

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI FANLAR AKADEMIYASI
ENERGETIKA MUAMMOLARI INSTITUTI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.02/30.12.2021.T.143.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

**FARG‘ONA POLITEKNIKA INSTITUTI
O‘zR FA ENERGETIKA MUAMMOLARI INSTITUTI**

MUXAMMADJONOV MUXAMMADYUSUF SHUXRAT O‘G‘LI

**EKSPLUATATSIYADAGI MOYLI KUCH
TRANSFORMATORLARINING SOVITISH TIZIMINI
TAKOMILLASHTIRISH ORQALI ISHONCHLILIGINI OSHIRISH**

05.05.01 – Energetika tizimlari va majmualari

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

Toshkent – 2024

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi

Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)

Content of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)

Muxammadjonov Muxammadyusuf Shuxrat o‘g‘li

Ekspluatatsiyadagi moyli kuch transformatorlarining sovitish tizimini takomillashtirish orqali ishonchliligini oshirish..... 3

Мухаммаджонов Мухаммадюсуф Шухрат угли

Повышение надежности эксплуатируемых силовых масляных трансформаторов путём усовершенствования системы охлаждения..... 21

Muxammadjonov Muxammadyusuf Shuxrat ugli

Improving the reliability of operated power oil transformers by improving the cooling system 39

E‘lon qilingan ishlar ro‘uxati

Список опубликованных работ

List of published works..... 43

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI FANLAR AKADEMIYASI
ENERGETIKA MUAMMOLARI INSTITUTI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.02/30.12.2021.T.143.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

**FARG‘ONA POLITEKNIKA INSTITUTI
O‘zR FA ENERGETIKA MUAMMOLARI INSTITUTI**

MUXAMMADJONOV MUXAMMADYUSUF SHUXRAT O‘G‘LI

**EKSPLUATATSIYADAGI MOYLI KUCH
TRANSFORMATORLARINING SOVITISH TIZIMINI
TAKOMILLASHTIRISH ORQALI ISHONCHLILIGINI OSHIRISH**

05.05.01 – Energetika tizimlari va majmualari

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

Toshkent – 2024

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasining mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2022.4.PHD/T3322 raqami bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Farg'ona politexnika instituti va O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Energetika muammolari institutida bajarilgan.

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

Ilmiy rahbar: Yusupov Dilmurod Turdaliyevich
texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, katta ilmiy xodim

Rasmiy opponyentlar: Xamidov Shuxrat Vaxidovich
texnika fanlari doktori, professor

Hoshimov Ural Hoshimovich
texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori

Yetakchi tashkilot: Qarshi muhandislik-iqtisodiyot instituti

Dissertatsiya himoyasi O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Energetika muammolari institutida huzuridagi DSc.02/30.12.2021.T.143.01 raqamli Ilmiy kengashning 2024 yil "11" dekabr soat 10⁰⁰ dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100164, Toshkent shahri, Do'rmon yo'li ko'chasi, 40. Tel.: (99897) 480-28-07; e-mail: energetika_in@mail.uz).

Dissertatsiya bilan O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Energetika muammolari institutining Axborot – resurs markazida tanishish mumkin (12 raqam bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100164, Toshkent shahri, Do'rmon yo'li ko'chasi, 40. Tel.: (99897) 480-28-07).

Dissertatsiya avtoreferati 2024 yil "28" noyabr kuni tarqatildi.
(2024 yil "27" noyabr dagi 12 raqamli reyestr bayonnomasi)



[Handwritten signature]

X.M. Muratov

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash raisi,
texnika fanlari doktori, professor

[Handwritten signature]

J.N. Tolipov

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash ilmiy
kotibi, texnika fanlari bo'yicha falsafa
doktori (PhD), katta ilmiy xodim

[Handwritten signature]

O.X. Ishnazarov

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash
qoshidagi ilmiy seminar raisi, texnika fanlari
doktori, professor

KIRISH (Falsafa doktori (PhD) dissertatsiya annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda iqtisodiyot tarmoqlarining rivojlanib borishi, yangi sanoat korxonalarining paydo bo'lishi, aholini elektr energiyasiga bo'lgan talabning ortib borayotganligi hamda elektr energiyasining uzluksizligini ta'minlashga bo'lgan talabning eng yuqori darajaga ko'tarilishi natijasida energetik uskunalarning ishlash ishonchligini oshirish masalalariga alohida ahamiyat berilmoqda. Hozirgi kunda "jahon miqyosida ekspluatatsiyadagi kuch transformatorlarining jami to'la quvvati 10000 GVA dan ortiqni tashkil etmoqda"¹. Ushbu yuqori quvvatli majmuaning ekspluatatsion ishonchligi ulardagi sovitish tizimlarining ishonchligiga bog'liq. Kuch transformatorlari energetika tizimining eng muhim elementlaridan bo'lib, ularning ishlamay qolishi texnik muammolar va iqtisodiy xarajatlarga olib keladi. Xususan, transformatorlarni ishdan chiqishiga sabab bo'luvchi omillardan biri ularda kechuvchi issiqlik jarayonlari bo'lib, uskunalarning mavjud sovitish tizimlarini takomillashtirish va ekspluatatsiya ko'rsatkichlarini baholash orqali transformatorlarning ishonchligini oshirishga katta e'tibor qaratilmoqda.

Jahonda energetika tizimlarida kuch transformatorlarini haroratga bog'liq bo'lgan holatlarini aniqlash va ularni kamaytirish usullari, ekspluatatsiyadagi kuch transformatorlarining ishlash muddatini uzaytirish hamda ishonchligini oshirish, moyli kuch transformatorlarining to'xtovsiz ishlashi uchun o'z vaqtida texnik xizmat ko'rsatish, shu bilan birga kuch transformatorlarining sovitish tizimlaridagi muammolarni aniqlash va ularni bartaraf etish, sovitish yuzalarini oshirish va moy aylanishini jadallashtirish uchun qo'llaniladigan radiatorlarni takomillashtirish, transformator moyining texnik va izolyatsiya holatini baholash, transformatorlarda kuzatilayotgan nuqsonlarni erta aniqlash masalalariga qaratilgan bir qator tadqiqotlar olib borilmoqda. Ushbu yo'nalishda, jumladan, moyli kuch transformatorlarini ishlash muddatiga ta'sir etuvchi omillarni aniqlash, hosil bo'luvchi qizish jarayonlarini oldini olish, yuqori samarali qo'shimcha sovitish qurilmalarining konstruksiyalarini takomillashtirish hamda issiqlikni kamaytirish orqali transformatorlarning ishlash ishonchligini oshirish dolzarb masalalardan hisoblanadi.

Respublikamizda olib borilayotgan islohotlar natijasida ko'plab katta-kichik ob'yektlarning barpo etilishi, aholini elektr qurilmalaridan foydalanishga bo'lgan ehtiyojining ortib borishi hamda iqlim o'zgarishlari natijasida havo haroratining ko'tarilishi elektr energiyasini taqsimlash tizimining asosi hisoblangan transformatorlarda yuklamaning me'yoridan ortishiga va ishlash ishonchligining kamayishiga olib kelmoqda, ushbu muammolarni bartaraf etish bo'yicha keng qamrovli chora-tadbirlar amalga oshirilib, muayyan natijalarga erishilmoqda. 2022-2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasida, jumladan "Iqtisodiyotni elektr energiyasi bilan uzluksiz ta'minlash hamda "Yashil iqtisodiyot" texnologiyalarini barcha sohalarga faol joriy etish, iqtisodiyotning

¹ Statistical Review of World Energy, 67-th edition, June 2018.

energiya samaradorligini 20 foizga oshirish”² bo‘yicha muhim vazifalar belgilangan. Ushbu vazifalarini amalga oshirishda, jumladan, ekspluatatsiyadagi moyli kuch transformatorlarida issiqlik jarayonlari va ularni yuzaga keltiruvchi omillarni aniqlash, transformatorlarning mavjud sovitish tizimlarini o‘rganish asosida ularning sovitish sxemasini takomillashtirish va sovitish jarayonlari bo‘yicha nazariy tadqiqotlar olib borish, ekspluatatsiyadagi moyli kuch transformatorlarini qo‘shimcha sovitish imkonini beruvchi qurilmani yaratish, transformatorlarni qo‘shimcha sovitish orqali ishlash ishonchliligini baholash muhim masalalardan biri hisoblanadi.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi “2022-2026 yillarga mo‘ljallangan yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida” gi PF-60-son va 2023 yil 16 fevraldagi 57-son “Qayta tiklanuvchi energiya manbalarini va energiya tejoychi texnologiyalarni joriy etishni jadallashtirish chora tadbirlari to‘g‘risida”gi va 2023 yil 28 sentyabrdagi PF-166-son “Energetika sohasini isloh qilishning navbatdagi bosqichini amalga oshirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi Farmonlari, 2019 yil 22 avgustdagi PQ-4422 “Iqtisodiyot tarmoqlari va ijtimoiy sohaning energiya samaradorligini oshirish, energiya tejoychi texnologiyalarni joriy etish va qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirishning tezkor chora tadbirlari to‘g‘risida”gi va 2020 yil 10 iyuldagi PQ-4779 “Iqtisodiyotning energiya samaradorligini oshirish va mavjud resurslarni jalb etish orqali iqtisodiyot tarmoqlarining yoqilg‘i-energetika mahsulotlariga qaramligini kamaytirishga doir qo‘shimcha chora tadbirlar to‘g‘risida”gi Qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me‘yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi. Dissertatsiya ishi bo‘yicha tadqiqotlar respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining 2. “Energetika, energiya tejamkorlik va muqobil energiya manbalari” ustuvor yo‘nalishiga mos keladi.

Muammoni o‘rganilganlik darajasi. Energetika tizimida ekspluatatsiyada bo‘lgan moyli kuch transformatorlaridagi issiqlik jarayonlari, sovitish tizimlarini takomillashtirish va ishlash ishonchliligini oshirishga yo‘naltirilgan ilmiy izlanishlar jahonning yetakchi ilmiy markazlari va oliy ta‘lim muassasalari, jumladan Janubiy Xitoy texnologiya universiteti (Xitoy), Ilmenau texnologiya universiteti (Germaniya), Koreya elektronika muhandislari instituti (Koreya), Tula davlat universiteti (Rossiya), Moskva energetika instituti (Rossiya), Sankt-Peterburg davlat agrar universiteti (Rossiya), Tomsk politexnika universiteti (Rossiya), Ufa davlat neft texnika universiteti (Rossiya), Belarus milliy texnika universiteti (Belarussiya) va boshqa ko‘plab ilmiy maktablarda keng qamrovli ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda.

Energetika tizimining asosiy elementi hisoblangan kuch transformatorlaridagi issiqlik jarayonlarini tadqiq qilish, ularni sovitish tizimini takomillashtirish, yangi sovitish usullarini ishlab chiqish va elektr uskunalarning ishlash ishonchliligini

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

oshirishga qaratilgan muammolarni yechishda H. Zhang, Yu.N. Timonin, O.S. Dmitriyeva, A.V. Dmitriyev, H.M. Gruber, R. K chler, S. Filipic, Do-Hyeoun Cho, P.V. Kasheyev, A.A. Xismatullin, M.G. Bashirov, D.I. Zalizniy, V.S. Petrov, A.B. Svyatix, P.B. Risev, V.K. Fyodorov, V.G. Besedin, V.Z. Manusov, Ye.A. Soroka, Yu.N. Papazov, Yu.A. Klochixin va boshqa ko‘plab xorijiy olimlar katta hissa qo‘shishgan.

Respublikamizda energetika tizimining asosiy elementlari hisoblangan elektr uskunalarning ishonchliligi va samaradorligini oshirish bo‘yicha ilmiy muammolarni hal qilishda X.F. Fozilov, M.Z. Hamudxonov, R.A. Zaxidov, T.X. Nasirov, Q.R. Allayev, X.M. Muratov, A.A. Xashimov, F.A. Xoshimov, Sh.V. Xamidov, N.B. Pirmatov, O.X. Ishnazarov, O.Z. Toirov va boshqa ko‘plab olimlarimiz o‘z hissalarini qo‘shib kelmoqdalar.

Ko‘plab olib borilgan tadqiqotlar, erishilgan muvaffaqiyatlarga qaramay, ekspluatatsiyada bo‘lgan moyli kuch transformatorlarining sovitish tizimlari, ularda issiqlik jarayonlarining yuzaga kelish sabablari hamda qo‘shimcha sovitish usullari va ularni takomillashtirish orqali ishlash ishonchliligini oshirish bo‘yicha yetarlicha izlanishlar olib borilmagan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan ilmiy-tadqiqot muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog‘liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Farg‘ona politexnika instituti hamda Innovatsion rivojlantirish agentligining ilmiy g‘oyani rag‘batlantirish to‘g‘risidagi 025 – sonli shartnomasi asosida “Kuch moy transformatorlarini sovitishda quyosh energiyasidan foydalanish” mavzusi va O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Energetika muammolari institutining 2022-2025 yillarga mo‘ljallangan ilmiy - tadqiqot ishlari dasturining “Energetikani rivojlantirishning ishonchliligi va xavfsizligini ta’minlashning metodologik asoslarini ishlab chiqish” mavzusi doirasida bajarilgan.

Tadqiqot maqsadi ekspluatatsiyadagi (M (ONAN) sovitish tizimiga ega) moyli kuch transformatorlarining ishonchliligini sovitish tizimini takomillashtirish orqali oshirishdan iborat.

Tadqiqot vazifalari:

M (ONAN) sovitish tizimiga ega moyli kuch transformatorlarini qo‘shimcha sovituvchi usulni ishlab chiqish;

ekspluatatsiyadagi moyli kuch transformatorlarini qo‘shimcha sovitish orqali ularning haroratini o‘zgarish jarayonini aniqlash imkonini beruvchi matematik modelni ishlab chiqish;

ekspluatatsiyadagi moyli kuch transformatorlarini qo‘shimcha sovituvchi qurilmani ishlab chiqish, tajriba tadqiqotlarini o‘tkazish va olingan natijalarni solishtirish;

ekspluatatsiyadagi moyli kuch transformatorlari ishonchliligini qo‘shimcha sovituvchi qurilmani qo‘llash orqali baholash.

Tadqiqot obyekti sifatida M (ONAN) tabiiy havo va moy sirkulyatsiyali sovitish tizimiga ega bo‘lgan ekspluatatsiyadagi moyli kuch transformatorlari olingan.

Tadqiqot predmetini ekspluatatsiyadagi (M (ONAN) sovitish tizimiga ega) moyli kuch transformatorlarining sovitish jarayonlari tashkil etadi.

Tadqiqot usullari. Tadqiqot jarayonida energiyani saqlanish qonuni va massa saqlanish qonuni, Teylor qatori, Nyutonning sovitish qonuni, regressiya usuli, ehtimollar nazariyasi, Montzinger qoidasi, issiqlik uzatish jarayonlari, matematik statistika, eksponensial taqsimot va ishonchlilik nazariyasidan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

M (ONAN) sovitish tizimiga ega moyli kuch transformatorlarining harorati me'yorida oshganda avtomatik ravishda ishga tushish hamda sovuq havo oqimini issiq nuqtaga yo'naltirish asosida qo'shimcha sovitish imkonini beruvchi usul ishlab chiqilgan.

ekspluatatsiyadagi kuch transformatorining haroratini aniqlash imkonini beruvchi matematik model yuklama koeffitsiyenti, moy va tashqi muhit haroratlarini kiruvchi parametrlar sifatida qabul qilib, qo'shimcha sovitish jarayonini inobatga olgan holda ishlab chiqilgan;

ekspluatatsiyadagi moyli kuch transformatorlarini qo'shimcha sovitish imkonini beruvchi qurilma "transformator - harorat datchiklari - ventilyator - kompressor - xladagentli sovitish kamerasi" ketma-ketligi asosida ishlab chiqilgan;

moyli kuch transformatorlarining ishonchliligini baholash imkonini beruvchi usul qo'shimcha sovitish texnologiyasi va chulg'am izolyatsiyasining ishlash muddatini hisobga olgan holda ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari.

M (ONAN) sovitish tizimiga ega moyli kuch transformatorlarini qo'shimcha sovitish imkonini beruvchi usul ishlab chiqilgan;

qo'shimcha sovitish orqali transformator haroratining o'zgarish jarayonini aniqlash imkonini beruvchi matematik model asosida dasturiy ta'minot ishlab chiqilgan;

ekspluatatsiyadagi moyli kuch transformatorini qo'shimcha sovitish imkonini beruvchi qurilma ishlab chiqilgan;

ekspluatatsiyadagi moyli kuch transformatorlarini qo'shimcha sovitish orqali ishlash ishonchliligini va ishlash muddatini baholash uchun dasturiy ta'minotlar ishlab chiqilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqot yakunida o'z aksini topgan umumnazariy xulosalar, ilg'or matematik usullar yordamida ma'lumotlarni qayta ishlanganligi va belgilangan me'yoriy hujjatlarda ko'rsatilgan tadqiqot uslublarining qo'llanilganligi, shuningdek, nazariy va tajribaviy natijalarning o'zaro mos kelishi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.

Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati qo'shimcha sovitish orqali ekspluatatsiyadagi (M (ONAN) sovitish tizimiga ega) moyli kuch transformatorlari haroratining o'zgarishini aniqlash imkonini beruvchi tizimning matematik modeli ishlab chiqilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqotning amaliy ahamiyati ekspluatatsiyadagi (M(ONAN) sovitish tizimiga ega) moyli kuch transformatorlarini qo'shimcha sovitish imkonini beruvchi qurilmaning ishlab chiqilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Eksploatatsiyadagi moyli kuch transformatorlarining ishonchliligini oshirish bo'yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

eksploatatsiyadagi (M(ONAN) sovitish tizimiga ega) moyli kuch transformatorlarini qo'shimcha sovitish imkonini beruvchi qurilma "Quva tekstil" MChJ korxonasi joriy etilgan ("O'zbekiston savdo-sanoat palatasi"ning 2023 yil 6 iyundagi 11/03-30-6544-son ma'lumotnomasi). Natijada "Quva tekstil" MChJ korxonasi mavjud 10/0,4 kV kuchlanishli jami 10 dona (6 dona 1000 kVA quvvatli va 4 dona 1600 kVA quvvatli) moyli kuch transformatorlarini qo'shimcha sovitish orqali yiliga jami 50 746 300 so'm iqtisodiy samaradorlikka erishilgan.

eksploatatsiyadagi (M(ONAN) sovitish tizimiga ega) moyli kuch transformatorlarining ishlash ishonchliligini baholash imkonini beruvchi usul "Quva tekstil" MChJ korxonasi joriy etilgan ("O'zbekiston savdo-sanoat palatasi"ning 2023 yil 6 iyundagi 11/03-30-6544-son ma'lumotnomasi). Natijada eksploatatsiyadagi moyli kuch transformatorlarining ishlash muddati 28 908 soatdan 52 560 soatga, ya'ni o'rtacha 2 baravar oshishi aniqlangan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Tadqiqot natijalari 17 ta ilmiy-amaliy anjumanlar, shu jumladan 6 ta xalqaro va 11 ta respublika anjumanlarida aprobatsiyadan o'tgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinishi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 25 ta ilmiy ish, shu jumladan, O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarini chop etishga tavsiya etilgan ilmiy nashrlarida 5 ta ilmiy maqolalar 1 ta xorijiy va 4 ta mahalliy ilmiy jurnallarda chop etilgan va 3 ta EHM dasturi uchun guvohnoma olingan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya tarkibi kirish, to'rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 119 betni tashkil etadi.

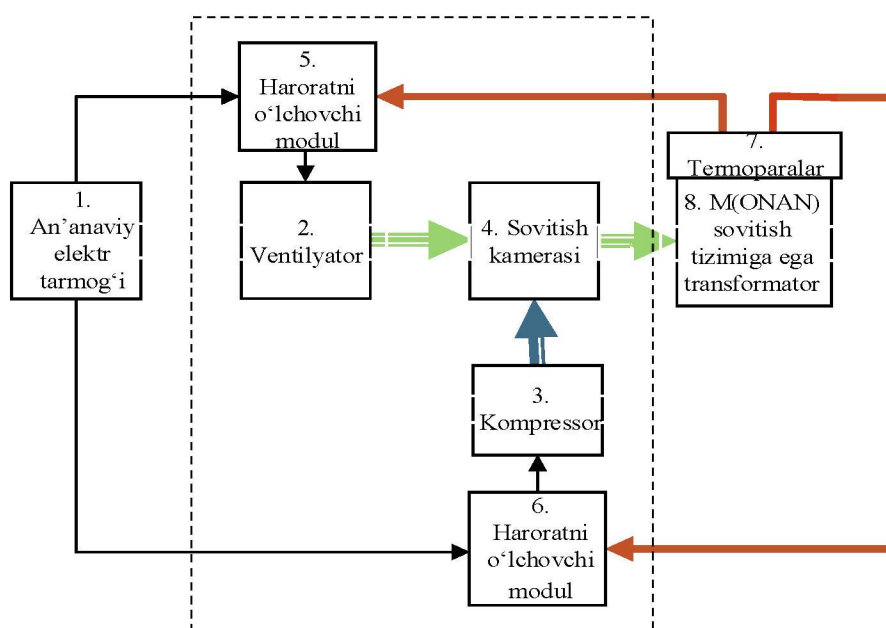
DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida tanlangan mavzuning dolzarbligi va zarurati asoslangan, tadqiqotning maqsad va vazifalari, ob'yekti 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 hamda dissertatsiyaning hajmi va tuzilishi bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning "**Eksploatatsiyada bo'lgan moyli kuch transformatorlarining zamonaviy holati**" deb nomlangan birinchi bobida moyli kuch transformatorlari va ularning texnik holatlari tahlili, moyli kuch transformatorlarining mavjud sovitish tizimlari va ularning ishlash shartlari, eksploatatsiyadagi moyli kuch transformatorlarida issiqlik jarayonlari va ularni yuzaga keltiruvchi omillar, moyli kuch transformatorlari ishonchli ishlashining

korxonada iqtisodiga ta'siri hamda moyli kuch transformatorlarining sovitish tizimini takomillashtirish bo'yicha mavjud zamonaviy usullar tahlillari keltirilgan. Eksploatatsiyadagi moyli kuch transformatorlarining mavjud sovitish tizimlari va ularning ishlash shartlari, transformatorlardagi issiqlikni yuzaga kelishiga sabab bo'luvchi omillarga bag'ishlangan ilmiy-tadqiqot ishlari tahlil qilingan. Olib borilgan tahlillar asosida dissertatsiya ishining maqsad va vazifalari shakllantirilgan.

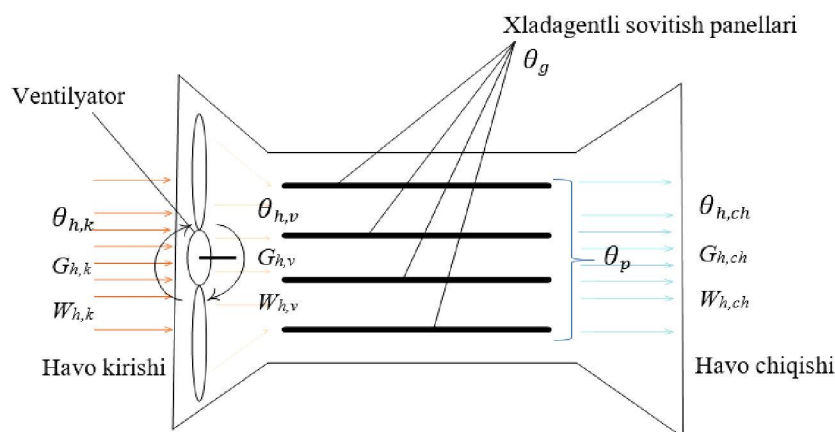
Dissertatsiyaning **“Moyli kuch transformatorlarini qo'shimcha sovitish jarayonlari bo'yicha nazariy tadqiqotlarni o'tkazish”** deb nomlangan ikkinchi bobida M(ONAN) sovitish tizimiga ega moyli kuch transformatorlarining harorati me'yoridan oshganda avtomatik ravishda ishga tushish hamda sovuq havo oqimini issiq nuqtaga yo'naltirish asosida qo'shimcha sovitish imkonini beruvchi usul ishlab chiqilgan (1-rasm).



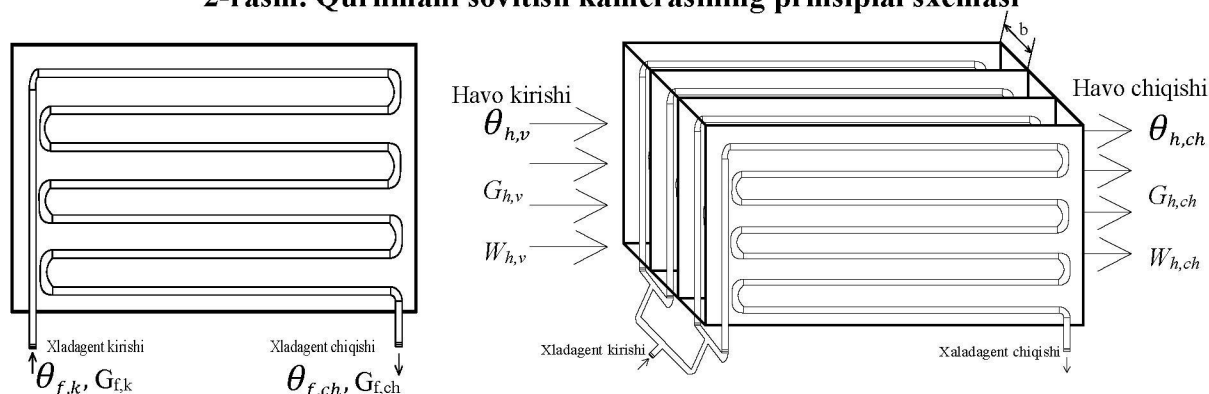
1-rasm. Eksploatatsiyadagi M(ONAN) sovitish tizimiga moyli kuch transformatorini qo'shimcha sovitish usulining funksional sxemasi: 1- an'anaviy elektr tarmog'i, 2-ventilyator, 3-kompressor, 4-xladagent kengayishi va sovuq yuzga hosil qilishi uchun muzlatgich, 5-, 6- haroratni o'lchovchi modul, 7 - haroratni o'lchovchi modullarning transformatorga o'rnatilgan termoparalari, 8- moyli kuch transformatori

- - elektr uzatish tarmog'i;
- - xladagent uzatish tarmog'i;
- - havo uzatish tarmog'i;
- - issiqlikni sezish signalini uzatish tarmog'i.

Eksploatatsiyadagi moyli kuch transformatorlarini qo'shimcha sovitish qurilmasida sovuq havo oqimini hosil qilish imkonini beruvchi sovitish kamerasining ishlash prinsipi ishlab chiqilgan (2- va 3-rasmlar).



2-rasm. Qurilmani sovitish kamerasining prinsipial sxemasi



3-rasm. Sovitish kamerasining "Xladagent-havo" moslamasi

Qurilmaga o'rnatish uchun tanlangan ventilyatorning sovitish quvvati (1) ifoda yordamida aniqlangan.

$$q_c = \rho_h c_h G_{h,v} (\theta_{h,k} - \theta_{h,v}) \quad (1)$$

bu yerda q_c – sovitish quvvati, W; $G_{h,v}$ – ventilyatoridagi havo oqimi tezligi, kg/s; $\theta_{h,v}$ – birlik chiqarish havosining harorati, °C; $\theta_{h,k}$ – kirish havosining harorati, °C; ρ_h – standart sharoitda havo zichligi = 1,2 kg/m³; c_h – havoga xos issiqlik = 1,0 kJ/(kg·K).

Qo'shimcha sovitish qurilmasi faqat ventilyatorni ishlatgan holda sovitish jarayonini amalda oshirganda qurilmadan chiquvchi havo harorati quyidagicha ifodalangan:

$$\theta_{h,v} = \theta_{h,k} - \frac{q_c}{\rho_h c_h G_{h,v}} \quad (2)$$

1. Sovitgich trubkalaridan o'tadigan xladagent uchun massa va energiya tenglamasi quyidagicha ifodalangan

$$G_{f,k} = G_{f,ch} = G_f \quad (3)$$

$$\frac{1}{2} \rho_f c_f A_f l \frac{d(\theta_{f,k} + \theta_{f,ch})}{d\tau} = G_{f,k} c_f (\theta_{f,k} - \theta_{f,ch}) + a_{gf} A_i (\theta_g - \frac{\theta_{f,k} + \theta_{f,ch}}{2}) \quad (4)$$

2. Sovitish kamerasidan o'tadigan havo uchun massa va energiya tenglamasi quyidagicha ifodalangan

$$G_{h,v} = G_{h,ch} = G_h \quad (5)$$

Quruq holat jarayoni uchun:

$$W_{h,k} = W_{h,ch} \quad (6)$$

$$\frac{1}{2} \varepsilon_h \rho_h c_h A_h e \frac{d(\theta_{h,v} + \theta_{h,ch})}{d\tau} = G_{h,k} c_h (\theta_{h,v} - \theta_{h,ch}) + a_{gh} A_o (\theta_p - \frac{\theta_{h,v} + \theta_{h,ch}}{2}) \quad (7)$$

Namlik jarayoni uchun:

$$\frac{1}{2} \varepsilon_h \rho_h c_h A_h e \frac{d(W_{h,v} + W_{h,ch})}{d\tau} = G_{h,v} (W_{h,v} - W_{h,ch}) + \lambda_m A_o (W_{gb} - \frac{W_{h,v} + W_{h,ch}}{2}) \quad (8)$$

$$\frac{1}{2} \varepsilon_h \rho_h c_h A_h e \frac{d(h_{h,v} + h_{h,ch})}{d\tau} = G_{h,v} (h_{h,v} - h_{h,ch}) + a_{gh} A_o (\theta_p - \frac{\theta_{h,v} + \theta_{h,ch}}{2}) + q_r A_o \lambda_m (W_{gb} - \frac{W_{h,v} + W_{h,ch}}{2}) \quad (9)$$

Trubkalar va sovitish panellari uchun energiya tenglamasi

Quruq holat jarayoni uchun:

$$M_g c_g \frac{d\theta_g}{d\tau} = a_{gw} A_i \left(\frac{\theta_{f,k} + \theta_{f,ch}}{2} - \theta_g \right) + a_{gh} A_o \left(\frac{\theta_{h,v} + \theta_{h,ch}}{2} - \theta_p \right) \quad (10)$$

Nam holati jarayoni uchun:

$$M_g c_g \frac{d\theta_g}{d\tau} = a_{gf} A_i \left(\frac{\theta_{f,k} + \theta_{f,ch}}{2} - \theta_g \right) + a_{gh} A_o \left(\frac{\theta_{h,v} + \theta_{h,ch}}{2} - \theta_p \right) + q_r A_o \lambda_m \left(\frac{W_{f,k} + W_{f,ch}}{2} - W_{gb} \right) \quad (11)$$

Tenglamalardagi (3) dan (11) gacha belgilar quyidagicha tavsiflanadi:

bu yerda G – havo oqimi tezligi, kg/s; c – solishtirma issiqlik massasi, J/(kg °C); A – sovuq yuza maydoni, m²; h – entalpiya, J/kg; l – sovitgich panelidagi trubkaning uzunligi, m; e – sovitgich panellarining uzunligi, m; θ – harorat, °C; W – havo namligi, kg/(kg quruq havo); M – massasi, kg; q_r – xladagent kondensatsiyasining yashirin issiqligi, J/kg; a_{gw} – xladagent tomonidagi issiqlik uzatish koeffitsiyenti, Vt/(m² °C); a_{ga} – havo tomonida issiqlik uzatish koeffitsiyenti, Vt/(m² °C); λ_m – massa uzatish koeffitsiyenti, kg/(m²/s); τ – vaqt, s; ρ – zichlik, kg/m³; ε_a – issiqlik almashtirgichdagi havo hajmiga nisbati; h – pastki belgi, havoni anglatadi; f – pastki belgi, xladagentni anglatadi; g – sovitgichning qobiq devori; k – kirish; ch – chiqish; p – sovitgich paneli; gb – sovitgichning tashqi yuzasi yaqinidagi to‘yingan havo; o – sovitgichning havo tomoni yuzasi; i – sovitgichning xladagent tomoni.

3. Parametrlarni aniqlash va chiziqli tenglamaga keltirish.

Tenglamalarda ikki xil ya’ni, asosiy va qo‘shimcha o‘zgaruvchilar ko‘rib chiqiladi: Asosiy o‘zgaruvchilarga kirish va chiqish havosining harorati va namligi ($\theta_{h,v}$, $W_{h,v}$, $\theta_{h,ch}$, $W_{h,ch}$), kirish va chiqish xladagentlarining harorati ($\theta_{f,k}$, $\theta_{f,ch}$), havo va xladagent oqimi tezligi (G_h va G_f). Ushbu o‘zgaruvchilar haroratning boshlang‘ich qiymati (θ_0) va haroratning pasayishi ($\Delta\theta$) ayirmasi sifatida ko‘rib chiqilishi mumkin:

$$\theta = \theta_0 - \Delta\theta \quad (12)$$

bu yerda θ mos ravishda $\theta_{h,v}$, $W_{h,k}$, $\theta_{h,ch}$, $W_{h,ch}$, $\theta_{f,k}$, $\theta_{f,ch}$, G_h va G_f ni bildiradi.

