leu V.I., Пижов А.И., Кузнецов Ю.В., и многие другие.

Несмотря на многочисленные исследования и достигнутые результаты, проблемы совершенствования технологии очистки масел трансформаторов, используемых в тяговых электрических сетях железнодорожного транспорта, изучены недостаточно.

В нашей стране ведущими узбекскими учеными, проводившими научные исследования по техническому обслуживанию и ремонту, повышению надежности работы и оценке технического состояния трансформаторов в нетяжных системах железных дорог, являются Т.П. Салихов, В.В. Кан, Д.Т. Юсупов, О.М. Кутбидинов, М.Ш. Мухаммаджанов, З.З. Туйчиев и другие вносят свой вклад.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Исследование диссертации выполнено в рамках хозяйственного договора, заключенного в 2025 году между Ташкентским государственным транспортным университетом и предприятием Кокандского дистанционного филиала электроснабжения АО «Темирйулинфратузилма».

Целью исследования является совершенствование технологии очистки масел трансформаторов, используемых в нетяговых электрических сетях железнодорожного транспорта.

Задачи исследования:

совершенствование технологии процессов очистки трансформаторных масел железнодорожных нетяговых потребителей;

разработка математических и имитационных моделей, позволяющих определить значение технического состояния нетяговых электрических сетей;

разработка алгоритма, дающего рекомендации по техническому обслуживанию трансформаторов железнодорожных нетяговых потребителей;

совершенствование метода, позволяющего оценить техническое состояние железнодорожных нетяговых систем.

В качестве объекта исследования взяты масла трансформаторов, используемые в нетяговых электрических сетях железнодорожного транспорта.

Предметом исследования являются процессы очистки масел трансформаторов, используемых в нетяговых электрических сетях железнодорожного транспорта.

Методы исследования. В процессе исследования использовались теория электротехники, теория электростатики, закон электромагнитной индукции, теория электрического поля и метод нечёткой логики.

Научная новизна исследования содержит:

усовершенствована технология очистки трансформаторных масел железнодорожных нетяговых потребителей путем применения процессов очистки от примесей в последовательности электрического поля, фильтра и вакуума;

разработаны математические и имитационные модели, позволяющие учитывать электрическую прочность, кинематическую вязкость, механические примеси, содержание воды, кислотное число, температуру вспышки, плотность и диэлектрические потери трансформаторного масла для оценки технического состояния железнодорожных нетяговых систем;

алгоритм, дающий рекомендации по техническому обслуживанию трансформаторов железнодорожных нетяжелых потребителей, разработан с использованием пяти лингвистических критериев;

усовершенствован метод, позволяющий оценить техническое состояние железнодорожных нетяговых систем, путем применения 5 критериев на каждом этапе последовательности «основные показатели трансформаторного масла - основные и дополнительные элементы трансформатора - трансформатор - нетяговых электрическая сеть».

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

усовершенствована технология процессов очистки трансформаторных масел;

разработано устройство, позволяющее очищать масла трансформаторов, используемых в нетяговых электрических сетях, от различных примесей на основе усовершенствованной технологии;

Разработано программное обеспечение для оценки технического состояния нетяговых электрических сетей железнодорожного транспорта с помощью трансформаторного масла.

Достоверность результатов исследований. Достоверность результатов исследований объясняется применением современных метрологически аттестованных измерительных приборов, передовых математических методов обработки данных и методов исследований, указанных в нормативных документах, а также совпадением результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования объясняется разработкой математической модели эффективной очистки трансформаторного масла от различных механических примесей с помощью постоянного электрического поля на основе магнитной индукции, длины и поверхностной плотности электрода, высоты и КПД электрофильтра, активности заряженных примесей, расхода, массы и характерного размера масла, коэффициента пропорциональности для турбулентного и ламинарного потоков и значения приложенного постоянного напряжения.

Практическая значимость результатов исследования объясняется разработкой устройства, работающего на основе последовательности «масляный насос - электронагреватель - электрическое поле - фильтр - вакуум» позволяющего очищать масла трансформаторов, используемых в нетяговых электрических сетях, от различных примесей.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных научных результатов по совершенствованию технологии очистки масел трансформаторов, используемых в нетяговых электрических сетях железнодорожного транспорта:

технология очистки трансформаторных масел, используемых в нетяговых электрических сетях железнодорожного транспорта, внедрена на предприятии Кокандского дистанционного филиала электроснабжения АО «Темирийўлинфратузилма» (Справка АО «Ўзбекистон темир йуллари» №07/2549-25 от 2 июля 2025г). В результате общая экономическая эффективность за счет очистки масел 159 силовых трансформаторов типа

ТМ-25/10(6)/0,4 и 28 силовых трансформаторов типа ТМЖ-25/27,5/0,4 на предприятии составила 257.404.500 сумов.

усовершенствованный метод оценки технического состояния нетяговых электрических сетей железнодорожного транспорта внедрен на предприятии Кокандского дистанционного филиала электроснабжения АО «Темирийўлинфратузилма» (Справка АО «Ўзбекистон темир йуллари» №07/2549-25 от 2 июля 2025г). В результате создана возможность применения 5 критериев на каждом этапе последовательности «трансформаторное масло - основные элементы трансформатора - трансформатор - нетяговая электрическая сеть».

Апробация результатов исследования. Результаты диссертационного исследования были апробированы на 10 научно-практических конференциях, в том числе на 5 международных (1 в базе Scopus) и 5 республиканских научно - практических конференциях.

Публикация результатов исследования. В общей сложности по теме диссертации опубликовано 20 научных работ, в том числе 5 статей в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций (1 зарубежных и 4 отечественных) и получено 3 свидетельства на программное обеспечение ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем диссертации составляет 120 страниц.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и востребованность выбранной темы, описаны цели и задачи, объект и предмет исследования, их соответствие приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, изложены научная новизна и практические результаты исследования, раскрыта научная и практическая значимость полученных результатов, приведены сведения о внедрении результатов исследования в практику, опубликованных научных работах и структуре диссертации.

В первой главе диссертации под названием «**Технологии технического обслуживания и ремонта трансформаторов, используемых в нетяговых электрических сетях железнодорожного транспорта**» проанализировано значение технического обслуживания и ремонта трансформаторов, используемых в нетяговых электрических сетях железнодорожного транспорта, проведены научно-исследовательские работы по техническому обслуживанию и ремонту трансформаторов, используемых в нетяговых электрических сетях железнодорожного транспорта. На основе проведенного анализа сформированы цели и задачи диссертационной работы с учетом совершенствования технологии очистки трансформаторных масел, используемых в нетяговых электрических сетях железнодорожного транспорта.

Во второй главе диссертации под названием «**Проведение теоретических исследований по совершенствованию технологии очистки трансформатор -**

ного масла, используемого в железнодорожных тяговых электрических сетях» разработана математическая модель процессов эффективной очистки трансформаторного масла, используемого в железнодорожных тяговых электрических сетях, от различных механических примесей с помощью электрического поля. Для описания принципа работы электрофильтра разработана структурная схема, позволяющая идентифицировать параметры устройства. Здесь $U'_{пр}$ - электрическая прочность, $U_{ст}$ - постоянное электростатическое поле, созданное с помощью постоянного напряжения.

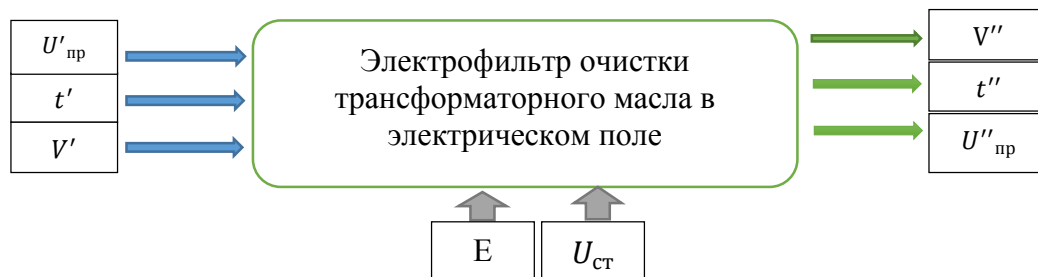


Рис.1. Сокращенная структурная схема для идентификации параметров устройства

На основе приведенной выше структурной схемы усовершенствована рабочая схема электрофильтра. При этом за счет контроля вынужденного движения трансформаторного масла и расхода масла, поступающего в электрофильтр, повышена эффективность отделения механических примесей, чувствительных к электрическому полю в масле (рис. 2).