Shunday qilib, birlashtirilgan o‘zgaruvchilarni birinchi darajali Taylor qatoridan foydalanib chiziqli qilish mumkin:

$$\sigma = \sigma_o + \left(\frac{\partial \sigma}{\partial \theta} \right)_o \Delta\theta' \quad (13)$$

bu yerda σ mos ravishda a_{gf} , a_{gh} va λ_f ni bildiradi; $u_h(G_h)$ yoki $u_f(G_h)$ uchun θ' va o‘zgaruvchilarni oshirish uchun Δ .

Issiqlik almashinuvining samaradorligi η_s quyidagicha aniqlanadi:

$$\eta_s = \frac{(\theta_p - \frac{\theta_{h,v} + \theta_{h,ch}}{2})}{(\theta_g - \frac{\theta_{h,v} + \theta_{h,ch}}{2})} \quad (14)$$

(14) ifoda asosida θ_p ni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\theta_p = \eta_s \theta_g - (\eta_s - 1) \frac{\theta_{h,v} + \theta_{h,ch}}{2} \quad (15)$$

Qo‘shimcha sovitish qurilmasidan chiquvchi havo haroratini (15) ifoda asosida quyidagicha ifodalashimiz mumkin:

$$\theta_{h,ch} = \frac{2 \cdot (\eta_s \theta_g - \theta_p)}{\eta_s - 1} - \theta_{h,v} \quad (16)$$

Nyutonning sovitish qonuni formulasiga asosan, sovitiluvchi jism va uning atrofidagi harorat o‘rtasidagi farq qanchalik katta bo‘lsa, jismning sirtidagi issiqlik tezroq uzatiladi, ya’ni harorati tezroq pasayadi. Nyutonning sovitish qonuni formulasi quyidagicha ifodalanadi

$$\theta(t) = \theta_{h,ch} + (\theta_t - \theta_{h,ch})e^{-kt} \quad (17)$$

bu yerda t – sovitish vaqti, daqiqa; $\theta(t)$ – berilgan jismning t vaqtdagi harorati, °C; $\theta_{h,ch}$ – tashqi muhit harorati, °C; θ_t – tananing boshlang‘ich harorati, °C; k – doimiy.

Yuklama koeffitsiyenti (K) va tashqi muhit harorati (θ_h) ta’sirida transformator harorati θ_{tr} ning ko‘tarilishi yuzaga keladi. Transformator haroratining o‘zgarishi (17) ifoda asosida ikki bosqichli sovitish jarayoni uchun (18) va (20) matematik modellar ishlab chiqilgan.

1) “Ventilyator” li qo‘shimcha sovitish usuli uchun:

$$\theta_{m,x}(t) = \left(\theta_{h,k} - \frac{q_c}{\rho_h c_h G_{h,v}} \right) + \left(\theta_m - \left(\theta_{h,k} - \frac{q_c}{\rho_h c_h G_{h,v}} \right) \right) e^{-kt_1} \quad (18)$$

agar, $\Delta\theta_m = \theta_{tr,x}(t)$ bo‘lsa (2) ifodadan foydalangan xolda “Ventilyator” orqali sovitish natijasida transformator chulg‘ami izolyatsiyasining eng issiq nuqtasi harorati quyidagicha ifodalangan.

$$\theta_{tr,v} = \theta_h + \theta_{m,x}(t) \cdot \left[\frac{1+R \cdot (K)^2}{1+R} \right]^x + \Delta\theta_{i,m} \cdot (K)^y, \quad (19)$$

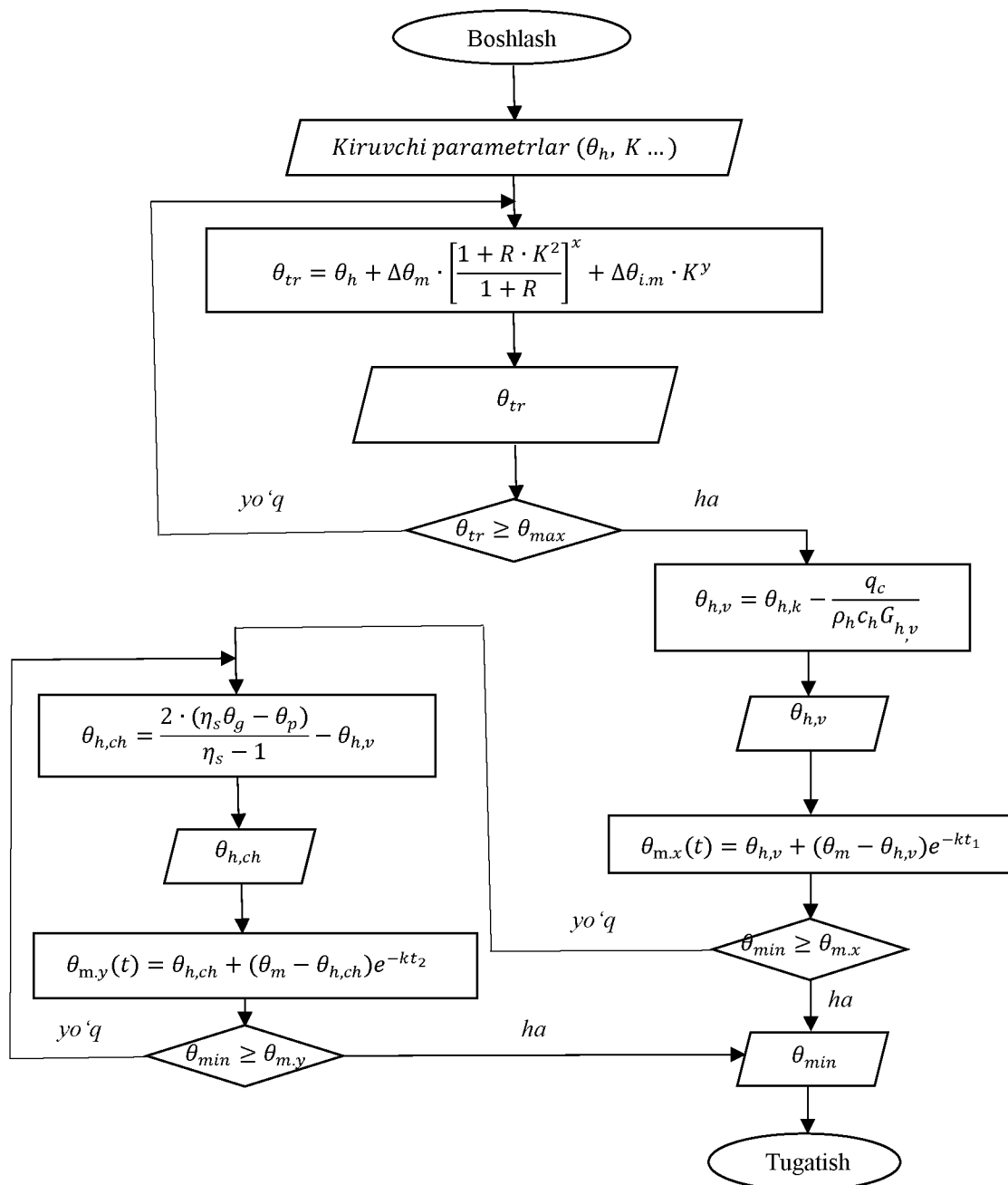
2) “Ventilyator + xladagent” li qo‘shimcha sovitish usuli uchun:

$$\theta_{m,y}(t) = \left(\frac{2 \cdot (\eta_s \theta_g - \theta_p)}{\eta_s - 1} - \left(\theta_{h,k} - \frac{q_c}{\rho_h c_h G_{h,v}} \right) \right) + \left(\theta_m - \left(\frac{2 \cdot (\eta_s \theta_g - \theta_p)}{\eta_s - 1} - \left(\theta_{h,k} - \frac{q_c}{\rho_h c_h G_{h,v}} \right) \right) \right) \cdot e^{-kt_2}, \quad (20)$$

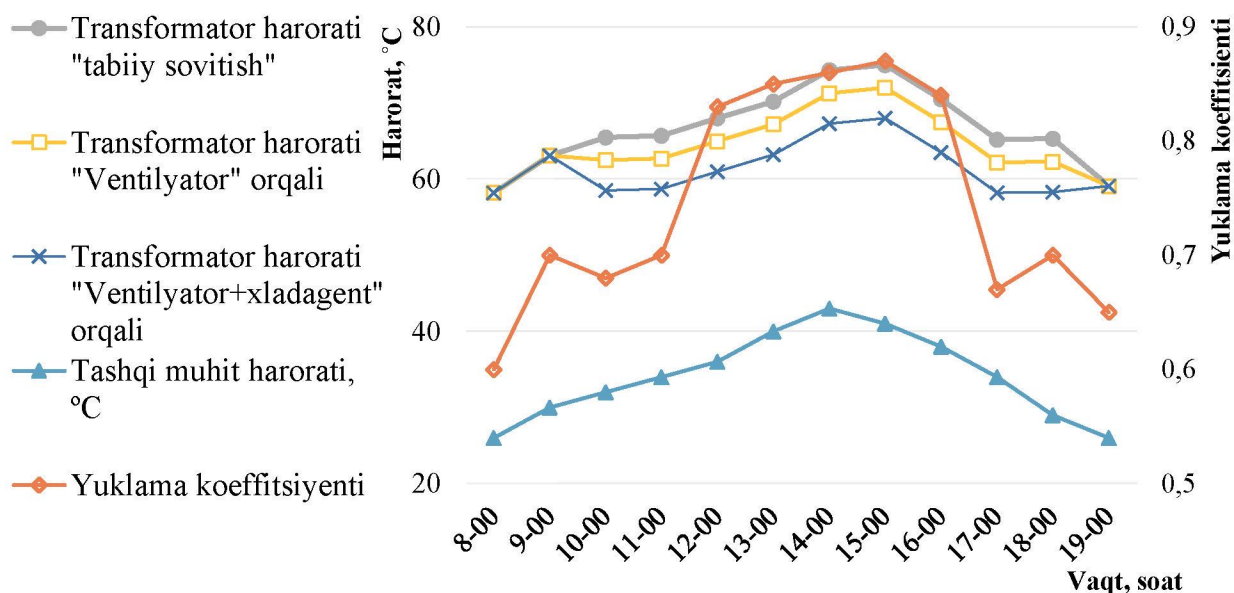
agar, $\Delta\theta_m = \theta_{tr,y}(t)$ bo‘lsa (16) ifodadan foydalangan xolda “Ventilyator+xladagent” li sovitish orqali transformator chulg‘ami izolyatsiyasining eng issiq nuqtasi harorati quyidagicha ifodalangan.

$$\theta_{tr.vf} = \theta_h + \theta_{m,y}(t) \cdot \left[\frac{1+R \cdot (K)^2}{1+R} \right]^x + \Delta\theta_{i.m} \cdot (K)^y, \quad (21)$$

Ekspluatatsiyadagi kuch transformatorining haroratini aniqlash imkonini beruvchi matematik model yuklama koeffitsiyenti, moy va tashqi muhit haroratlarini kiruvchi parametrlar sifatida qabul qilib, qo‘shimcha sovitish jarayonini inobatga olgan holda ishlab chiqilgan. Mazkur matematik model asosida moyli kuch transformatorini qo‘shimcha sovitish orqali haroratining o‘zgarish jarayonini aniqlash algoritmi ishlab chiqilgan (4-rasm).



4-rasm. Moyli kuch transformatorini qo‘shimcha sovitish orqali haroratining o‘zgarish jarayonini aniqlash algoritmi



5-rasm. Transformatorga qo‘shimcha sovitish usulining qo‘llanilishi bo‘yicha olib borilgan hisoblash natijalari

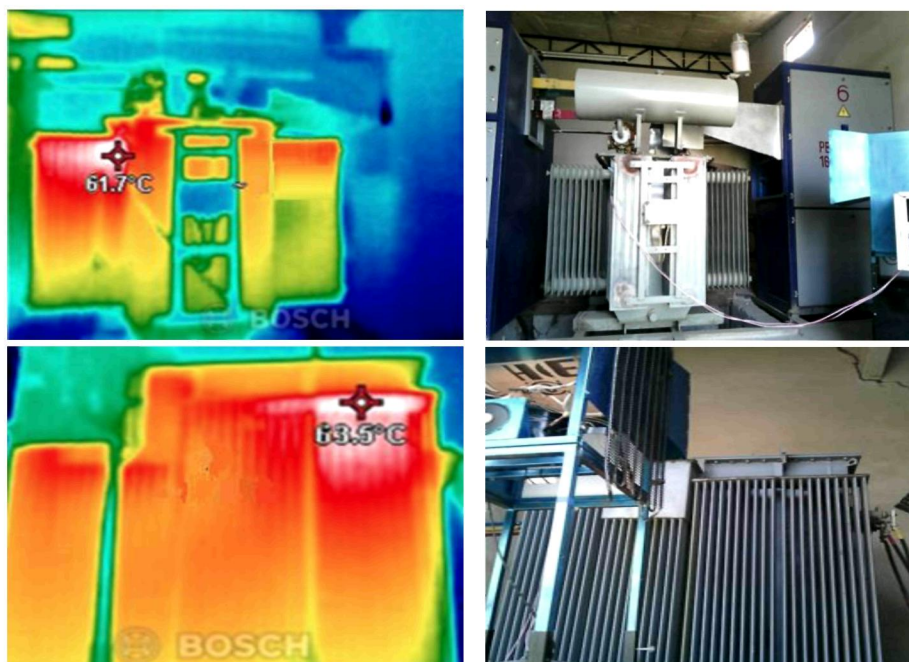
Ishlab chiqilgan matematik model yordamida hisoblash ishlari amalga oshirilgan. Natijada moyli kuch transformatorining haroratini 7-9 °C (o‘rtacha 7,98 °C yoki 10%) ga kamaytirishga nazariy tadqiqotlar asosida erishilgan.

Dissertatsiyaning **“Moyli kuch transformatorlarini qo‘shimcha sovituvchi qurilmani ishlab chiqish va tajriba tadqiqotlarini o‘tkazish”** deb nomlangan uchinchi bobida ekspluatatsiyadagi moyli kuch transformatorlarini qo‘shimcha sovitish imkonini beruvchi qurilma “transformator - harorat datchiklari - ventilyator - kompressor - xladagentli sovitish kamerasi” ketma-ketligi asosida ishlab chiqilgan (6-rasm).



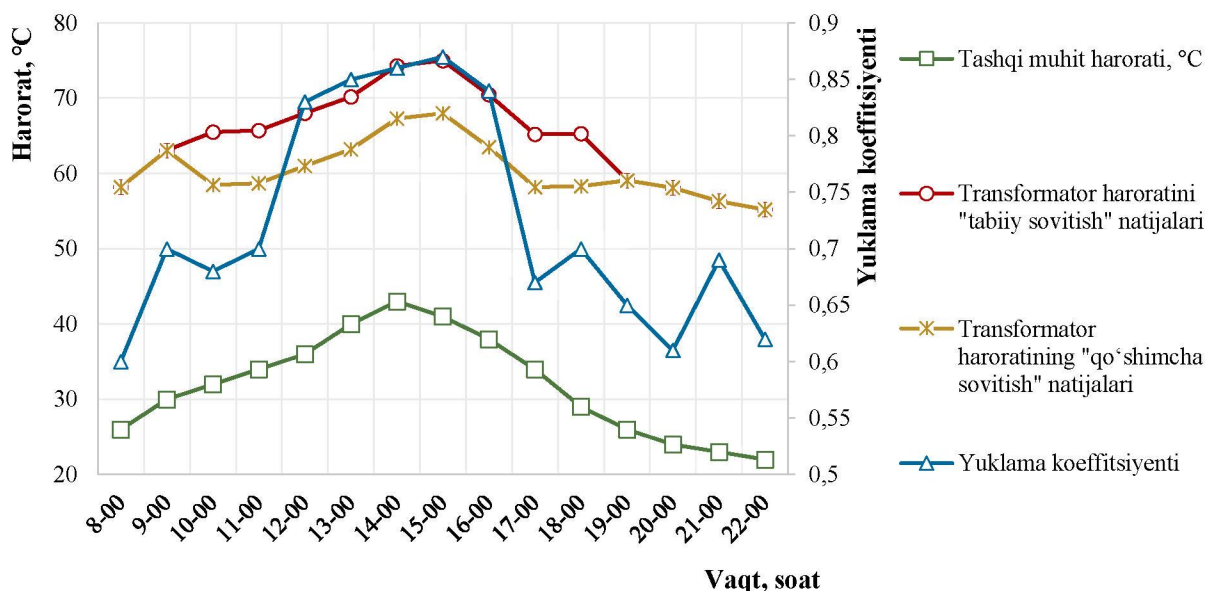
6-rasm. M(ONAN) sovitish tizimiga ega moyli kuch transformatorlarini qo‘shimcha sovitish imkonini beruvchi qurilmasining tayyorlanish jarayonlari va umumiy ko‘rinishi

Tajriba tadqiqotlari “Quva tekstil” MCHJ korxonasida ekspluatatsiyada bo‘lgan M(ONAN) sovitish tizimiga ega 10/0,4 kV kuchlanishli 4 ta 1000 kVA va 6 ta 1600 kVA quvvatdagi moyli kuch transformatorlariga ishlab chiqilgan qurilmani qo‘llash orqali olib borilgan (7-rasm).