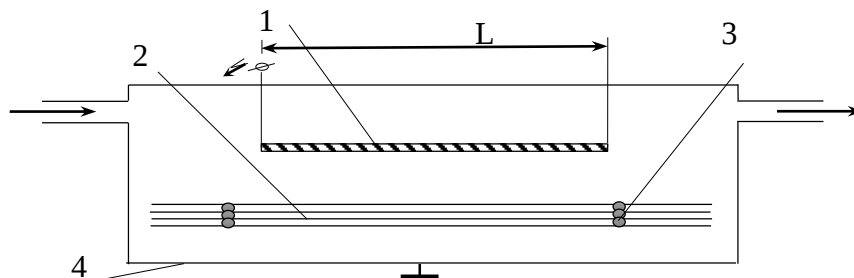


Рис.2. Внешний вид электрофильтра с усовершенствованной рабочей схемой:
1 - электроконвектор, 2 - электроды, 3 - изолятор, 4 - корпус.

Физический механизм очистки трансформаторного масла от механических примесей осуществляется через внешнее электрическое поле, и в результате воздействия на частицы механической смеси возникает дипольный момент (P) и формируется определенное количество заряда. Функциональное выражение электростатических сил для этого процесса было показано следующим образом:

$$\vec{f} = \begin{cases} (\vec{P} \cdot \nabla) \vec{E} \\ q \vec{E} \\ (\vec{P} \cdot \nabla) \vec{E} + q \vec{E} \end{cases}, \quad (1)$$

где: $\vec{f}$ - результирующий вектор силы, P - дипольный момент, $\vec{E}$ - вектор напряженности электрического поля (В/м), $(\vec{P} \cdot \nabla) \vec{E}$ - сила, действующая на диполь в зависимости от того, как изменяется электрическое поле, q - количество заряда.

Механические примеси имеют релаксационный характер и чувствительны к электрическому полю. Если учесть их релаксационный характер, то концентрация механических примесей в единице объема (φ) имеет экспоненциальное изменение и выражается следующим образом:

$$\varphi = \varphi_0 \cdot e^{-t/\tau}, \quad (2)$$

где: φ_0 – начальная концентрация очищаемой жидкости; τ – время релаксации [секунд]; t – время очистки [секунд].

Невозможно очистить все частицы механической примеси в масле через магнитное поле, создаваемое заданным постоянным напряжением. Учитывая это обстоятельство, выражение 2 для заданного постоянного напряжения с учетом минимальной концентрации было выражено следующим образом:

$$\frac{\varphi - \varphi_{min}}{\varphi_0 - \varphi_{min}} = e^{-t/\tau}, \quad (3)$$

где: φ_{min} – минимальная концентрация механических примесей.

Установлено, что выражение для определения концентрации механических примесей равно:

$$\varphi = e^{-\frac{t}{\tau}}(\varphi_0 - \varphi_{min}) + \varphi_{min}. \quad (4)$$

$\zeta(t)$ Под действием электрического поля частицы механической примеси перемещаются к электродам. В результате очистки трансформаторного масла в течение времени t на электроде образуется слой механической примеси. В зависимости от времени этого процесса дифференциал выражается следующим образом: $dm_1 = isdt$. где: m_1 – масса оболочки, образованной механическими примесями [кг], s – площадь поверхности электрода [m^2], i – масса масла внутри электрофильтра.

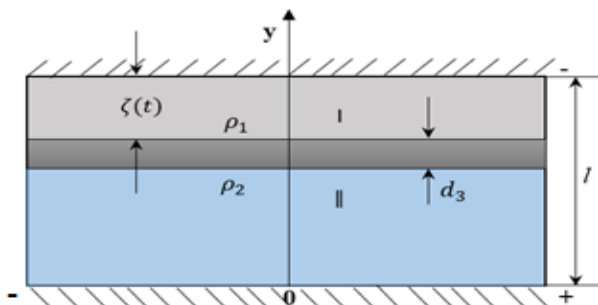


Рис.3. Физическая модель электрофильтра.

Определено, что масса механической смеси с плотностью трансформаторного масла и объемом очищенного масла равна:

$$dm_1 = -\gamma V d\varphi. \quad (5)$$

Массу трансформаторного масла - i внутри электрофильтра определяли следующим образом:

$$i = \gamma \varphi u, \quad (6)$$

где: γ – плотность жидкости [$кг/м^3$], V – объем жидкости [$м^3$], u – масса частиц механической смеси, перемещающихся на электрод [кг].

Массу частиц механической смеси, переносимых на электрод под действием электрического поля, можно выразить с помощью закона Стокса следующим образом:

$$u = b \cdot f , \quad (7)$$

где: f - сила, действующая на частицу механической смеси [Н], b - подвижность трансформаторного масла.

Подвижность трансформаторного масла по закону Стокса с учетом радиуса и динамической вязкости частиц механической смеси выражалась следующим образом:

$$b = \frac{1}{6\pi\eta a} , \quad (8)$$

где: η – динамическая вязкость трансформаторного масла, a – радиус частицы механической смеси.

Выражение 5 было отредактировано через поверхность электрода и слой частиц механической смеси следующим образом.

$$dm_1 = \gamma_1 dV_1 = \gamma_1 s \cdot d\zeta . \quad (9)$$

Если учесть, что с течением времени объем электрофильтра ($V = l - \zeta$) уменьшается, и выразить его через концентрацию механических частиц, то выражение 9 примет следующий вид:

$$d\varphi = -\frac{\gamma_1}{\gamma} \cdot \frac{d\zeta}{l-\zeta} , \quad (10)$$

где: γ_1 – плотность очищенного трансформаторного масла [кг/м³, ζ – слой, l – длина слоя [м].

Если предположить, что масло прошло через электрофильтр и максимально очищено от механических примесей, то выражение 10 принимает следующий вид:

$$\varphi = \varphi_0 + \gamma_1^* \ln(l - \zeta^*) , \quad (11)$$

где: $\gamma_1^* = \gamma_1/\gamma$ - относительное изменение жидкости и $\zeta^* = \zeta/l$ - относительная толщина слоя.

Согласно условию выше, выражение 11 можно записать в следующем виде:

$$\zeta_m^* = 1 - e^{-\varphi_0/\gamma_1^*} . \quad (12)$$

Если предположим, что концентрация механических примесей очень мала, мы получим следующее выражение:

$$\zeta_m \cong \frac{\varphi_0 l}{\gamma_1^*} . \quad (13)$$

$\zeta_m = const$ Три параметра, участвующие в последнем выражении, являются постоянными величинами и не имеют внешних воздействий. Поэтому можно считать, что.

Из выражений 4, 5 и 11 можно вывести уравнение изменения слоя механических примесей во времени:

$$\frac{\gamma_1^* l}{b} \cdot \frac{d\zeta^*}{[\varphi_0 + \gamma_1^* \ln(1 - \zeta^*)]f} = dt , \quad (14)$$

где: f – сила, действующая на частицы механической смеси [Н].

Для первой среды, т.е. для твердых механических смесей, плотность заряда в дифференциальной форме выражается следующим образом:

$$\begin{aligned} \frac{dD_I^{(1)}}{dx} = \sigma_1 &\Rightarrow D_I^{(1)} = \sigma_1 x + c', \quad x \in [0; \zeta], \\ D_I^{(1)} \Big|_{x=0} = 0 &\Rightarrow c' = 0 \Rightarrow D_I^{(1)} = \sigma_1 x , \end{aligned} \quad (15)$$

где: $D_1^{(1)}(x)$ – функция зависимости плотности заряда от толщины слоя, x – толщина слоя [m].

Для второй среды, т.е. для густых механических смесей, плотность заряда в дифференциальной форме выражается следующим образом:

$$\frac{dD_{II}^{(1)}}{dx} = \sigma_2 \Rightarrow D_{II}^{(1)} = \sigma_2 x + c'', \quad x \in [\zeta; l]. \quad (16)$$

В слоях напряженность электрического поля становится равной напряженности внутреннего электрического поля, создавая дипольный момент, в результате чего возникают поляризационные силы, а именно:

$$f_p = P \left. \frac{dE_{II}(x)}{dx} \right|_{x=\zeta} = \frac{P}{\varepsilon_0 \varepsilon_2} \cdot \sigma_2. \quad (17)$$

Если считать, что результирующий дипольный момент прямо пропорционален внешнему электрическому полю, а плотность заряда прямо пропорциональна разности потенциалов, то вышеприведенное выражение принимает следующий вид: $m f = (1 + \alpha) \cdot qE(\zeta)$. Если концентрация механических примесей в трансформаторном масле очень мала, а создаваемое внешнее электрическое поле представляет собой плоский конденсатор, α можно пренебречь. Если из электрофильтра за единицу времени вынужденно удалить Q трансформаторного масла, то есть выразить через вынужденный поток трансформаторного масла, мы получим следующее выражение:

$$v_0 = \frac{Q}{S}, \quad (18)$$

где: S – эффективная площадь поперечного сечения электрофильтра, Q – расход трансформаторного масла, v_0 – скорость поступления трансформаторного масла в электрофильтр [м/с].

Если принудительная циркуляция трансформаторного масла не осуществляется, то данное условие имеет следующий вид:

$$\varphi^* = 1 - h^* \cdot \frac{e^{\lambda t} - 1}{e^{\lambda t} - v}. \quad (19)$$

Поперечная составляющая скорости потока механических примесей в общем случае выражается следующим образом: $u = u_E + v_j + v_1$.

где: u_E – E_0 скорость трансформаторного масла, отклоняющегося от основного направления, вызванного электрическим полем; v_j – скорость трансформаторного масла, вызванного создаваемым электрическим полем и конвекцией; v_1 – скорость в направлении, перпендикулярном потоку конвекции и вынужденного трансформаторного масла.

Если $t \rightarrow \infty$, то выражение 19 принимает следующий вид:

$$\varphi_{\infty}^* = 1 - c_0 \frac{L}{H} Re_l^{-\frac{1}{2}} - \frac{L(kE_0 + c \frac{jQ^2}{k\eta})}{Hv_0} = (1 - \psi_{00}^*) - \frac{L(kE_0 + c \frac{jQ^2}{k\eta})}{Hv_0}, \quad (20)$$

где: ψ_{00}^* – коэффициент, показывающий степень очистки трансформаторного масла от механических примесей, который, как явствует из экспериментальных результатов, может увеличиваться до значения $\psi_{00}^* = 0,1$ (равен $\psi_{00}^* + \varphi_{00}^* = 1$) и выражается следующим образом:

$$\psi_{00}^* = c_0 \frac{L}{H} Re^{-\frac{1}{2}} = c_0 \frac{L}{H} \sqrt{\frac{vB}{Q}}. \quad (21)$$

с учетом объяснения выражений (20) и (21), отредактировав выражение (21), получим следующее выражение:

$$\varphi_{00}^* - \varphi_{\infty}^* = \frac{U}{Q} \cdot \frac{B \cdot L}{H} \left(k + c \frac{\sigma \varrho^2}{k\eta} \right). \quad (22)$$

Предположим, что параметры B , L , H выражения (22) также постоянны.

Соответственно, были введены следующие обозначения: $M = \frac{B \cdot L}{H} \left(k + c \frac{\sigma \varrho^2}{k\eta} \right)$.

Если $t \rightarrow \infty$ есть возможность очистки в течение достаточного времени, то есть, становится возможным сравнить степень очистки механических примесей с результатами практических экспериментов. Для этого воспользуемся методом наименьших квадратов. U/Q не является функцией линейной переменной, поэтому для этого отношения введем следующее обозначение, скажем $U/Q = \chi$.

Следовательно, выразим через зависимость $\chi^m \rightarrow \chi$: $\varphi_{00}^* - \varphi_{\infty}^* = \chi^m \cdot M$.

Логарифмируя это выражение по степени, мы получаем следующее выражение:

$$\ln(\varphi_{00}^* - \varphi_{\infty}^*) = m \ln \chi + \ln M. \quad (23)$$

Здесь мы вводим следующие обозначения:

$\ln \chi \equiv k$; $\ln M \equiv n \ln(\varphi_{00}^* - \varphi_{\infty}^*) \equiv N$ тогда, согласно условию метода наименьших квадратов, получаем следующее выражение:

$$(mk + n - N)^2 = \min(m, n). \quad (24)$$

Разработана теория процессов очистки трансформаторных масел от различных примесей в электрическом поле в железнодорожных тяговых электрических сетях.

Усовершенствованная технологическая схема процессов очистки трансформаторного масла, представленная на рис.4, работает в три этапа:

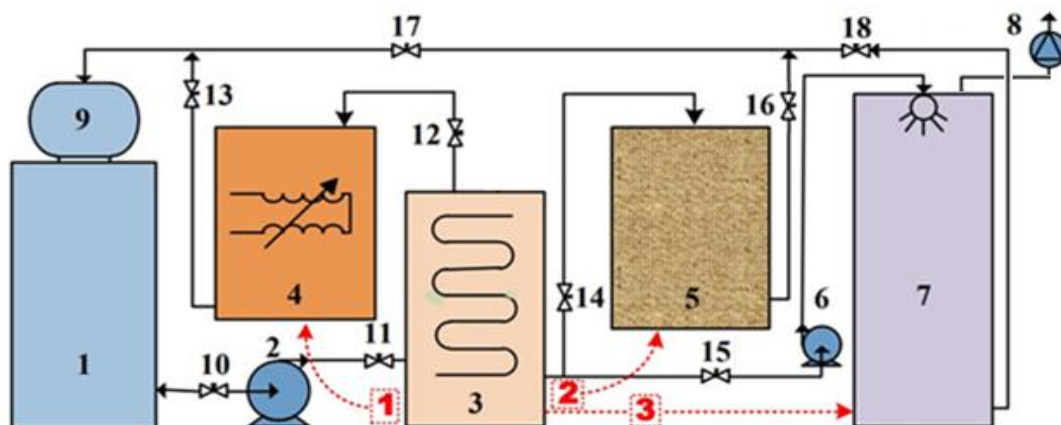


Рис.4. Усовершенствованная технологическая схема процессов очистки трансформаторного масла: 1 - силовой трансформатор; 2 - масляный насос для циркуляции; 3 - маслонагреватель; 4 - электромагнитный фильтр; 5 - фильтр; 6 - масляный насос; 7 - вакуумная установка; 8 - вакуумный насос; 9 - расширительный бак трансформатора; 10...18 - вентили

Первый этап. Этот этап заключается в циркуляционном пропуске трансформаторного масла через нагреватель и электромагнитный фильтр. Цикл при этом выполняется в следующем порядке: (1) очищаемое масло в трансформаторе проходит через вентиль (10) через масляный насос (2), и через вентиль (11) масло, прошедшее через нагреватель (4), через вентиль (12)

подается в устройство электромагнитного фильтра (4). Масло (4) очищается с помощью электромагнитного фильтра и через вентиль (13) переливается в расширительный бак (9) трансформатора, а затем обратно в сам трансформатор (1).

В этом процессе вентили (10), (11), (12) и (13) находятся в открытом состоянии, а вентили (14), (15) и (17) - в закрытом. На начальном этапе трансформаторное масло очищается от механических примесей, заряжаемых с помощью нагревателя и электромагнитного фильтра.