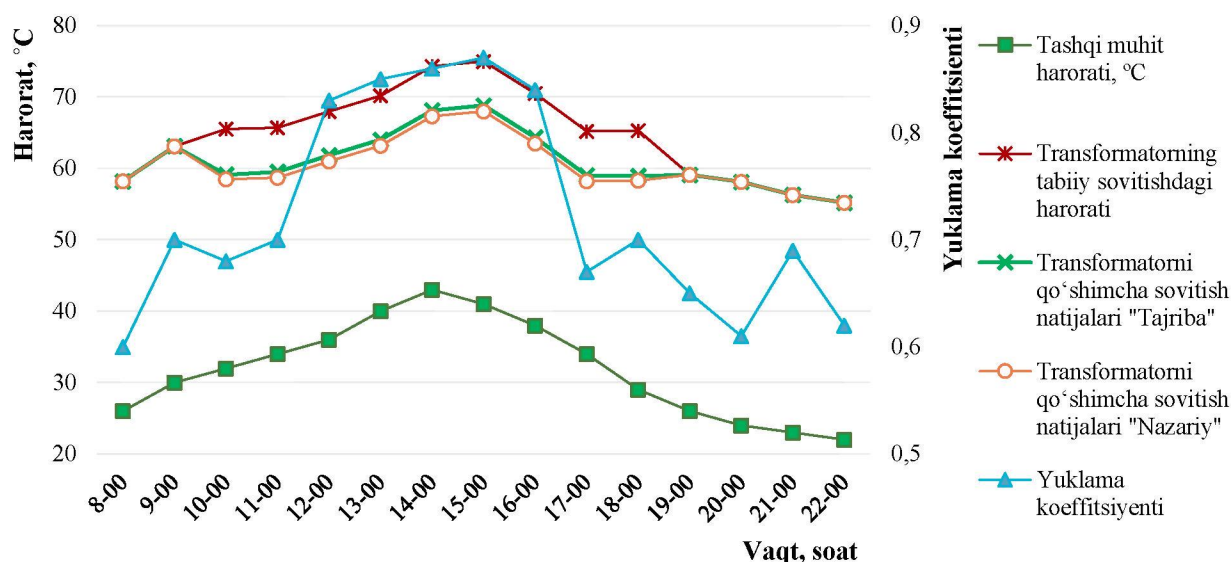
7-rasm. Tajriba tadqiqotlarini o‘tkazish jarayonlari

Olib borilgan tajriba tadqiqotlari asosida ekspluatatsiyadagi moyli kuch transformatorining harorati o‘rtacha $\theta_{(o'rt.farq)} \approx 7,36 \text{ }^\circ\text{C}$ (yoki 11 %) ga kamayishiga erishilgan (8- rasm).



8-rasm. Moyli kuch transformatoriga qo‘shimcha sovitish qurilmasini o‘rnatishdan oldingi va keyingi holatlar uchun haroratlar farqi

Olib borilgan nazariy va tajriba tadqiqot natijalari o‘zaro solishtirilgan. Natijada ular orasidagi farq (adekvatlik) 7-8 % ga teng ekanligi aniqlangan (9-rasm).



9-rasm. Transformatorlarni qo‘shimcha sovutish asosida olib borilgan nazariy va tajriba tadqiqotlari natijalarini taqqoslash grafigi

Dissertatsiyaning “Ekspluatatsiyadagi moyli kuch transformatorlariga qo‘shimcha sovutuvchi qurilmani qo‘llash orqali ishlash ishonchliligini baholash” deb nomlangan to‘rtinchi bobida moyli kuch transformatorlarining ishonchliligini baholash imkonini beruvchi usul qo‘shimcha sovutish texnologiyasi va chulg‘am izolyatsiyasining ishlash muddatini hisobga olgan holda ishlab chiqilgan.

Ekspluatatsiyadagi moyli kuch transformatorlarining ishlash ishonchliligi asosan chulg‘amlarining ishonchliligi bilan bog‘liq. Tajriba tadqiqotlarida aniqlangan transformatorlarning yuqori harorati asosida quyidagi hisoblash ishlari olib borilgan.

1. Montzinger tomonidan ishlab chiqilgan usul yordamida izolyatsiyaning ishlash vaqti uch xil holat uchun aniqlangan:

$$T_{ishlash\ vaqti_0} = A_0 \cdot 2^{-\frac{T_0}{\Delta T}} = 25,5\ yil\ yoki\ (223\ 380\ soat)$$

$$T_{ishlash\ vaqti_1} = A_{0_1} \cdot 2^{-\frac{T_1}{\Delta T}} = 3,3\ yil\ yoki\ (28\ 908\ soat)$$

$$T_{ishlash\ vaqti_2} = A_{0_1} \cdot 2^{-\frac{T_2}{\Delta T}} = 6\ yil\ yoki\ (52\ 560\ soat)$$

bu yerda A_0 – o‘tkazgich izolyatsiyasining ishlash vaqti bo‘lib, me‘yoriy hujjatlarga asosan $6,225 \cdot 10^4$ yil etib belgilangan; T_0 – izolyatsiyaning qizish harorati hisoblanib Y sinfi uchun $T_0 = 90$ °C etib belgilangan; ΔT – haroratning ortishidagi chegaraviy qiymati bo‘lib, me‘yoriy hujjatlarga asosan 6-12 °C etib belgilangan; $T_{ishlash\ vaqti_0}$ – ekspluatatsiyaga qo‘yilgan yangi transformatorning ishlash vaqti; $T_{ishlash\ vaqti_1}$ – yuqori haroratli ekspluatatsiyadagi moyli kuch transformatorining ishlash vaqti; $T_{ishlash\ vaqti_2}$ – qo‘shimcha sovutish qurilmasi o‘rnatilgan ekspluatatsiyadagi moyli kuch transformatorining ishlash vaqti.

Transformatorlarning buzilishlar jadalligi (λ) qo‘shimcha sovutishdan oldin λ_1 va keyingi λ_2 holatlar uchun hisoblangan. Natijada transformatorlarning

buzilishlar jadalligi qo‘shimcha sovitishdan oldin va keyingi holatlar uchun mos ravishda $\lambda_1 = 0,000035$ soat⁻¹ va $\lambda_2 = 0,000019$ soat⁻¹ ga teng bo‘lgan.

Matematik kutilish:

$$M_1(t) = \sum_{i=1}^n P_{i1} t_{i1} = 376059,4074 \text{ soat}$$

$$M_2(t) = \sum_{i=1}^n P_{i2} t_{i2} = 450980,9278 \text{ soat}$$

Dispersiya:

$$D_1(t) = \sum_{i=1}^n P_{i1} t_{i1}^2 - M_1(t) = 24634397024 \text{ soat}$$

$$D_2(t) = \sum_{i=1}^n P_{i2} t_{i2}^2 - M_2(t) = 29809114679 \text{ soat}$$

O‘rtacha kvadratik chetlanish:

$$\sigma_1(t) = \sqrt{D_1(t)} = 156\,953,48 \text{ soat}$$

$$\sigma_2(t) = \sqrt{D_2(t)} = 172\,653,16 \text{ soat}$$

Variatsiya koeffitsiyenti:

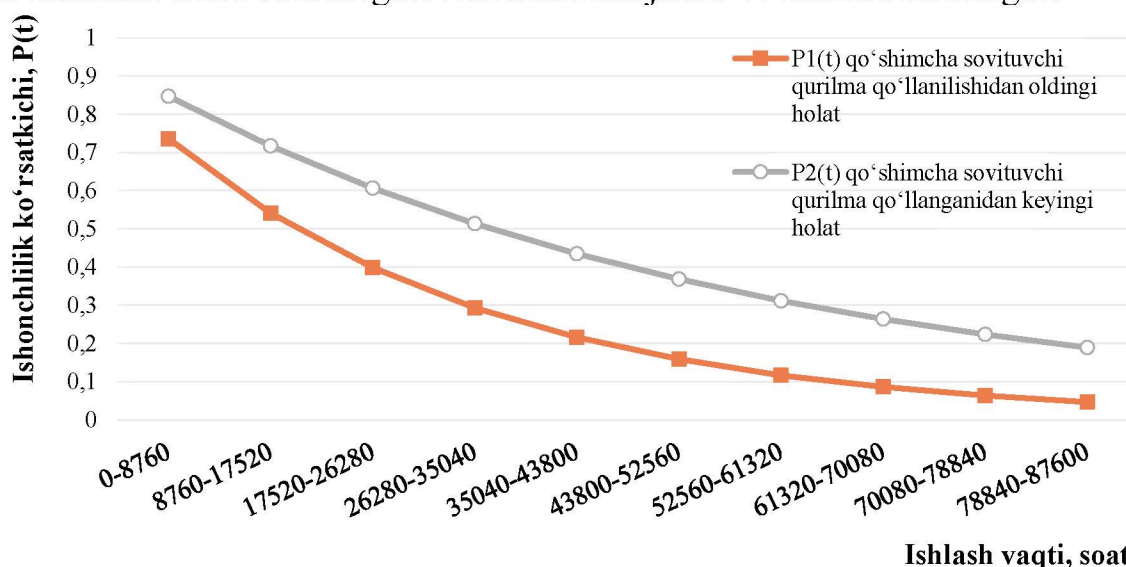
$$V_1(t) = \frac{\sigma_1(t)}{M_1(t)} = 0.38$$

$$V_2(t) = \frac{\sigma_2(t)}{M_2(t)} = 0.36$$

Moyli kuch transformatorlarining ishlash ishonchliligini baholash jarayoni eksponensial taqsimot funksiyasidan foydalanilgan bo‘lib, ikkita holat uchun amalga oshirilgan.

$$P(t) = e^{-\lambda t}$$

Bunda ekspluatatsiyadagi moyli kuch transformatorining ishonchliligi qo‘shimcha sovituvchi qurilma qo‘llanishdan oldingi holat uchun $P_1(t)$ ko‘rsatkichi va qo‘shimcha sovituvchi qurilma qo‘llanilganidan keyingi holat uchun $P_2(t)$ ko‘rsatkichi bilan baholangan. Baholash natijalari 10-rasmda keltirilgan.



10-rasm. Ekspluatatsiyadagi moyli kuch transformatorlarining ishonchliligini baholash natijalari

Natijada qo‘shimcha sovitish qurilmasini qo‘llash orqali moyli kuch transformatorlarining ishlash muddatini 28 908 soatdan 52 560 soatga, ya‘ni 23 652 soatga yoki o‘rtacha 2 baravarga oshirishga erishilgan.

Bir dona moyli kuch transformatorini qo‘shimcha sovitish natijasida (uning ishlash muddatini oshirish (X_n) va energiya isroflarini kamaytirish (C) hisobiga) kutilayotgan iqtisodiy samaradorlik (C_Σ) quyidagicha baholangan:

$$C_{\Sigma(1000 \text{ kVA})} = C + X_1 = 1\,314\,630 + 3\,200\,000 = 4\,514\,630 \text{ so'm}$$

$$C_{\Sigma(1600 \text{ kVA})} = C + X_1 = 1\,314\,630 + 4\,600\,000 = 5\,914\,630 \text{ so'm}$$

“Quva tekstil” MCHJ korxonasi 10/0,4 kV kuchlanishli quvvati 1000 kVA bo‘lgan 6 dona va 1600 kVA bo‘lgan 4 dona (jami 10 dona) moyli kuch transformatorlari ekspluatatsiyada mavjud. Ushbu transformatorlarni yilning issiq davrlarida (may-sentyabr oylari) qurilma yordamida qo‘shimcha sovitish orqali (energiya isroflarini kamaytirish hisobiga) o‘rtacha 2518,6 kVt·soat miqdorida elektr energiyasini tejashga va ularning ishlash muddatini o‘rtacha 2 baravarga oshirishga erishilgan. “Quva tekstil” MCHJ korxonasi mavjud jami 10 ta kuch transformatorini qo‘shimcha sovitish natijasida (ularning ishlash muddatini oshirish va energiya isroflarini kamaytirish hisobiga) kutilayotgan iqtisodiy samaradorlik 50 746 300 so‘mni tashkil etgan.

XULOSA

“Ekspluatatsiyadagi moyli kuch transformatorlarining sovitish tizimini takomillashtirish orqali ishonchliligini oshirish” mavzusidagi texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiya ishi bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlar natijalari asosida quyidagi xulosalar taqdim etilgan:

1. M (ONAN) sovitish tizimiga ega moyli kuch transformatorlarining harorati me‘yoridan oshganda avtomatik ravishda ishlash hamda sovuq havo oqimini issiq nuqtaga yo‘naltirish imkoniyatlarini yaratish bo‘yicha ilmiy tadqiqotlar olib borilgan. Natijada moyli kuch transformatorlarini qo‘shimcha sovitish usuli ishlab chiqilgan.

2. Energiya saqlanish qonuni, massa saqlanish qonuni, Teylor qatori, issiqlik uzatish jarayonlari va Nyutonning sovitish qonunidan foydalanib moyli kuch transformatorini qo‘shimcha sovitish jarayonlari bo‘yicha nazariy tadqiqotlar o‘tkazilgan. Natijada ekspluatatsiyadagi kuch transformatorining haroratini aniqlash imkonini beruvchi matematik model yuklama koeffitsiyenti, moy va tashqi muhit haroratlarini kiruvchi parametrlar sifatida qabul qilib, qo‘shimcha sovitish jarayonini inobatga olgan holda ishlab chiqilgan.

3. Ishlab chiqilgan matematik model yordamida hisoblash ishlari amalga oshirilgan. Natijada moyli kuch transformatorining haroratini 7-9 °C (o‘rtacha 7,98 °C yoki 10%) ga kamaytirishga nazariy tadqiqotlar asosida erishilgan.

4. “Transformator - harorat datchiklari – ventilyator – kompressor – xladagentli sovitish kamerasi” ketma-ketligi asosida moyli kuch transformatorlarini qo‘shimcha sovitish qurilmasi ishlab chiqilgan va ushbu qurilma yordamida tajriba tadqiqotlari o‘tkazilgan. Natijada ekspluatatsiyadagi moyli kuch transformatorining harorati o‘rtacha 7,36 °C (yoki 11 %) ga kamayishiga erishilgan.

5. Olib borilgan nazariy va tajriba tadqiqot natijalari o‘zaro solishtirilgan. Natijada ular orasidagi farq (adekvatlik) 7-8 % ga teng ekanligi aniqlangan.

6. Moyli kuch transformatorlarining ishonchliligini baholash imkonini beruvchi usul qo‘shimcha sovitish texnologiyasi va chulg‘am izolyatsiyasining ishlash muddatini hisobga olgan holda ishlab chiqilgan hamda ushbu usul yordamida hisoblash ishlari amalga oshirilgan. Natijada ekspluatatsiyadagi moyli kuch transformatorining ishlash muddati 28 908 soatdan 52 560 soatga, ya’ni o‘rtacha 2 baravarga oshishi aniqlangan.

7. Ekspluatatsiyadagi (M(ONAN) sovitish tizimiga ega bo‘lgan) moyli kuch transformatorlarini qo‘shimcha sovitish imkonini beruvchi qurilma “Quva tekstil” MChJ korxonasi joriy etilgan. Natijada korxonada ekspluatatsiyada bo‘lgan moyli kuch transformatorlarining ishonchliligini oshirish hisobiga 50 746 300 so‘m miqdorida yillik iqtisodiy samaradorlikka erishilgan.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ
ДОКТОРА НАУК DSc.02/30.12.2021.Т.143.01 ПРИ ИНСТИТУТЕ
ПРОБЛЕМ ЭНЕРГЕТИКИ АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ
УЗБЕКИСТАН**

**ФЕРГАНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ЭНЕРГЕТИКИ
АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

МУХАММАДЖАНОВ МУХАММАДЮСУФ ШУХРАТ УГЛИ

**ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ СИЛОВЫХ
МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПУТЁМ
УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ**

05.05.01 – Энергетические системы и комплексы

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

Ташкент – 2024

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан под номером B2022.4.PhD/T3322.

Диссертация выполнена в Ферганском политехническом институте и в Институте проблем энергетики Академии наук Республики Узбекистан.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета (www.energetika.uz) и информационно-образовательном портале "ZiyoNET" (www.ziyo.net.uz).