Второй этап. Этот этап заключается в циркуляционном пропуске трансформаторного масла через нагреватель и фильтр, цикл выполняется в следующем порядке: (1) очищаемое масло в трансформаторе протекает через вентиль (10) с помощью насоса (2), затем через вентиль (11) через нагреватель (3), через вентиль (15) подается на фильтр (5). Масло очищается фильтром (5) и стекает из вентилей (20) в расширительный бак (9) трансформатора, а затем обратно в трансформатор (1). В этом процессе вентили (10), (11), (14), (16) и (17) находятся в открытом состоянии, а вентили (12), (13), (15) и (18) – в закрытом. На средней стадии трансформаторное масло очищается от незаряжающихся механических примесей с помощью фильтра.

Третий этап. Этот этап состоит из циркуляционного пропускания трансформаторного масла через нагреватель и вакуум. Цикл циркуляции при этом выполняется в следующем порядке: (1) очищаемое масло в трансформаторе проходит через вентиль (10) насосом (2), через вентиль (11) через нагреватель (3), затем через вентиль (15) подается в вакуумную установку (7). Масло (7) очищается с помощью вакуумного оборудования, проходит через вентиль (18) и переливается в расширительный бак (9) трансформатора, а затем обратно в трансформатор (1). Водные смеси откачиваются с помощью вакуумного насоса (8). В этом процессе вентили (10), (11), (15) и (18) находятся в открытом состоянии, а вентили (12), (13), (14) и (16) - в закрытом. На последнем этапе трансформаторное масло очищается от водных примесей с помощью вакуумного оборудования.

По результатам исследования усовершенствована технология процессов очистки масел трансформаторов, используемых в железнодорожных тяговых системах, с учетом процессов очистки от заряженных механических примесей с помощью электрического поля, от незаряженных механических примесей с помощью фильтра и от водных примесей с помощью вакуума.

В III главе диссертации **«Проведение экспериментальных исследований по очистке трансформаторных масел, используемых в железнодорожных тяговых электрических сетях, на основе усовершенствованной технологии»** проведены экспериментальные исследования. Для проведения экспериментальных исследований на основе усовершенствованной технологии разработано устройство, позволяющее очищать трансформаторные масла от различных примесей в последовательности «масляный насос - электронагреватель - электромагнитный фильтр - фильтр - вакуумное оборудование». С помощью данного устройства были проведены экспериментальные исследования по очистке трансформаторного масла марки

Т-1500, используемого в трансформаторах типа ТМ-25/10 (6) /0,4 и ТМЖ-25/27,5/0,4 используемых на предприятии Кокандского дистанционного филиала электроснабжения АО «Темирйўлинфратузилма» (рис.5).

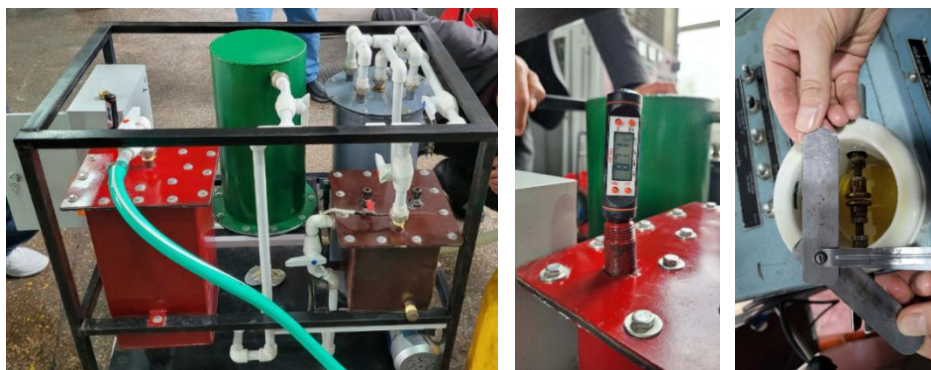


Рис.5. Процесс проведения экспериментальных исследований с использованием мобильного устройства

Образцы трансформаторного масла до и после очистки были отобраны и подвергнуты лабораторным исследованиям по 8 показателям (электрическая прочность, кинематическая вязкость, содержание механических примесей, содержание воды, кислотное число, температура вспышки, плотность и диэлектрические потери) (рис. 6 и 7).

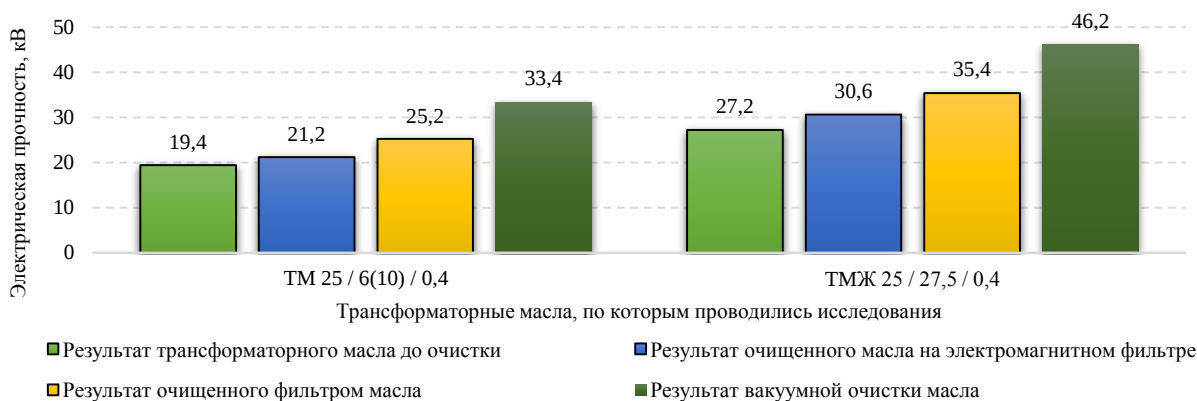


Рис.6. Результаты определения электрической прочности трансформаторного масла на каждом этапе до и после очистки

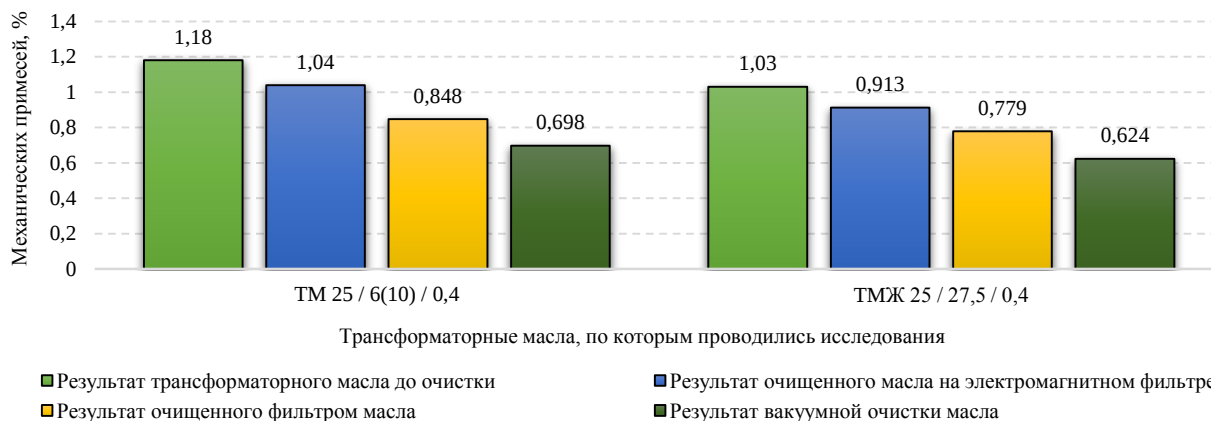


Рис.7. Результаты трансформаторного масла по содержанию механических примесей на каждом этапе до и после очистки

По результатам лабораторных исследований состояния перед очисткой установлено, что два типа трансформаторных масел непригодны к эксплуатации.

С помощью мобильного устройства был проведен процесс очистки трансформаторного масла типа ТМ-25/10(6)/0,4, затем был проведен процесс очистки трансформаторного масла типа ТМЖ-25/27,5/0,4. Каждое экспериментальное исследование проводилось в три этапа. После проведенных экспериментальных исследований были взяты пробы очищенных масел и повторно проверены по 8 показателям (электрическая прочность, кинематическая вязкость, количество механических примесей, содержание воды, кислотное число, температура вспышки, плотность, диэлектрические потери). По результатам проверки установлено, что трансформаторные масла типа ТМ 25/6 (10) /0,4 и ТМЖ 25/27,5/0,4 пригодны к эксплуатации после очистки с помощью мобильного устройства. После чего были сопоставлены результаты проведенных экспериментальных и теоретических исследований. В результате было установлено, что разница (адекватность) между ними составляет 5%.

В четвертой главе диссертации, озаглавленной **«Оценка технического состояния нетяговых электрических сетей железнодорожного транспорта по показателям трансформаторного масла»** получены математические выражения, описывающие взаимосвязь между параметрами трансформаторного масла, элементами трансформатора, а также техническим состоянием самого трансформатора и нетяговой электрической сети:

$$\begin{aligned} \text{показатели трансформаторного масла: } R_{korr} &= \frac{\sum_{i=1}^5 w_{Kkor(i)} * \mu_i^*(y_1)}{\sum_{i=1}^5 \mu_i^*(y_1)}; \\ \text{элементы трансформатора: } Y_{tr.elem.} &= \frac{\sum_{i=1}^{125} w_{tr.elem(i)} * \mu_i^*(y_{tr.elem.})}{\sum_{i=1}^{125} \mu_i^*(y_{tr.elem.})}; \\ \text{техническое состояние трансформатора: } R_{tr} &= \frac{\sum_{i=1}^{625} w_{tr(i)} * \mu_i^*(y_{tr.})}{\sum_{i=1}^{625} \mu_i^*(y_{tr.})}; \\ \text{нетяговых электрическая сеть: } R_{n.tor.} &= \frac{\sum_{i=1}^{625} w_{not.(i)} * \mu_i^*(y_{not.})}{\sum_{i=1}^{625} \mu_i^*(y_{not.})}. \end{aligned}$$

Алгоритм функционирует следующим образом: на начальном этапе для определения значения технического состояния вводятся восемь основных диагностических параметров трансформаторного масла, после чего осуществляется процесс фаззификации (нечеткой интерпретации). На этом этапе точные данные преобразуются в нечеткие с использованием функций принадлежности типов π , L и γ . Далее устанавливаются логические взаимосвязи между входными и выходными переменными на основе правил типа «Если – то» (If – then), при этом для каждого правила определяется соответствующая степень активности. На завершающем этапе выполняется процедура дефаззификации (преобразование в четкое значение). При этом используется метод центра тяжести (centroid method), что позволяет на основе нечетких результатов получить конкретное значение технического состояния.

Алгоритм определения значения технического состояния железнодорожных нетяговых электрических систем разработан с учетом

показателей электрической прочности, кинематической вязкости, механических примесей, содержания воды, кислотного числа, температуры вспышки, плотности и диэлектрических потерь трансформаторного масла (рис. 8).

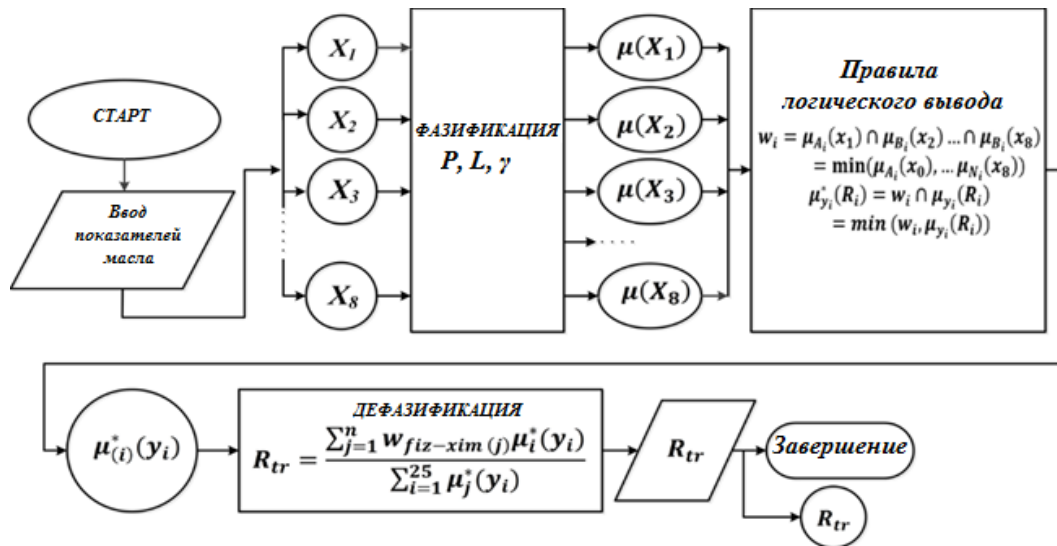


Рис.8. Алгоритм определения значения технического состояния нетяговых электрических сетей

Разработанный метод оценки технического состояния нетяговых электрических сетей был усовершенствован за счёт применения пяти критериев на каждом этапе последовательности «трансформаторное масло – основные элементы трансформатора – трансформатор – нетяговая электрическая сеть».

На основе вышеуказанных значений был создан алгоритм, обеспечивающий возможность оценки технического состояния нетяговых электрических сетей по пяти уровням: очень плохое, плохое, среднее, хорошее и отличное (рис. 9).

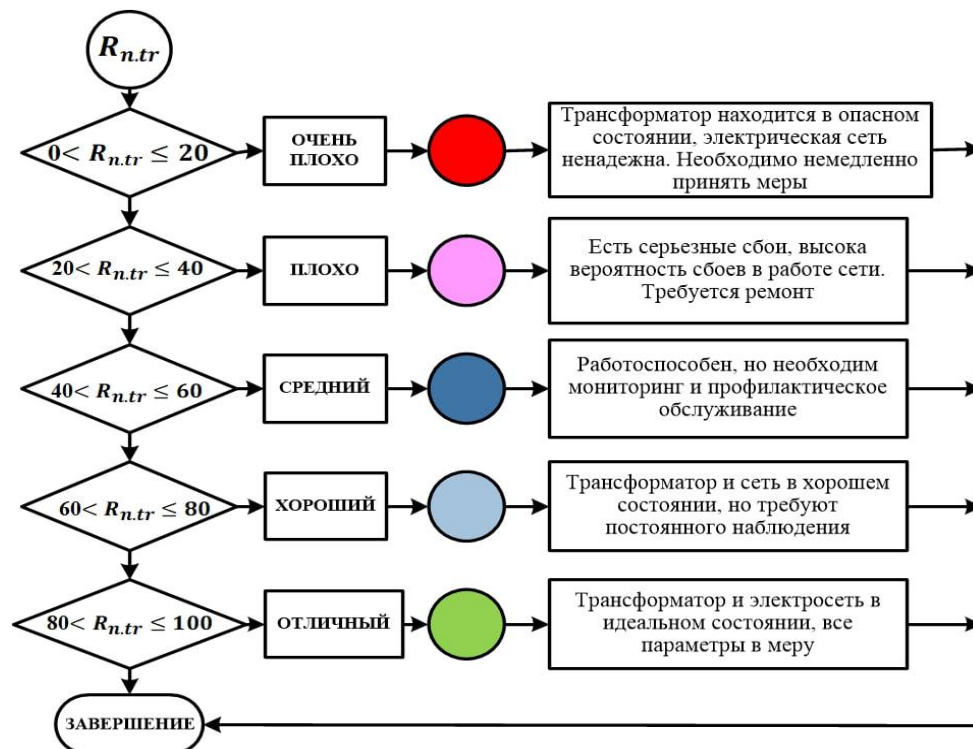


Рис.9. Алгоритм, представляющий последовательность процессов выдачи рекомендаций по техническому обслуживанию трансформаторов

В процессе оценки технического состояния нетяговых электрических сетей железнодорожного транспорта по показателям трансформаторного масла была применена нечеткая логическая (fuzzy logic) методология. При этом взаимосвязь между входными и выходными параметрами определялась на основе правил типа «Если – то» (If – then).