Научный руководитель: Юсупов Дилмурод Турдалиевич
доктор философии по техническим наукам,
старший научный сотрудник

Официальные оппоненты: Хамидов Шухрат Вахидович
доктор технических наук, профессор
Хошимов Урал Хошимович
доктор философии по-техническим наукам

Ведущая организация: Каршинский инженерно - экономический институт

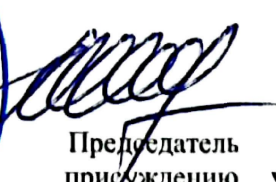
Защита диссертации состоится «11» декабря 2024 г. в 10⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.02/30.12.2021.T.143.01 при Институте проблем энергетики Академии наук Республики Узбекистан (Адрес: 100164, г. Ташкент, ул. Дурмон йули, 40. Тел.: (+99897) 480-28-07, e-mail: energetika_in@umail.uz).

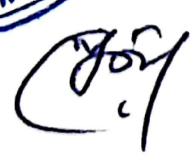
С диссертацией можно ознакомиться в информационно – ресурсном центре Института проблем энергетики Академии наук Республики Узбекистан (регистрационный номер 12). (Адрес: 100164, г. Ташкент, ул. Дурмон йули, 40, Тел.: (+99897) 480-28-07)


Автореферат диссертации разослан «28» ноября 2024 года.

(протокол рассылки № 12 от «27» ноября 2024 года).




Х.М. Муратов
Председатель научного совета по
присуждению учёных степеней, д.т.н.,
профессор


Ж.Н. Толпов
Ученый секретарь научного совета по
присуждению учёных степеней, PhD, с.н.с.


О.Х. Нишазаров
Председатель научного семинара при
научном совете по присуждению учёной
степени доктора наук, д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и необходимость темы диссертации. В мире уделяется особое внимание вопросам, связанным с повышением эффективности работы энергетических установок в результате развития секторов экономики, возникновения новых промышленных зон, увеличения спроса на электроэнергию со стороны населения, а также усиления требований к непрерывному обеспечению электроэнергией. На сегодняшний день «в мировом масштабе существуют высоковольтные трансформаторы с общей мощностью более 10000 ГВА»¹. Эксплуатационная надежность такого крупного комплекса связана с надежностью систем их охлаждения. Силовые трансформаторы являются одним из важнейших элементов энергосистемы, выход из строя которых приводит к техническим проблемам и экономическим издержкам. В частности, одним из факторов, вызывающих выход из строя трансформаторов, являются переходные тепловые процессы в них, при этом большое внимание уделяется повышению надежности трансформаторов путем совершенствования существующих систем охлаждения оборудования и оценки эксплуатационных показателей.

В мире проводится ряд исследований по вопросам выявления и методам снижения температурно-зависимых состояний силовых трансформаторов в энергетических системах, продления срока службы и повышения надежности эксплуатируемых силовых трансформаторов, своевременного технического обслуживания масляных силовых трансформаторов для бесперебойной работы, а также выявления и устранения проблем в системах охлаждения силовых трансформаторов, увеличения поверхностей охлаждения, ускорения циркуляции масла и усовершенствования радиаторов, оценки технического и изоляционного состояния трансформаторного масла, раннее выявление наблюдаемых неисправности в трансформаторах. В этом направлении, в том числе выявление факторов, влияющих на срок службы масляных силовых трансформаторов, предотвращение процессов нагрева, совершенствование конструкций высокоэффективных установок дополнительного охлаждения, а также, повышение надежности работы трансформаторов путем снижения теплотерь, являются актуальными задачами.

В нашей республике растет потребность потребителей в использовании электроустановок, и в связи с изменением климата повышается температура воздуха, что влияет на нагрузку и снижает надежность работы силовых трансформаторов, являющихся основой системы распределения электроэнергии. В этом направлении осуществляются комплексные меры по устранению имеющихся проблем и достигаются определенные результаты. В стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы определены ряд задач, в том числе «Бесперебойное обеспечение экономики электроэнергией, активное внедрение технологий «Зеленой экономики» во все сферы, увеличение энергоэффективности экономики на 20 процентов»². Для

¹ Statistical Review of World Energy, 67-th edition, June 2018.

² Указ Президента Республики Узбекистан от 28.01.2022 г. № УП-60 «Стратегия развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы»

реализации этих задач важными являются, в частности, выявление тепловых процессов и факторов в эксплуатируемых масляных силовых трансформаторах, исследование существующих систем охлаждения трансформаторов, создание мобильной установки для масляных силовых трансформаторов, обеспечивающего дополнительное охлаждение, и оценка надежности работы трансформаторов путем дополнительного охлаждения.

Данная диссертационная работа в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указах Президента Республики Узбекистан № УП-60 от 28 января 2022 года «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы», №УП-57 от 16 февраля 2023 года «О мерах по ускорению внедрения возобновляемых источников энергии и энергосберегающих технологий в 2023 году» и №УП-166 от 28 сентября 2023 года «О мерах по проведению очередного этапа реформирования сферы энергетики», №ПП-4422 от 22 августа 2019 года «Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии» и №ПП-4779 от 10 июля 2020 года «О дополнительных мерах по сокращению зависимости отраслей экономики от топливно-энергетической продукции путем повышения энергоэффективности экономики и задействования имеющихся ресурсов», а также в других нормативно-правовых документах, относящихся к данному виду деятельности.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и техники республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан 2. «Энергетика, энергосбережение и альтернативные источники энергии».

Степень изученности проблемы. Научные исследования, направленные на совершенствование охлаждения и повышение надежности работы эксплуатируемых масляных силовых трансформаторов, проводятся ведущими мировыми научными центрами и высшими учебными заведениями, в том числе технологическим университетом Ильменау (Германия), Корейским институтом электроники (Корея), Тульским государственным университетом (Россия), Московским энергетическим институтом (Россия), Санкт-Петербургским государственным аграрным университетом (Россия), Томским политехническим университетом (Россия), Уфимским государственным нефтяной техникой университетом (Россия), Белорусским национальным техническим университетам (Беларусь) и других научных школах.

При решении задач, направленных на исследование, совершенствование системы их охлаждения и повышение надежности работы трансформаторов, внесли большой вклад следующие зарубежные ученые, такие как Н. Zhang, Ю.Н. Тимонин, О.С. Дмитриева, А.В. Дмитриев, Х.М. Gruber, R. Küchler, S. Filipić, Do-Hyeoun Cho, П.В. Кашеев, А.А. Хисматуллин, М.Г. Баширов, Д.И. Зализный, В.С. Петров, А.Б. Святых, П.Б. Рисев, В.К. Фёдоров, В.Г. Беседин, В.З. Манусов, Е.А. Сорока, Ю.Н. Папазов, Ю.А. Клочихин и другие.

При решении научных задач по повышению надежности и эффективности электрических машин, являющихся основными оборудованьями энергосистемы, в нашей республике, внесли свой вклад многие ученые: Х.Ф. Фозилов, М.З. Ҳамудханов, Р.А. Захидов, Т.Х. Насиров, Қ.Р. Аллаев, Х.М. Муратов, А.А. Хашимов, Ф.А. Хошимов, Ш.В. Хамидов, Н.Б. Пирматов, О.Х. Ишназаров, О.З. Тоиров и другие. Эти исследования посвящены повышению производительности и энергоэффективности, а также надежности энергетических оборудованья.

Несмотря на многочисленные исследования, достигнутые успехи, недостаточно изучены систем охлаждения масляных силовых трансформаторов, находящихся в эксплуатации, причины возникновения в них тепловых процессов, а также способы дополнительного охлаждения и повышения надежности работы за счет их совершенствования.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено на основе договора №025 о стимулировании научной идеи по теме «Использование солнечной энергии для охлаждения силовых масляных трансформаторов», составленным между Ферганском политехническом институте и Агентством инновационного развития и в рамках программы научно - исследовательских работ Института проблем энергетике Академии наук Республики Узбекистан на 2022-2025 годы «Разработка методических основ обеспечения надежности и безопасности развития энергетике».

Целью исследования – повышение надежности эксплуатируемых масляных силовых трансформаторов (с системой охлаждения M(ONAN)) путем совершенствования системы охлаждения.

Задачи исследования:

разработка способа дополнительного охлаждения силовых масляных трансформаторов с системой охлаждения M(ONAN);

разработка математической модели, позволяющей определить процесс изменения температуры эксплуатируемых силовых масляных трансформаторов путем их дополнительного охлаждения;

разработка установки дополнительного охлаждения для эксплуатируемых масляных силовых трансформаторов, проведение экспериментальных исследований и сравнение полученных результатов;

оценка надежности эксплуатируемых масляных силовых трансформаторов с использованием дополнительной охлаждающей установки.

Объектом исследования являются эксплуатируемые масляные силовые трансформаторы, с естественной воздушно-масляной циркуляционной системой охлаждения M(ONAN).

Предметом исследования являются процессы охлаждения эксплуатируемых масляных силовых трансформаторов (с системой охлаждения M(ONAN)).

Методы исследования. В процессе исследования применены закон сохранения энергии и закон сохранения массы, ряд Тейлора, закон охлаждения

Ньютона, метод регрессии, теория вероятностей, правило Монтзингера, процессы теплопередачи, математическая статистика, экспоненциальное распределение и теория надежности.

Научная новизна исследования

разработан способ, позволяющий обеспечить дополнительное охлаждение, основанный на автоматическом включении при превышении температуры от нормативных значений и направлении потока холодного воздуха в горячую точку масляных силовых трансформаторов с системой охлаждения М(ОНАН).

разработана математическая модель, позволяющая определить температуру эксплуатируемого силового трансформатора с учетом дополнительного процесса охлаждения, принимая в качестве входных параметров коэффициента загрузки, температуру масла и окружающей среды;

разработана установка, обеспечивающая дополнительное охлаждение эксплуатируемых масляных силовых трансформаторов на основе последовательности «трансформатор – датчики температуры – вентилятор – компрессор – камера охлаждения с хладагентом»;

разработан метод, позволяющий оценить надежность силовых масляных трансформаторов с учетом технологии дополнительного охлаждения и срока службы изоляции обмотки.

Практические результаты исследования.

разработан способ, позволяющий осуществлять дополнительное охлаждение масляных силовых трансформаторов с системой охлаждения М(ОНАН);

разработано программное обеспечение на основе математической модели, позволяющей определить процесс изменения температуры трансформатора путем дополнительного охлаждения;

разработано установка дополнительного охлаждения эксплуатируемого масляного силового трансформатора;

разработано программное обеспечение для оценки эксплуатационной надежности и ресурса эксплуатируемых масляных силовых трансформаторов с дополнительным охлаждением.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследований объясняется применением современных метрологических аттестованных измерений, передовых математических методов обработки данных и методов исследования, указанных в нормативных документах, а также взаимной совместимостью теоретических и экспериментальных результатов.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования объясняется разработкой математической модели системы, позволяющей определить изменение температуры силовых трансформаторов с эксплуатируемой системой охлаждения М(ОНАН) путем дополнительного охлаждения.

Практическая значимость исследований объясняется разработкой установкой, позволяющей осуществлять дополнительное охлаждение масляных силовых трансформаторов с системой охлаждения М(ОНАН).

Внедрение результатов исследования. На основе полученных научных результатов по повышению надежности эксплуатируемых масляных силовых трансформаторов:

внедрена установка для дополнительного охлаждения эксплуатируемых масляных силовых трансформаторов (с системой охлаждения M(ONAN)) на предприятии ООО «Quva tekstil» (справка №11/03-30-6544 от 6 июня 2023 года Торгово-промышленной палаты Узбекистана). В результате за счет дополнительного охлаждения 10 единиц (6 единиц мощностью 1000 кВА и 4 единицы мощностью 1600 кВА) масляных силовых трансформаторов напряжением 10/0,4 кВ достигнута экономическая эффективность в размере 50 746 300 сумов.

внедрен метод, позволяющая оценить надежность эксплуатируемых масляных силовых трансформаторов (с системой охлаждения M(ONAN)) на предприятии ООО «Quva tekstil» (справка №11/03-30-6544 от 6 июня 2023 года Торгово-промышленной палаты Узбекистана). В результате установлено, что срок службы масляных силовых трансформаторов в эксплуатации увеличился с 28908 часов до 52560 часов, т.е. в среднем в 2 раза.

Апробация результатов исследования. Результаты исследований были апробированы на 17 научно-практических конференциях, в том числе на 6 международных и 11 республиканских конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано всего 25 научных работ, в том числе 5 научных статей опубликованных в журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций, из них 1 статья в зарубежном журнале, 4 статьи в местных научных журналах, также получено 3 свидетельства на программу для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 119 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновываются актуальность и необходимость проводимых исследований, описываются цели и задачи, объект и предмет исследований, их соответствие приоритетным направлениям развития науки и техники республики, излагаются научная новизна и практические результаты исследований, освещается научно-практическая значимость полученных результатов, приведена информация о результатах исследования, внедренных в практику, опубликованные научные работы и структура диссертации.

В первой главе диссертации «**Современное состояние масляных силовых трансформаторов в эксплуатации**» проведен анализ масляных силовых трансформаторов и их технического состояния, существующих систем охлаждения масляных силовых трансформаторов и условий их эксплуатации, тепловых процессов эксплуатируемых масляных силовых трансформаторов и вызывающие их факторы, влияние надежной работы

масляных силовых трансформаторов на экономику предприятия и существующих современных методов совершенствования системы охлаждения масляных силовых трансформаторов. Проанализированы научно-исследовательские работы, посвященные существующим системам охлаждения масляных силовых трансформаторов в эксплуатации и условия их эксплуатации, факторам, способствующим возникновению тепла в трансформаторах.

На основе проведенного анализа сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

Во второй главе диссертации «Теоретические исследования процессов дополнительного охлаждения масляных силовых трансформаторов» разработан способ, позволяющий обеспечить дополнительное охлаждение, основанный на автоматическом включении при превышении температуры от нормативных значений и направлении потока холодного воздуха в горячую точку масляных силовых трансформаторов с системой охлаждения M(ONAN) (рис. 1).

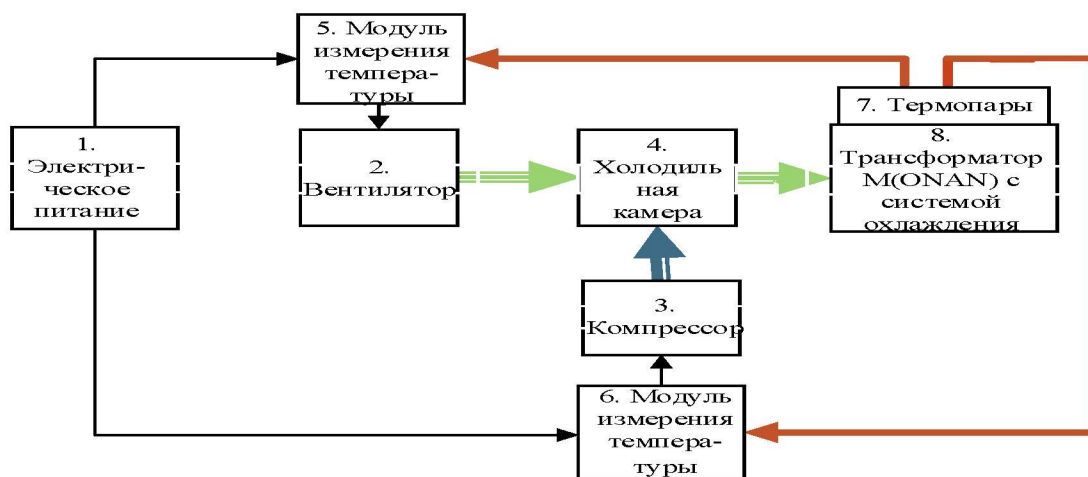


Рис. 1. Функциональная схема способа дополнительного охлаждения масляного силового трансформатора с системой охлаждения M(ONAN)

1- электрическое питание, 2- вентилятор, 3- компрессор, 4- холодильник для расширения хладагента и образования холодной поверхности, 5-, 6- модули измерения температуры, 7- термопары модулей измерения температуры, установленных на трансформаторе, 8- масляный силовой трансформатор

- - сеть передачи электроэнергии;
- ==→ - сеть передачи хладагента;
- ==→ - сеть передачи воздуха;
- ==→ - сеть передачи сигналов теплового зондирования.

Разработан принцип работы холодильной камеры, позволяющий создавать поток холодного воздуха в установке дополнительного охлаждения масляных силовых трансформаторов (рис. 2 и 3).