Имитационная модель, обеспечивающая комплексную оценку технического состояния нетяговых электрических сетей железнодорожного транспорта, была разработана на основе функций принадлежности классов π , L и γ в рамках нечеткой логики. При создании модели использовались программные средства MATLAB, в частности инструментарий Fuzzy Logic Toolbox и среда моделирования Simulink (рисунки 9, 10, 11 и 12).

Механизм оценки был реализован путем определения соответствующих функций принадлежности входных (рис.10) и выходных (рис.11) переменных, а также разработки нечетких правил между ними. База правил определения технического состояния нетяговых электрических сетей железнодорожного транспорта представлена на рис.12, что позволяет оценить общие технические показатели данной системы.

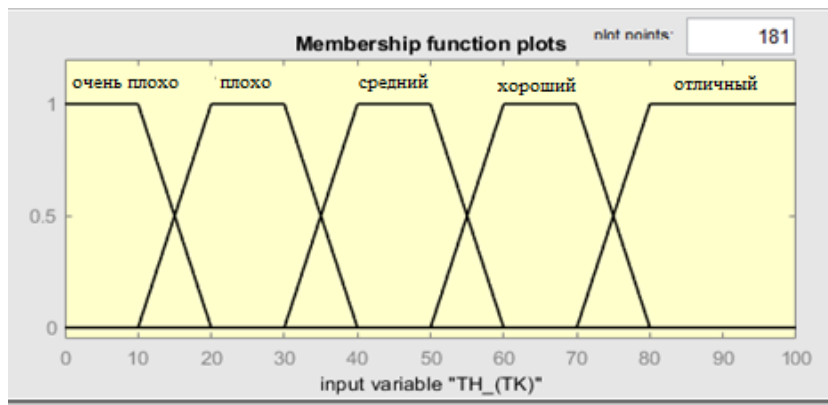


Рис.10. Функция принадлежности входного параметра «Электрическая прочность».

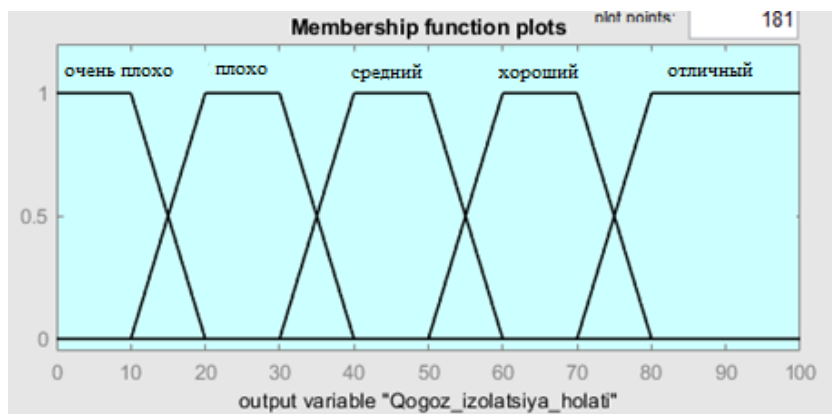


Рис.11. Функция принадлежности выходного параметра «Бумажная изоляция»

В связи с большим количеством входных переменных и тем, что каждая из них имеет пятизначное значение, при определении общего технического состояния соблюдался принцип минимизации. При этом окончательная оценка определялась в зависимости от наименьшего значения входных параметров.

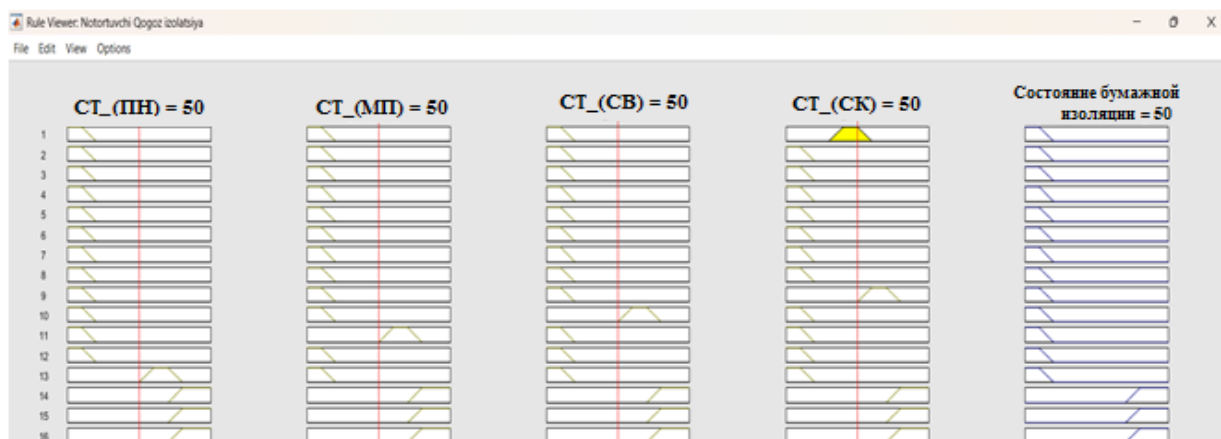


Рис.12. База правил «Оценка общего технического состояния бумажной изоляции» с использованием нечеткой логики

На основе набора правил, созданных в окне Fuzzy Logic среды MATLAB, была разработана имитационная модель, определяющая техническое состояние нетяговых электрических сетей железнодорожного транспорта по показателям трансформаторного масла (рис.13).

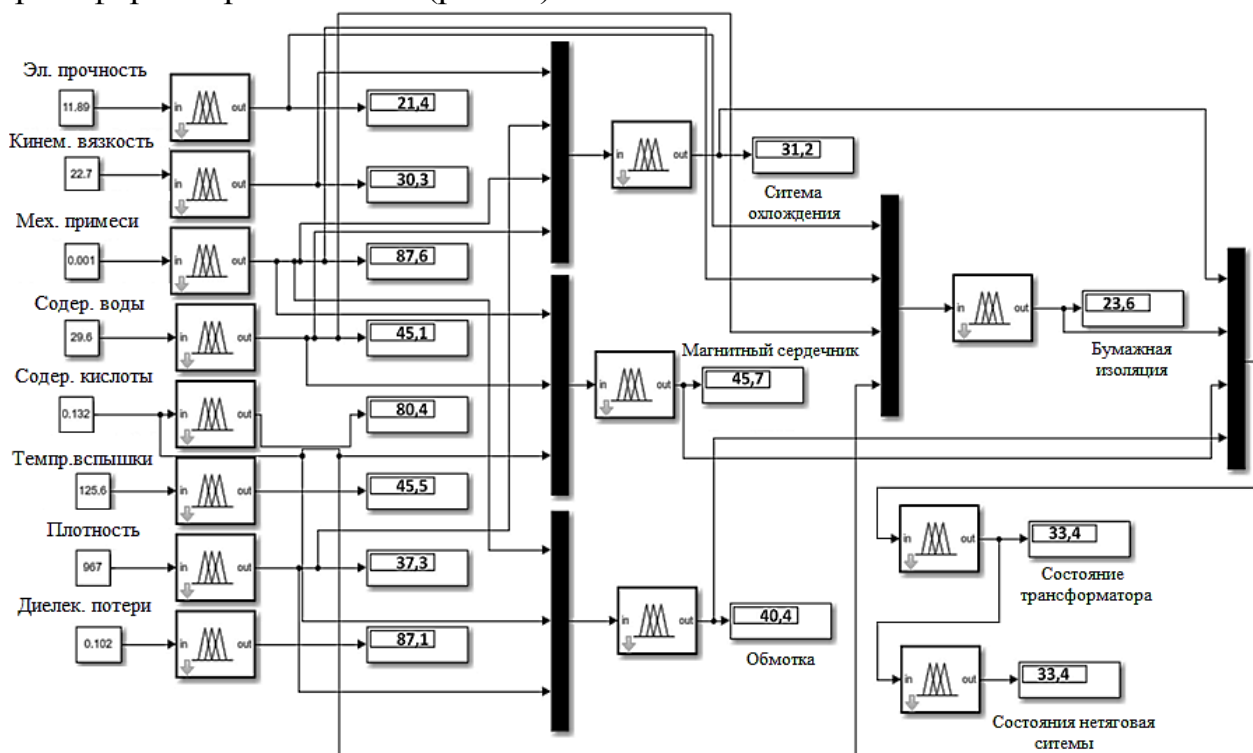


Рис.13. Имитационная модель, позволяющая определить значение технического состояния нетяговых электрических сетей

Данная имитационная модель математически воспроизводит работу элементов нетяговой электрической сети, позволяет оценивать их техническое состояние, определять риск возникновения неисправностей на основе реальных данных, а также планировать техническое обслуживание.