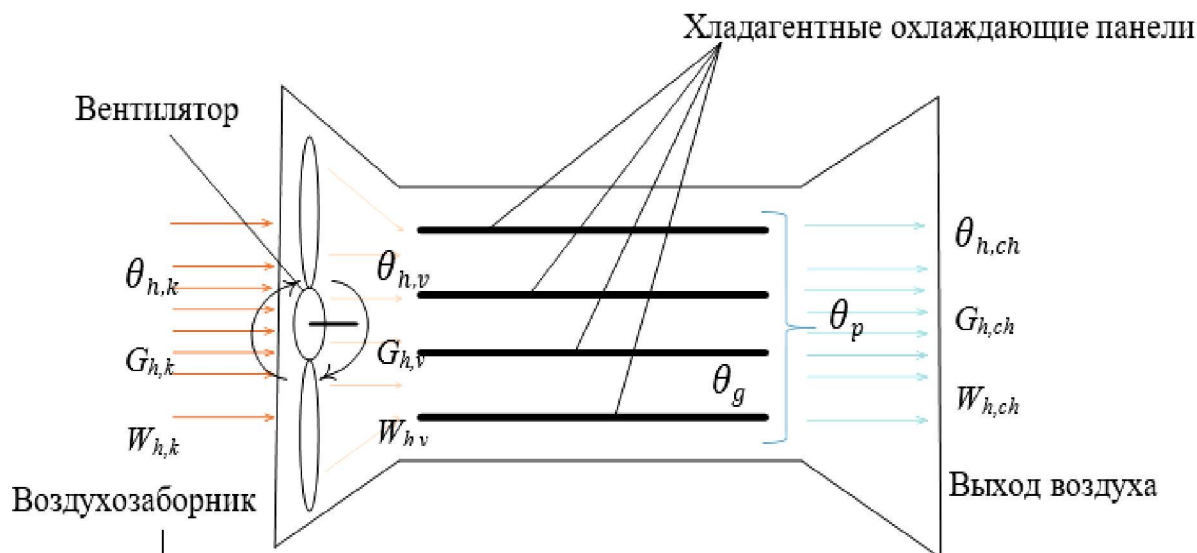


Рис.2. Принципиальная схема охлаждающей камеры

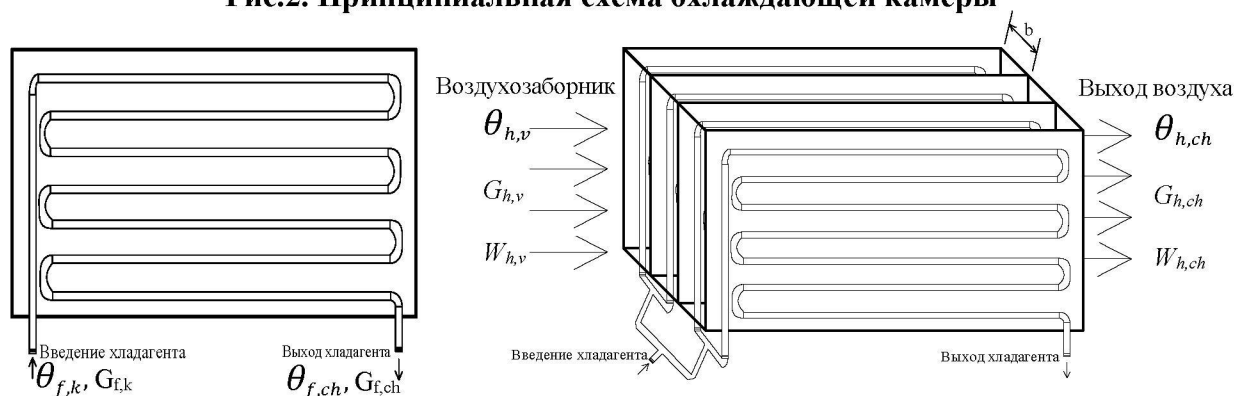


Рис.3. Устройство холодильной камеры "хладагент-воздух"

Охлаждающая способность вентилятора, выбранного для установки определяется с помощью выражения (1)

$$q_c = \rho_h c_h G_{h,v} (\theta_{h,k} - \theta_{h,v}) \quad (1)$$

где, q_c – охлаждающая способность, Вт; $G_{h,v}$ – скорость воздушного потока в вентиляторе, кг/с; $\theta_{h,v}$ – температура выходного воздуха агрегата, °С; $\theta_{h,k}$ – температура входного воздуха, °С; ρ_h – плотность воздуха в стандартных условиях = 1,2 кг/м³; c_h – тепло, присущее воздуху = 1,0 кЖ/(кг·К).

При осуществлении процесса охлаждения дополнительного холодильного агрегата только с помощью вентилятора температура воздуха, выходящего из агрегата, выражается как

$$\theta_{h,v} = \theta_{h,k} - \frac{q_c}{\rho_h c_h G_{h,v}} \quad (2)$$

1. Уравнение массы и энергии для хладагента, проходящего через трубки хладагента, выражается как

$$G_{f,k} = G_{f,ch} = G_f \quad (3)$$

$$\frac{1}{2} \rho_f c_f A_f l \frac{d(\theta_{f,k} + \theta_{f,ch})}{d\tau} = G_{f,k} c_f (\theta_{f,k} - \theta_{f,ch}) + a_{gf} A_i (\theta_g - \frac{\theta_{f,k} + \theta_{f,ch}}{2}) \quad (4)$$

2. Для воздуха, проходящего через охлаждающую камеру, уравнение массы и энергии выражается как

$$G_{h,v} = G_{h,ch} = G_h \quad (5)$$

Для процесса сухого состояния:

$$W_{h,k} = W_{h,ch} \quad (6)$$

$$\frac{1}{2} \varepsilon_h \rho_h c_h A_h e \frac{d(\theta_{h,v} + \theta_{h,ch})}{d\tau} = G_{h,k} c_h (\theta_{h,v} - \theta_{h,ch}) + a_{gh} A_o (\theta_p - \frac{\theta_{h,v} + \theta_{h,ch}}{2}) \quad (7)$$

Для процесса увлажненного состояния:

$$\frac{1}{2} \varepsilon_h \rho_h c_h A_h e \frac{d(W_{h,v} + W_{h,ch})}{d\tau} = G_{h,v} (W_{h,v} - W_{h,ch}) + \lambda_m A_o (W_{gb} - \frac{W_{h,v} + W_{h,ch}}{2}) \quad (8)$$

$$\frac{1}{2} \varepsilon_h \rho_h c_h A_h e \frac{d(h_{h,v} + h_{h,ch})}{d\tau} = G_{h,v} (h_{h,v} - h_{h,ch}) + a_{gh} A_o (\theta_p - \frac{\theta_{h,v} + \theta_{h,ch}}{2}) + q_r A_o \lambda_m (W_{gb} - \frac{W_{h,v} + W_{h,ch}}{2}) \quad (9)$$

Уравнение энергии для трубок и охлаждающих панелей

Для процесса сухого состояния:

$$M_g c_g \frac{d\theta_g}{d\tau} = a_{gw} A_i \left(\frac{\theta_{f,k} + \theta_{f,ch}}{2} - \theta_g \right) + a_{gh} A_o \left(\frac{\theta_{h,v} + \theta_{h,ch}}{2} - \theta_p \right) \quad (10)$$

Для процесса увлажненного состояния:

$$M_g c_g \frac{d\theta_g}{d\tau} = a_{gf} A_i \left(\frac{\theta_{f,k} + \theta_{f,ch}}{2} - \theta_g \right) + a_{gh} A_o \left(\frac{\theta_{h,v} + \theta_{h,ch}}{2} - \theta_p \right) + q_r A_o \lambda_m \left(\frac{W_{f,k} + W_{f,ch}}{2} - W_{gb} \right) \quad (11)$$

Знаки от (3) до (11) в уравнениях описываются следующим образом:

где, G – скорость воздушного потока, кг/с; c – удельная тепловая масса, Дж/(кг·°C); A – площадь холодной поверхности, м²; h – энтальпия, Дж/кг; l – длина трубки на панели холодильника, м; e – длина панелей холодильника, м; θ – температура, °C; W – влажность воздуха, кг/(кг сухого воздуха); M – масса, кг; q_r – скрытая теплота конденсации хладагента, Дж/кг; a_{gw} – коэффициент теплопередачи на стороне хладагента, Вт/(м² °C); a_{ga} – коэффициент теплопередачи на воздушной стороне, Вт/(м² °C); λ_m – коэффициент массопереноса, кг/(м²/с); τ – время, с; ρ – плотность, кг/м³; ε_a – отношение к объему воздуха в теплообменнике; h – нижний символ, обозначающий воздух; f – нижний символ, обозначающий хладагент; g – стенка корпуса холодильника; k – вход; ch – выход; p – панель холодильника; gb – насыщенный воздух возле внешней поверхности холодильника; o – поверхность воздушной стороны холодильника; i – хладагентная сторона холодильника.

3. Определение параметров и приведение их к линейному уравнению.

В уравнениях рассматриваются две разные, то есть основная и дополнительная переменные. Основными переменными являются температура и влажность воздуха на входе и выходе ($\theta_{h,v}, W_{h,v}, \theta_{h,ch}, W_{h,ch}$), температура входного и выходного хладагентов ($\theta_{f,k}, \theta_{f,ch}$), расход воздуха и хладагента (G_h и G_f). Эти переменные можно рассматривать как разницу между начальным значением температуры (θ_0) и падением температуры ($\Delta\theta$):

$$\theta = \theta_0 - \Delta\theta \quad (12)$$

где, θ обозначает $\theta_{h,v}, W_{h,k}, \theta_{h,ch}, W_{h,ch}, \theta_{f,k}, \theta_{f,ch}, G_h$ и G_f соответственно.

Таким образом, объединенные переменные можно сделать линейными, используя массив Тейлора первого порядка:

$$\sigma = \sigma_o + \left(\frac{\partial\sigma}{\partial\theta}\right)_o \Delta\theta' \quad (13)$$

где, σ обозначает a_{gf}, a_{gh} и λ_f соответственно; θ' для $u_h(G_h)$ или $u_f(G_h)$ и Δ для увеличения переменных.

Эффективность рационального теплообмена η_s определяется как:

$$\eta_s = \frac{(\theta_p - \frac{\theta_{h,v} + \theta_{h,ch}}{2})}{(\theta_g - \frac{\theta_{h,v} + \theta_{h,ch}}{2})} \quad (14)$$

По уравнению (17) θ_p можно выразить как:

$$\theta_p = \eta_s \theta_g - (\eta_s - 1) \frac{\theta_{h,v} + \theta_{h,ch}}{2} \quad (15)$$

Мы можем выразить температуру воздуха, выходящего из дополнительного охлаждающего устройства, на основе выражения (15) следующим образом:

$$\theta_{h,ch} = \frac{2 \cdot (\eta_s \theta_g - \theta_p)}{\eta_s - 1} - \theta_{h,v} \quad (16)$$

Согласно формуле закона охлаждения Ньютона, чем больше разница температур между охлаждаемым телом и окружающей средой, тем быстрее передается тепло на поверхности тела, то есть тем быстрее снижается его температура. Формула закона охлаждения Ньютона выражается как

$$\theta(t) = \theta_{h,ch} + (\theta_t - \theta_{h,ch})e^{-kt} \quad (17)$$

где, t – время охлаждения, минута; $\theta(t)$ – температура данного тела в момент t , °C; $\theta_{h,ch}$ – температура внешней среды, °C; θ_t – начальная температура тела, °C; k – постоянный.

Под влиянием коэффициента загрузки (K) и внешней температуры (θ_h) происходит повышение температуры трансформатора θ_{tr} . На основе выражения (17) изменение температуры трансформатора разработаны математические модели (18) и (20) для двухступенчатого процесса охлаждения.

1) Для «вентилятора»:

$$\theta_{m.x}(t) = \left(\theta_{h,k} - \frac{q_c}{\rho_h c_h G_{h,v}}\right) + \left(\theta_m - \left(\theta_{h,k} - \frac{q_c}{\rho_h c_h G_{h,v}}\right)\right) e^{-kt_1} \quad (18)$$

если $\Delta\theta_m = \theta_{tr.x}(t)$ с использованием выражения (2), то температура наиболее горячей точки изоляции обмотки трансформатора в результате охлаждения «Вентилятором» выражается следующим образом.

$$\theta_{tr.v} = \theta_h + \theta_{m.x}(t) \cdot \left[\frac{1+R \cdot (K)^2}{1+R}\right]^x + \Delta\theta_{i.m} \cdot (K)^y, \quad (19)$$

2) Для «вентилятор + хладагентный охладитель»:

$$\theta_{tr.y}(t) = \left(\frac{2 \cdot (\eta_s \theta_g - \theta_p)}{\eta_s - 1} - \left(\theta_{h,k} - \frac{q_c}{\rho_h c_h G_{h,v}}\right)\right) + \left(\theta_m - \left(\frac{2 \cdot (\eta_s \theta_g - \theta_p)}{\eta_s - 1} - \left(\theta_{h,k} - \frac{q_c}{\rho_h c_h G_{h,v}}\right)\right)\right) \cdot e^{-kt_2} \quad (20)$$

если $\Delta\theta_m = \theta_{tr.y}(t)$ с использованием выражения (16), то температура самой горячей точки изоляции обмотки трансформатора при охлаждении «Вентилятор + охлаждающая жидкость» выражается следующим образом:

$$\theta_{tr.vf} = \theta_h + \theta_{m.y}(t) \cdot \left[\frac{1+R \cdot (K)^2}{1+R}\right]^x + \Delta\theta_{i.m} \cdot (K)^y, \quad (21)$$

Разработана математическая модель, позволяющая определить температуру силового трансформатора в эксплуатации, с учетом дополнительного процесса охлаждения, принимая в качестве входных параметров коэффициента загрузки, температуру масла и внешней среды. На основе данной математической модели разработан алгоритм определения процесса изменения температуры масло силового трансформатора дополнительным охлаждением (рис.4).

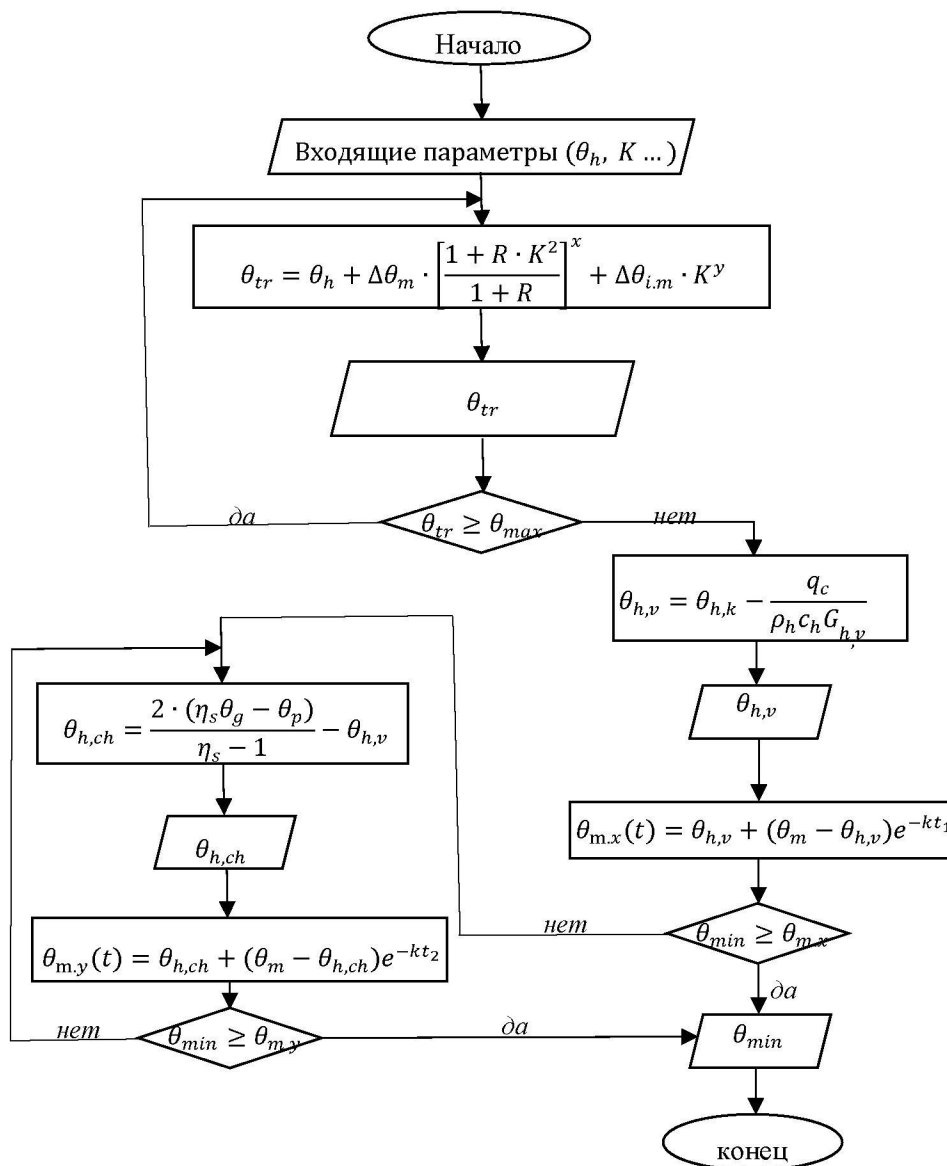


Рис.4. Алгоритм определения процесса изменения температуры масляного силового трансформатора путем дополнительного охлаждения

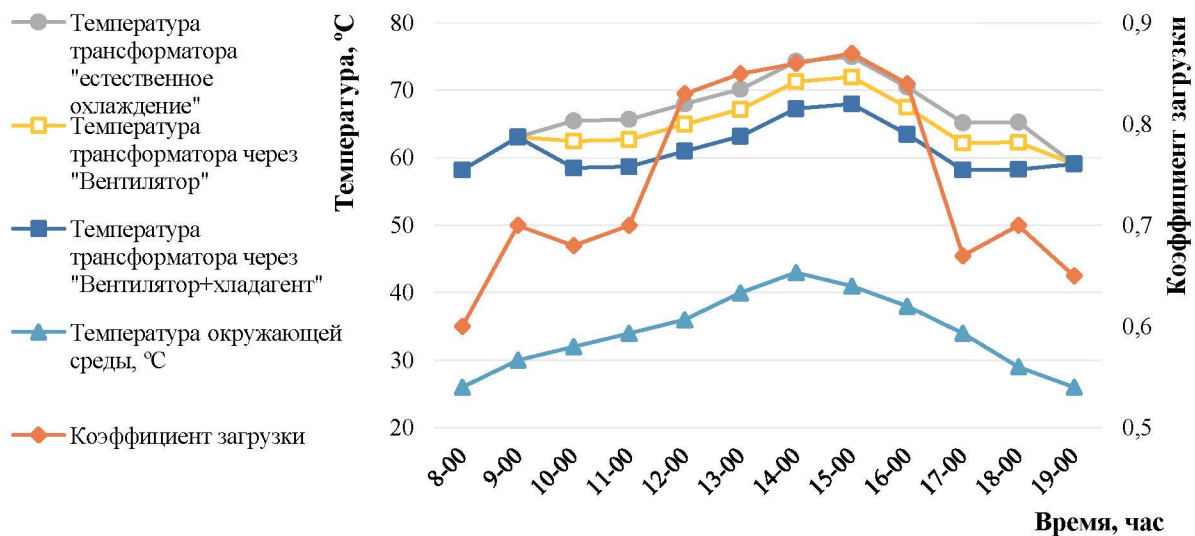


Рис. 5. Результаты расчета применения способа дополнительного охлаждения трансформатора

Проведены расчеты с помощью разработанной математической модели. В результате достигнуто снижение температуры масляного силового трансформатора на 7-9 °С (в среднем на 7,98 °С или на 10%) на основе теоретических исследований.

В третьей главе диссертации **“Разработка установки для дополнительного охлаждения масляных силовых трансформаторов и проведение экспериментальных исследований”** на основе последовательности **“трансформатор - датчики температуры - вентилятор - компрессор - холодильная камера с хладагентом”** разработана установка, позволяющая дополнительно охлаждать масляные силовые трансформаторы в эксплуатации (рис.6).



Рис. 6. Процессы подготовки и обзор установки дополнительного охлаждения масляных силовых трансформаторов с системой охлаждения М (ONAN)

Экспериментальные исследования проводились с применением разработанной установки на масляных силовых трансформаторах напряжением 10/0,4 кВ мощностью 1000 кВА и 6 1600 кВА с системой охлаждения М(ONAN), находящихся в эксплуатации на предприятии ООО «Quva tekstil» (рис.7).

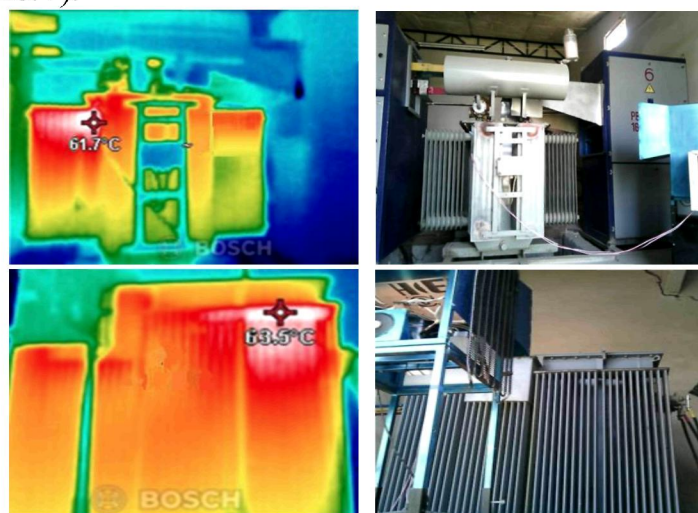


Рис. 7. Процессы экспериментальных исследований

На основе проведенных экспериментальных исследований достигнуто снижение температуры эксплуатируемого масляного силового трансформатора в среднем $\theta_{(ср.разница)} \approx 7,36 \text{ } ^\circ\text{C}$ (или на 11%) (рис.8).

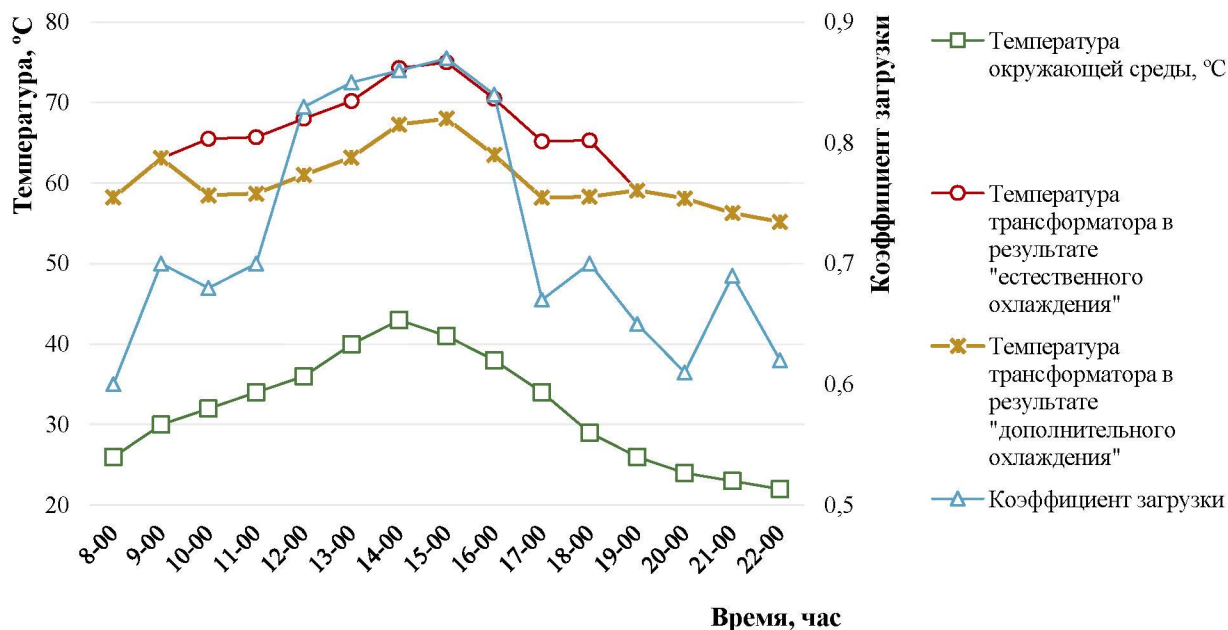


Рис. 8. Разница температур до и после установки дополнительного охлаждения на масляный силовой трансформатор

Сопоставлены результаты теоретических и экспериментальных исследований. В результате было установлено, что разница (адекватность) между ними составляет 7-8% (рис. 9).

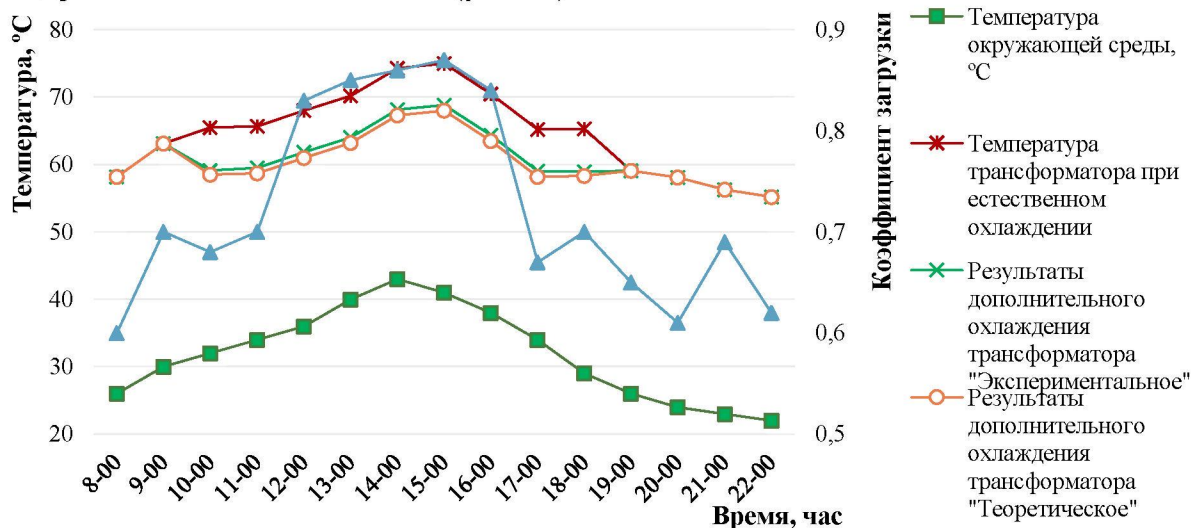


Рис. 9. График сравнения результатов теоретических и экспериментальных исследований на основе дополнительного охлаждения трансформаторов

В четвертой главе диссертации «Оценка надежности работы эксплуатируемых масляных силовых трансформаторов путем применения дополнительной охлаждающей установки» разработан метод оценки надежности масляных силовых трансформаторов с учетом технологии дополнительного охлаждения и срока службы изоляции обмотки.

Надежность работы масляных силовых трансформаторов в эксплуатации во многом обусловлена надежностью их обмоток. На основе высоких температур трансформаторов, выявленных в экспериментальных исследованиях, были выполнены следующие расчеты.

1. С помощью метода, разработанного Монтзингером, время работы изоляции определялось для трех различных состояний:

$$T_{\text{время работы}_0} = A_0 \cdot 2^{-\frac{T_0}{\Delta T}} = 25,5 \text{ лет или } (223\ 380 \text{ часов})$$

$$T_{\text{время работы}_1} = A_{01} \cdot 2^{-\frac{T_1}{\Delta T}} = 3,3 \text{ года или } (28\ 908 \text{ часов})$$

$$T_{\text{время работы}_2} = A_{01} \cdot 2^{-\frac{T_2}{\Delta T}} = 6 \text{ лет или } (52\ 560 \text{ часов})$$

где, A_0 – срок службы изоляции обмотки (в соответствии с нормативными документами установлен на уровне $6,225 \cdot 10^4$ лет); T_0 – температура нагрева изоляции, определяемая как $T_0 = 90$ °С для класса Y; ΔT – предельное значение повышения температуры (в соответствии с нормативными документами 6-12 °С); $T_{\text{время работы}_0}$ – время работы введенного в эксплуатацию нового масляного силового трансформатора; $T_{\text{время работы}_1}$ – время работы масляного силового трансформатора с высокой температурой; $T_{\text{время работы}_2}$ – время работы масляного силового трансформатора в эксплуатации с применением установки дополнительного охлаждения.

Интенсивность отказов трансформаторов рассчитывалась для случаев до и после дополнительного охлаждения. В результате интенсивность отказов трансформаторов составила $0,000035 \text{ час}^{-1}$ и $0,000019 \text{ час}^{-1}$ соответственно для случаев до и после дополнительного охлаждения.

Математическое ожидание:

$$M_1(t) = \sum_{i=1}^n P_{i1} t_{i1} = 376059,4074 \text{ ч}$$

$$M_2(t) = \sum_{i=1}^n P_{i2} t_{i2} = 450980,9278 \text{ ч}$$

Дисперсия:

$$D_1(t) = \sum_{i=1}^n P_{i1} t_{i1}^2 - M_1(t) = 24634397024 \text{ ч}$$

$$D_2(t) = \sum_{i=1}^n P_{i2} t_{i2}^2 - M_2(t) = 29809114679 \text{ ч}$$

Среднее квадратичное отклонение:

$$\sigma_1(t) = \sqrt{D_1(t)} = 156\ 953,48 \text{ ч}$$

$$\sigma_2(t) = \sqrt{D_2(t)} = 172\ 653,16 \text{ ч}$$

Коэффициент вариации:

$$V_1(t) = \frac{\sigma_1(t)}{M_1(t)} = 0.38$$

$$V_2(t) = \frac{\sigma_2(t)}{M_2(t)} = 0.36$$

Процесс оценки эксплуатационной надежности масляных силовых трансформаторов был выполнен для двух случаев с использованием экспоненциальной функции распределения.

$$P(t) = e^{-\lambda t}$$

При этом надежность эксплуатируемого масляного силового трансформатора оценивалась показателем $P_1(t)$ для состояния до применения установки дополнительного охлаждения и показателем $P_2(t)$ для состояния после применения установки дополнительного охлаждения. Результаты оценки представлены на рис. 10.

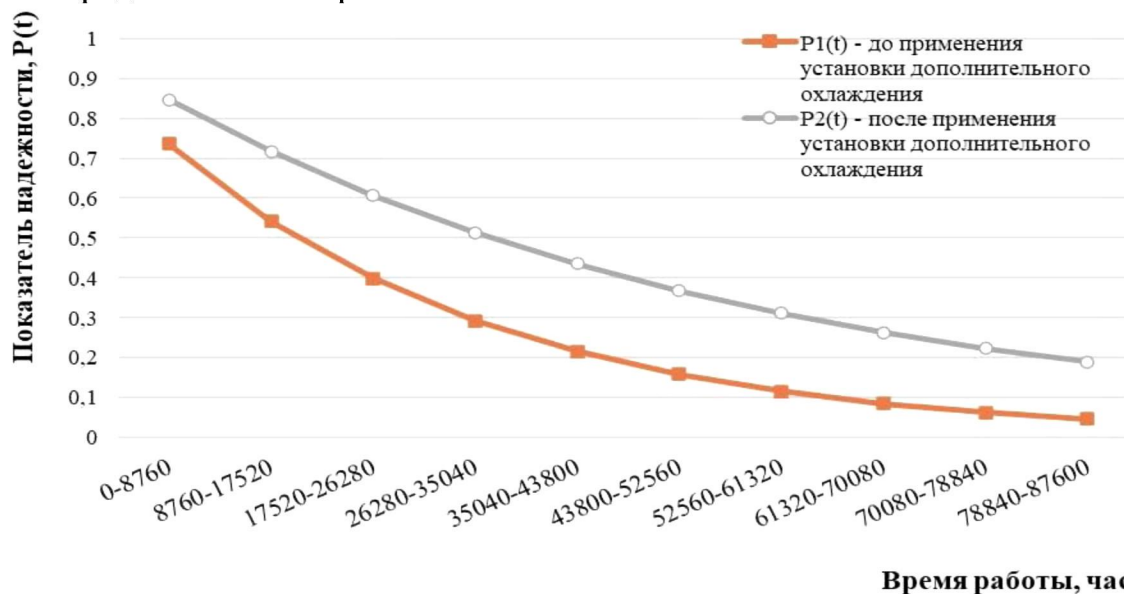


Рис. 10. Результаты оценки надежности эксплуатируемых масляных силовых трансформаторов

В результате за счет применения установки дополнительного охлаждения срок службы масляных силовых трансформаторов увеличился с 28 908 ч до 52 560 ч, то есть 23 652 ч, или в среднем в 2 раза.

Ожидаемая экономическая эффективность в результате дополнительного охлаждения масляного силового трансформатора (за счет увеличения его срока службы и снижения потерь энергии) оценивалась следующим образом:

$$C_{\Sigma(1000 \text{ кВА})} = C + X_1 = 1\,314\,630 + 3\,200\,000 = 4\,514\,630 \text{ сум}$$

$$C_{\Sigma(1600 \text{ кВА})} = C + X_1 = 1\,314\,630 + 4\,600\,000 = 5\,914\,630 \text{ сум}$$

На предприятии ООО «Quva tekstil» эксплуатируются 6 силовых трансформаторов мощностью 1000 кВА и 4 силовых трансформаторов мощностью 1600 кВА напряжением 10/0,4 кВ (общее количество 10 единиц). В результате дополнительного охлаждения этих трансформаторов (за счет снижения потерь энергии) в жаркие периоды года (май-сентябрь) достигнута экономия электроэнергии в среднем 2518,6 кВт·ч и увеличение их срока службы в среднем в 2 раза. В результате дополнительного охлаждения 10 силовых трансформаторов на предприятии ООО «Quva tekstil» ожидаемая экономическая эффективность (за счет увеличения его срока службы и снижения потерь энергии) составила 50 746 300 сум.