Разработаны математические и имитационные модели, позволяющие определить значение технического состояния железнодорожных нетяговых электрических сетей с использованием классов принадлежности π , L , γ нечеткой логики с учетом основных показателей трансформаторного масла.

В результате проведенных выше исследований усовершенствован метод, позволяющий оценить техническое состояние железнодорожных нетяговых систем за счет применения 5 критериев (очень плохое, плохое, среднее, хорошее и отличное) на каждом этапе последовательности «трансформаторное масло - основные и дополнительные элементы трансформатора - трансформатор - неотяговая электрическая сеть».

На основе результатов научных исследований технология очистки масел трансформаторов, используемых в нетяговых электрических сетях железнодорожного транспорта, внедрена на предприятии Кокандского дистанционного филиала электроснабжения АО «Темирйўлинфратузилма». В результате за счет очистки масел 159 силовых трансформаторов типа ТМ - 25/10(6)/0,4 и 28 силовых трансформаторов типа ТМЖ - 25/27,5/0,4 на предприятии достигнута годовая экономическая эффективность в размере 257 404 500 сумов.

Заключение

На основе результатов проведенных исследований по диссертационной работе доктора философии (PhD) по техническим наукам на тему «Совершенствование технологии очистки масел трансформаторов, используемых в нетяговых электрических сетях железнодорожного транспорта» представлены следующие выводы:

1. Проведены исследования по технологии процессов очистки трансформаторных масел. В результате усовершенствована технология процессов очистки масел трансформаторов, используемых в железнодорожных нетяговых электрических сетях, с учетом процессов очистки от заряженных механических примесей с помощью электрического поля, незаряженных механических примесей с помощью фильтра и водных примесей с помощью вакуума.

2. Исследования проводились с использованием классов принадлежности π , L , γ нечеткой логики. В результате разработаны математические и имитационные модели, позволяющие определить значение технического состояния железнодорожных нетяговых электрических сетей с учетом электрической прочности, кинематической вязкости, механических примесей, содержания воды, кислотного числа, температуры вспышки, плотности и диэлектрических потерь.

3. Были проведены исследования с учётом основных показателей масла, оцениваемых по пяти лингвистическим критериям. В результате был разработан алгоритм, описывающий последовательность процессов выдачи рекомендаций по техническому обслуживанию трансформаторов, используемых в нетяговых электрических сетях железных дорог.

4. Проведены исследования по применению пяти критериев («очень плохо», «плохо», «средне», «хорошо», «отлично») на каждом этапе последовательности: основные показатели трансформаторного масла – основные и вспомогательные элементы трансформатора – трансформатор – нетяговая электрическая сеть. В

результате усовершенствован метод, позволяющий оценивать техническое состояние нетяговых электрических сетей железных дорог.

5. Сопоставлены результаты экспериментальных и теоретических исследований. В результате было установлено, что разница (адекватность) между ними составляет в среднем 5%.

6. Усовершенствованная технология очистки масел трансформаторов, используемых в нетяговых электрических сетях железнодорожного транспорта, и метод оценки технического состояния внедрены на предприятии Кокандского дистанционного филиала электроснабжения АО «Темирйўлинфратузилма». В результате общая экономическая эффективность за счет очистки масел 159 силовых трансформаторов типа ТМ - 25/10 (6) / 0,4 и 28 силовых трансформаторов типа ТМЈ - 25/27,5/0,4 на предприятии составила 257 404 500 сумов.

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

TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY

AVAZOV BOBOMUROD KURBONOVICH

**IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGY FOR CLEANING
TRANSFORMER OILS USED IN NON-TRACTION ELECTRICAL
NETWORKS OF RAILWAY TRANSPORT**

05.08.05 - Rolling - stock of railways, traction of trains and use electric power

**ABSTRACT OF DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD) DISSERTATION IN TECHNICAL
SCIENCES**

Tashkent - 2025

The topic of the Doctor of Philosophy (PhD) dissertation in technical sciences is registered with the Higher Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under number B2023.3.PhD/T3999.

The dissertation was prepared in Tashkent State Transport University.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website <http://tstu.uz> and at informational and educational portal “Ziyonet” at address www.ziyonet.uz.

Scientific supervisor:

Yusupov Dilmurod Turdalievich

doctor of philosophy in technical sciences (PhD),
senior researcher

Official opponents:

Pirmatov Nurali Berdiyovich

doctor of technical sciences, professor

Bayanov Ildar Nazipovich

doctor of philosophy in technical sciences (PhD),
dotted

Leading organization:

Fergana State Technical University

The defense will be take place at __ on «__» august 2025 at the meeting of scientific council DSc.15/31.08.2022.T.73.07. Tashkent state transport university. (Address: 100167, Tashkent, str. Temiryulchilar-1, phone: (998 71) 299-00-01; fax: (99871) 293-57-54; e-mail: rektorat@tstu.uz.)

The doctoral (PhD) dissertation can be reviewed at the Information-resource Centre of the Tashkent state transport university (Registered number №.____). (Address: 100167, Tashkent, str. Temiryulchilar-1, phone: (99871) 299-00-01; fax: (99871)293-57-54; e-mail: rektorat@tstu.uz.)

Abstract of the dissertation was distributed on “__” ____ 2025 year.
(mailing report № ____ on “____” ____ 2025 year).

R.V. Rahimov

Chairman of the Scientific council
for awarding academic 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 the dissertation for the degree PhD)

The purpose of the research is to improve the technology for cleaning transformer oils used in non-traction electrical networks of railway transport.

Research objectives:

improvement of the technology of processes for cleaning transformer oils of non-traction railway consumers;

development of mathematical and simulation models that allow determining the value of the technical condition of non-tight electrical networks;

development of an algorithm that provides recommendations for the technical maintenance of transformers of non-traction railway consumers;

improvement of a method that allows assessing the technical condition of non-traction railway systems.

The subject of the research is the processes of oil purification of transformers used in non-traction electrical networks of railway transport.

The scientific novelty of the research of following:

the technology for cleaning transformer oils of non-traction railway consumers has been improved by applying impurity cleaning processes in a sequence of electric field, filter, and vacuum;

mathematical and simulation models have been developed that allow for the consideration of electrical strength, kinematic viscosity, mechanical impurities, water content, acid number, flash point, density, and dielectric losses of transformer oil for assessing the technical condition of non-traction railway systems;

an algorithm has been developed that represents a sequence of processes for An algorithm for providing recommendations for the maintenance of non-heavy railway consumers' transformers has been developed using five linguistic criteria.

the method that allows for assessing the technical condition of non-traction railway systems has been improved by applying 5 criteria at each stage of the sequence “main indicators of transformer oil - main and additional elements of transformer - transformer - non-traction electrical network”.

Implementation of the research results.