Заключение

На основе результатов исследований, проведенных по теме «Повышение надежности эксплуатируемых масляных силовых трансформаторов путем усовершенствования системы охлаждения» диссертационной работы доктора философии (PhD) по техническим наукам, представлено следующее заключение:

1. Проведены научные исследования по определению возможности основанный на автоматическом включении при превышении температуры от нормативных значений и направлении потока холодного воздуха в горячую точку масляных силовых трансформаторов с системой охлаждения M(ONAN). В результате был разработан способ дополнительного охлаждения масляных силовых трансформаторов.

2. Проведены теоретические исследования процессов дополнительного охлаждения масляного силового трансформатора с использованием закона сохранения энергии, закона сохранения массы, ряда Тейлора, процессов теплопередачи и закона охлаждения Ньютона. В результате разработана математическая модель, позволяющая определить температуру эксплуатируемого силового трансформатора с учетом дополнительного процесса охлаждения, принимая в качестве входных параметров коэффициента загрузки, температуры масла и окружающей среды;

3. Проведены расчеты с помощью разработанной математической модели. В результате достигнуто снижение температуры масляного силового трансформатора на 7-9 °С (в среднем на 7,98 °С или на 10%) на основе теоретический исследований.

4. Разработана установка для дополнительного охлаждения масляных силовых трансформаторов на основе последовательности «трансформатор - датчики температуры – вентилятор – компрессор – холодильная камера с хладагентом» и проведены экспериментальные исследования с помощью этой установки. В результате достигнуто снижение температуры эксплуатируемого масляного силового трансформатора в среднем 7,36 °С (или на 11%).

5. Сопоставлены результаты теоретических и экспериментальных исследований. В результате было установлено, что разница (адекватность) между ними составляет 7-8%.

6. Разработан метод, позволяющий оценить надежность масляных силовых трансформаторов с учетом технологии дополнительного охлаждения и срока службы изоляции обмотки, с помощью которого проведены расчеты. В результате установлено, что срок службы эксплуатируемого масляного силового трансформатора увеличился с 28 908 часов до 52 560 часов, то есть в среднем в 2 раза.

7. Установка, позволяющая дополнительно охлаждать эксплуатируемые силовые трансформаторы (с системой охлаждения M (ONAN)), внедрена на предприятии ООО «Quva tekstil». В результате за счет повышения надежности эксплуатируемых на предприятии масляных силовых трансформаторов достигнута годовая экономическая эффективность в размере 50 746 300 сум.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARDING DEGREE OF DOCTOR OF
SCIENCE DSc.02/30.12.2021.T.143.01
AT INSTITUTE OF ENERGY PROBLEMS OF ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN**

**FERGANA POLYTECHNIC INSTITUTE
INSTITUTE OF ENERGY PROBLEMS OF THE ACADEMY OF
SCIENCES OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN**

MUXAMMADJONOV MUXAMMADYUSUF SHUXRAT UGLI

**IMPROVING THE RELIABILITY OF OPERATED POWER OIL
TRANSFORMERS BY IMPROVING THE COOLING SYSTEM**

05.05.01 – Energy systems and complexes

**DISSERTATION ABSTRACT OF DOCTOROL OF PHILOSOPHY (PhD)
ON TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent – 2024

The topic of dissertation of doctor of philosophy (PhD) in technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2022.4.PhD/T3322.

Dissertation has been prepared at the Institute of Energy Problems of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website of Scientific council (ww.energetika.uz) and on Information-educational portal «ZiyoNet» (www.ziyo.net/uz).

Scientific supervisor:

Yusupov Dilmurod Turdalievich

Philosophy of doctor in technical sciences, senior researcher.

Official opponents:

Xamidov Shuxrat Vaxidovich

Doctor of technical sciences, Professor

Hoshimov Ural Hoshimovich

Philosophy of doctor in technical sciences

Leading organization:

Karshi engineering economics institute

The defense of the dissertation will take place on " 11 " December 2024 at 10⁰⁰ hours at a meeting of the Scientific Council DSc.02/12.30.2021.T 143.01 at the Institute of Energy Problems of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan (Address: 40, Durmon yuli str., Tashkent, 100164. Phone number: (+99897) 480-28-07, e-mail: energetika_in@mail.uz).

The dissertation can be found at the Information and Resource Center of the Institute of Energy Problems of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan (Address: 40, Durmon yuli str., Tashkent, 100164. Phone number: (+99897) 480-28-07).

Abstract of the dissertation is posted 28 November 2024.

(Mailing Protocol No 12 dated 27 November 2024).



Kh.M. Muratov

Chairman of scientific council for degrees,
Doctor of technical sciences, professor

J.N. Tolipov

Scientific secretary of the scientific council
on awarding scientific degrees, PhD, senior
researcher

O.Kh. Ishnazarov

Chairman of the scientific seminar, Doctor of
technical sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

The aim of the research is to increase the reliability of oil power transformers (with cooling system M(ONAN)) in operation by improving the cooling system.

The tasks of the research are

development of additional cooling method for oil power transformers with M(ONAN) cooling system;

the development of a mathematical model that allows for the determination of the process of changing the temperature of operating oil power transformers by additional cooling;

development of an additional cooling device for operational oil power transformers, conducting pilot studies and comparing the obtained results;

assessment of the reliability of oil power transformers in operation using an additional cooling device.

The object of research oil power transformers of operation with a natural air and oil circulation cooling system were obtained.

The scientific novelty of the research consist of following:

a method has been developed to provide additional cooling based on automatic switching on when the temperature exceeds the standard values and the direction of cold air flow to the hot spot of oil power transformers with a cooling system M (ONAN).

a mathematical model has been developed to determine the temperature of the operated power transformer, taking into account the additional cooling process, taking as input parameters the load factor, the temperature of the oil and the environment;

an installation has been developed that provides additional cooling of operated oil power transformers based on the sequence "transformer – temperature sensors – fan – compressor – cooling chamber with refrigerant";

a method has been developed to assess the reliability of power oil transformers, taking into account the technology of additional cooling and the service life of the winding insulation.

Implementation of research results.

Based on the scientific results obtained on increasing the reliability of oil power transformers with the M (ONAN) cooling system in operation by using the additional cooling method:

a device that allows additional cooling of oil power transformers (with M (ONAN) cooling system) in operation was introduced to the enterprise "Quva tekstil" LLC (No. 11/03-30-6544 dated June 6, 2023 of the Chamber of Commerce and Industry of Uzbekistan reference). As a result, a total of 50,746,300 soums of economic efficiency was achieved by additional cooling of 10 units (6 units of 1000 kVA capacity and 4 units of 1600 kVA capacity) oil power transformers with a voltage of 10/0.4 kV at the "Quva tekstil" LLC enterprise.

the method that allows to assess the operational reliability of oil power transformers with M (ONAN) cooling system in operation was introduced to the enterprise "Quva tekstil" LLC (No. 11/03-30-6544 dated June 6, 2023 of the

Chamber of Commerce and Industry of Uzbekistan reference). As a result, it was determined that the service life of oil power transformers in operation increased from 28,908 hours to 52,560 hours, i.e., an average increase of 2 times.

The publication of the results of the study. A total of 25 scientific works on the topic of the dissertation, 5 scientific articles, including 1 foreign and 4 local journals, were published in the scientific publications of the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan recommended for publication of the main scientific results of dissertations. The research results were approved at 17 scientific-practical conferences, including 6 international and 11 national conferences. Certificates were obtained for 3 computer programs.

The structure and volume of the research work.

The content of the dissertation consists of an introduction, four chapters, general conclusions, a list of references and applications. The volume of the dissertation is 119 pages.

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

I bo'lim (I часть; I part)

1. Muxammadjonov M.Sh. Kuch transformatorlarining turlari va sovutish tizimlari tahlili // FarPI Ilmiy-texnika jurnali, Farg'ona sh., 2023 y., 1-son, 27-Tom, 104-108-b. (05.00.00; № 20)
2. Yusupov D.T., Muxammadjonov M.Sh. Effect of external temperature and load on the heating of oil power transformers in long-term operation // Journal of Engineering and Technology (JET). India. 2022 year, Volume 12, Issue 2, pp. 129-134. (05.00.00; № 31)
3. Yusupov D.T., Muxammadjonov M.Sh. Inspection of oil power transformer insulation period // Scientific and Technical Journal Namangan Institute of Engineering and Technology. Namangan c., 2022 year, Volume 7, Issue 2, pp. 244-248. (05.00.00; № 33)
4. Yusupov D.T., Muxammadjonov M.Sh., Abduraximov D.R. Effect of high temperature on reliability of operation of oil power transformers // Scientific-technical journal of FerPI, Fergana c., 2022 year, Volume 26, Special Issue 10, pp. 175-178 (05.00.00; № 20)
5. Yusupov D.T., Muxammadjonov M.Sh. Moyli kuch transformatorlarining issiqlik jarayonlarini yuzaga kelish sabablarini tadqiq qilish // Farg'ona politexnika instituti Ilmiy-texnika jurnali, Farg'ona shahri 2022 y., Maxsus 5-son, 197-200- b. (05.00.00; № 20)

II bo'lim (II часть; II part)

6. Yusupov D., Muhammadjonov M. et al. Development of the Algorithm of Additional Cooling Process for Oil Power Transformers with ONAN Cooling System //ICTEA: International Conference on Thermal Engineering. – 2024. – T. 1. – №. 1. <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59227875400>
7. Yusupov D.T., Muxammadjonov M.Sh. Eksploatatsiyadagi moyli kuch transformatori izolyatsiyasining ishlash muddatini hisoblash // EHM dasturi uchun guvohnoma DGU 27931, O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi "Intellektual mulk markazi" davlat muassasasi, ro'yxatdan o'tkazilgan sana 09.10.2023 y.
8. Muxammadjonov M.Sh. Moyli kuch transformatorini qo'shimcha sovutish orqali ishlash ishonchligini baholash // EHM dasturi uchun guvohnoma DGU 28902, O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi "Intellektual mulk markazi" davlat muassasasi, ro'yxatdan o'tkazilgan sana 07.11.2023 y.
9. Muxammadjonov M.Sh., Karimov N.U. Qo'shimcha sovutuvchi qurilma yordamida sovitilgan kuch transformatori haroratini hisoblash // EHM dasturi uchun guvohnoma DGU 30883, O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi "Intellektual mulk markazi" davlat muassasasi, ro'yxatdan o'tkazilgan sana 11.12.2023 y.

10. Юсупов Д.Т., Мухаммаджонов М.Ш. Способ дополнительного охлаждения масляных силовых трансформаторов с естественной циркуляцией // VI Международная молодежная научно-практическая конференция «Энергостарт», Россия, г. Кемерово, 17-22 ноября 2023 г. С. 313-1-4.

11. Юсупов Д.Т., Мухаммаджонов М.Ш. Основные влияющие факторы на охлаждающие процессы масляных трансформаторов // III Международная научная конференция на тему “Актуальные вопросы прикладной физики и энергетики”, Азербайджан, г. Сумгаит, 27-28 октября 2022 г. С. 149-151.

12. Юсупов Д.Т., Мухаммаджонов М.Ш. Эффективный метод охлаждения силовых масляных трансформаторов // V Международная молодежная научно-практическая конференция «Энергостарт», Россия, г. Кемерово, 20-22 октября 2022 г. С. 321 – 1-3.

13. Юсупов Д.Т., Мухаммаджонов М.Ш. Факторы, влияющие на работу силовых трансформаторов // Международная молодежная научная конференция на тему «Энергетика и цифровая трансформация», Россия, г. Казань, 27-29 апреля 2022 г. С. 340-342.

14. Yusupov D.T., Muxammadjonov M.Sh. Using the matlab program in studying oil power transformers // VII Международная научно-практическая конференция «Энергетика и энергосбережение: теория и практика» Россия, г. Кемерово, 7-9 декабря 2022 г. С. 355 – 1-4.

15. Yusupov D.T., Muxammadjonov M.Sh., Кодиров Х.М., Хамракулова Х.А. Влияние температуры окружающей среды на эксплуатируемый силовой масляный трансформатор // VI Всероссийская научно-практическая конференция «Энергетика и энергосбережение: Теория и практика». Россия, г. Кемерово, 8-10 декабря 2021 г. С. 426 – 1-3.

16. Muxammadjonov M.Sh. Ekspluatatsiyadagi moyli kuch transformatorlarini qo‘shimcha sovitish imkoniyatlari // “Kelajak samarali energetikasi: muammolar va yechimlar” xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya. Farg‘ona sh., 2023 yil 14-15 dekabr, 66-69-b.

17. Yusupov D.T., Muxammadjonov M.Sh. Transformatorlarning qizishiga ta’sir etuvchi omillarni korrelyatsion usulda aniqlash // “Fan, ta’lim va ishlab chiqarishning integratsiyasi – rivojlanish va taraqqiyot garovi” xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya. Navoiy sh., 2022 yil 9-10 iyun, 198-200-b.

18. Yusupov D.T., Muxammadjonov M.Sh. Moyli kuch transformatorlarining chulg‘am izolyatsiyasiga ta’sir etuvchi omillar va ularni bartaraf etish chora tadbirlari // “Energiya va resurs tejankor innovatsion texnologiyalar rivojining dolzarb muammolari” mavzusidagi respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi. Qarshi sh., 2022 yil 23-24-sentyabr, 104-106-b.

19. Yusupov D.T., Muxammadjonov M.Sh. Moyli kuch transformatorlarining qizish nuqtasi haroratini aniqlash parametrlari // “Oliy ta’lim muassasalarida raqobatbardosh kadrlar tayyorlashning zamonaviy integratsiyasini ta’minlash: muammolar va yechimlar” mavzusidagi respublika miqyosidagi ilmiy-texnikaviy anjumani. Qo‘qon sh., 2022 yil 27 may, 225-227-b.

20. Yusupov D.T., Muxammadjonov M.Sh., Anvarov R.Sh., Toshpo‘latova F.Sh. Kimyo sanoati korxonalarida ekspluatatsiyada bo‘lgan kuch moy

transformatorlarida issiqlik jarayonlari tahlili // “Zamonaviy kimyo va innovatsiyalarning xalq xo‘jaligini rivojlantirishdagi o‘rni” xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya. Farg‘ona sh., 2021 yil 27-28 may, 238-239-b.

21. Yusupov D.T., Muxammadjonov M.Sh., Boltaboyev V.O. Katta quvvatli kuch moy transformatorlarining sovutish samaradorligi tahlili // “Zamonaviy kimyo va innovatsiyalarning xalq xo‘jaligini rivojlantirishdagi o‘rni” xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya. Farg‘ona sh., 2021 yil 27-28 may, 243-244-b.

22. Yusupov D.T., Muxammadjonov M.Sh., Qodirov X.M. Iqlim o‘zgarishi va yuklama ortishini transformatorlarning sovutish tizimiga ta’siri // “Iqtisodiyot tarmoqlari va ijtimoiy soxaning energiya samaradorligini oshirishga qaratilgan avtomatlashtirish va energetika muammolarni yechishda ilg‘or innovasion texnologiyalar va ta’limni o‘rni” mavzusidagi respublika ilmiy-texnik anjumani. Namangan sh., 2021 yil 24-25 iyun, 674-675-b.

23. Yusupov D.T., Muxammadjonov M.Sh., Boltaboyev V.O. Kuch moy transformatorlarining sovutish tizimi haqida // “Fizika fanining texnika sohasidagi tutgan o‘rni” mavzusidagi respublika ilmiy-amaliy anjumani. Nukus sh., 2021 yil 28-may, 240-24-b.

24. Yusupov D.T., Muxammadjonov M.Sh., Boltaboyev V.O., Anvarov R.Sh., Toshpo‘latova F.Sh. Moyli kuch transformatorlarining sovutish tizimiga ta’sir etuvchi omillarni tadqiq qilish // “Elektr energetikasi ta’minoti tizimi uzluksizligini ta’minlash dolzarb muammolarining samarador yechimlari” mavzusida respublika ilmiy – texnika anjumani. Farg‘ona sh., 2021 yil 3-4 dekabr, 172-174-b.

25. Yusupov D.T., Muxammadjonov M.Sh., Boltaboyev V.O., Anvarov R.Sh., Toshpo‘latova F.Sh. Moyli transformatorlarning issiqligidan oqilona foydalanish // “Elektrotexnika, elektromexanika, elektrotexnologiyalar va elektrotexnika materiallari” mavzusida respublika ilmiy-texnik anjumani. Andijon sh., 2021 yil 22 dekabr, 108-109-b.

Bosishga ruxsat etildi: 27.11.2024-yil.
Bichimi 60x84^{1/16}, «Times New Roman»
garniturada raqamli bosma usulida bosildi.
Shartli bosma tabog‘i 2.8. Adadi: 100. Buyurtma: № 128.
Tel (99) 817 44 54.
Guvohnoma reyestr № 219951
«PUBLISHING HIGH FUTURE» OK nashriyotida bosildi.
Toshkent sh., Uchtepa tumani, Ali qushchi ko‘chasi, 2A-uy.