Based on the obtained scientific results on improving the technology for cleaning transformer oils used in non-traction electrical networks of railway transport:

The technology for cleaning transformer oils used in non-traction electrical networks of railway transport has been implemented at the Kokand Distance Power Supply Branch of JSC "Temiryo'linfratuzilma" (Certificate No. 07/2549-25 dated July 2, 2025, issued by JSC "Uzbekistan Railways"). As a result, the total economic efficiency from cleaning the oils of 159 TM-25/10 (6) /0,4 type power transformers and 28 TMJ-25/27,5/0,4 type power transformers at the enterprise amounted to 257 404 500 soums.

the improved method for assessing the technical condition of non-traction railway electrical networks has been implemented at the Kokand Distance Power Supply Branch of JSC "Temiryo'linfratuzilma" (Certificate No. 07/2549-25 dated July 2, 2025, issued by JSC "Uzbekistan Railways"). As a result, it is possible to apply

5 criteria at each stage of the sequence "transformer oil - main elements of the transformer - transformer - non-tensioned electrical network".

The publication of the results of th study. A total of 20 scientific works have been published on the topic of the dissertation, including 7 articles in scientific publications recommended by the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for the publication of the main scientific results of dissertations (3 foreign and 4 domestic) and 3 certificates for computer software have been obtained.

The structure and volume of the research work.

The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references, and appendices. The volume of the dissertation is 120 pages.

E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS
I bo'lim (I часть; I part)

1. Avazov B.K. The importance of using the vacuum method in regenerating used transformer oils / D.T. Yusupov, A.B. Muminov, O.M. Kutbidinov, B.K. Avazov // Journal of Engineering and Technology (JET). - 2023. Applied Vol. 13 Issue 1. - P. 197 - 200 (2023 ISSN (P): 2250 - 2394; ISSN (E)) (05.00.00: №31)
2. Avazov B.K. Influence of various mechanical impurities in transformer oils on electric and magnetic fields / D.T.Yusupov, B.K. Avazov // Scientific and Technical Journal of NamIET. - 2024. - Vol. 9 Issue 1. - P. 216 - 222. (02.00.00: №18)
3. Avazov B.K. Transformator moyini turli mexanik aralshmalardan o'zgarmas elektr maydon yordamida tozalash jarayonlarining struktura sxemasi / D.T.Yusupov, B.K. Avazov, M.Sh. Muhammadjonov, X.A. Xamraqulova // Farg'ona politexnika instituti ilmiy - texnika jurnali. - 2021. - № 6 (28). - B. 72 - 77. (02.00.00: №17)
4. Avazov B.K. Kuch transformator moyini tozalashning samarali usullari / B.K. Avazov, S.B. Nuriddinov, K.T. Qarshiy ev, D.M. Yo'ldosheva // "Transport vositalari va yo'llar" ilmiy-texnik jurnali. - 2022. - №4. - B. 12 - 17. (05.00.00; № 11).
5. Avazov B.K. Temir yo'l elektr tarmog'idagi kuch transformatorlarida kuzatiladigan nosozliklar va ularni bartaraf etish yo'llari / D.T.Yusupov, B.K. Avazov // "Transport vositalari va yo'llar" ilmiy - texnik jurnali. - 2022. - №3. - B. 146 - 152. (05.00.00; № 11).
6. Avazov B.K. Cleaning of transformer oils using the electric field / D.T. Yusupov, B.K. Avazov, O.M. Kutbidinov, M. Bazarov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2023. - Vol. 1231. - 012024. - P. 1 - 8 (DOI: 10.1088/1755-1315/1231/1/ 012024) (Scops IF = 2,9).

II bo'lim (II часть; II part)

7. Avazov B.K. Cleaning of used transformer oil / B.K. Avazov, D.T. Yusupov // Journal NX-A Multidisciplinary Peer Reviewed Journal. - 2021. -№1 - P. 719-724.
8. Avazov B.K. The importance of power transformers in the railway electrical network and the improvement of operational characteristics through oil cleaning / D.T.Yusupov, B.K. Avazov // Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences. - 2023. - №3 (3). - P. 853 - 857 ((E) ISSN: 2181-1784).
9. Авазов Б.К. Очистка трансформаторного масла после эксплуатации / Б.К. Авазов // Материалы: «66-я Международная научная конференция Астраханского государственного технического университета». - А.: АГТУ, 2022. - С. 437 - 441.
10. Авазов Б.К. Значение силовых трансформаторов при подаче электрической энергии в железнодорожную электрическую сеть и автоматические электрические устройства / Д.Т. Юсупов, Б.К. Авазов // Материалы III республиканской научно-технической конференции

«Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте». - М.: БНТУ, 2022. – С. 437 - 441.

11. Авазов Б.К. Очистка трансформаторного масла и улучшение эксплуатационных характеристик / Д.Т. Юсупов, Б.К. Авазов // Материалы Вторая международная научно - технической конференции: «Железнодорожный подвижной состав: проблемы, решения, перспективы». Т.: ТГТрУ, 2023. - С. 545 - 551.

12. Avazov B.K. “Moy - transformator - notortuvchi elektr tarmog‘i” tizimini tadqiq qilish va baholash / B.K. Avazov, U.A. Rajabov // V xalqaro ilmiy -texnik anjuman to‘plami: “Innovatsion yechimlar: qishloq xo‘jaligi va oziq - ovqat sanoatida barqaror rivojlanish”. –Т.: TDTU, 2025. - В. 511 - 513.

13. Авазов Б.К. Механические примеси – как основной фактор, влияющий на эксплуатационные характеристики масел силовых тяговых трансформаторов / Д.Т. Юсупов, Б.К. Авазов, О.М. Кутбидинов // Материалы V (XX) Всероссийской научно-технической конференции: “Молодая мысль – развитию энергетики”. - Б.: БГУ, 2020. - С. 143 - 146.

14. Авазов Б.К. Очистка отработанных трансформаторных масел с использованием цеолита и силикагеля / Д.Т. Юсупов, Б.К. Авазов // III Всероссийская (с международным участием) молодежная научно - практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ». - К.: КузГТУ, 2020. - С. 244 - 248.

15. Авазов Б.К. Ишлатилиб бўлган трансформатор мойларини эксплуатация жойида тозалаш имкониятлари / Д.Т. Юсупов, Б.К. Авазов // “Фан ва таълимни ривожлантиришда ёшларнинг ўрни” мавзусидаги республика илмий ва илмий - техник анжумани. - Т.: ФА, 2020. - Б. 90 - 92.

16. Avazov B.K. Transformator moylarini tozalashning samarali usullari / D.T.Yusupov, B.K. Avazov, S.B. Nuruddinov // “Yosh ilmiy tadqiqotchi” xalqaro ilmiy-amaliy anjumani. Т.: TDTrU, 2022. - В. 839 - 842.

17. Avazov B.K. Kuch transformatorlarining temir yo‘l elektr tarmog‘idagi ahamiyati / B.K. Avazov, F.F. Hasanov // “Transportda resurs tejamkor texnologiyalar” xalqaro ilmiy - texnika anjumani. Т.: TDTrU, 2022. - В. 101 - 103.

18. DGU (UZ) № DGU 27761. Transformator moyi haroratini elektr mustahkamligi orqali hisoblash / D.T. Yusupov, B.K. Avazov, O.M. Kutbidinov // 29.09.2023y.

19. DGU (UZ) № DGU 28341. Kuch transformatorlari texnik holatini moyining ekspluatatsion ko‘rsatkichlariorqali baholash / D.T. Yusupov, B.K. Avazov, O.M. Kutbidinov // 26.10.2023 y.

20. DGU (UZ) №DGU50429. Notortuvchi elektr tarmoqning texnik holatini transformator moyi orqali baholash / D.T. Yusupov, B.K. Avazov, O.M. Kutbidinov // 06.05.2025 y.

Avtoreferat “TDTrU xabarnomasi” ilmiy-amaliy jurnali taxririya-tida taxrirdan o‘tkazildi va matnlarni mosligi tekshirildi

Qo‘oz bichimi 84/60-1/16. Rizograf bosma usuli Times New Roman garniturasida.
Shartli bosma tabog‘i 3 b.t. Adadi: 30 nusxa. Buyurtma №____.
Nashrga ruxsat etildi: _____.2025 y.

Toshkent davlat transport universiteti bosmaxonasida chop etilgan.
Bosmaxona manzili: 100167, Toshkent shahar, Temiryo‘lchilar ko‘chasi, 1-uy.

