ISNN 3030-3907

2026/2
VOLUME 5

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/2 VOLUME 5

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

KUCH TRANSFORMATORLARINI DIAGNOSTIKA QILISHNING ASOSIY USULLARI

Maxsudov Moxirbek Tolibjonovich
Andijon davlat texnika instituti, Elektr muhandisligi kafedrasi dotsenti
E-mail:mohirbek2702@mail.ru

Annotatsiya. Maqolada kuch transformatorlarini diagnostika qilishning asosiy me'yoriy va muqobil usullari kompleks tahlil qilindi. Diagnostika usullari ikki asosiy guruhga - o'lchash va tahlil qilish usullari hamda izolyatsiya xususiyatlarini baholash usullariga ajratildi. Transformatorlarning asosiy tizimlari va tarkibiy qismlarida yuzaga keladigan shikastlanishlar, ularning kelib chiqish sabablari hamda ekspluatatsiya jarayonidagi ishonchlilik masalalari ko'rib chiqildi. Mamlakatimiz va jahon miqyosida transformatorlarning katta qismi belgilangan xizmat muddatidan ortiq ishlayotgani sababli, ularning texnik holatini baholash va xizmat muddatini uzaytirish dolzarb masala ekanligi asoslab berildi.

Kalit so'zlar: kuch transformatori, diagnostika, texnik holatni baholash, izolyatsiya, qisman razryad, transformator moyi, sun'iy intellekt, onlayn monitoring.

Аннотация. В статье проведён комплексный анализ основных нормативных и альтернативных методов диагностики силовых трансформаторов. Методы диагностики разделены на две основные группы - методы измерения и анализа параметров, а также методы оценки состояния изоляции. Рассмотрены основные системы и конструктивные элементы трансформаторов, возникающие в них повреждения, причины их появления, а также вопросы надёжности в процессе эксплуатации. Обоснована актуальность оценки технического состояния и продления срока службы трансформаторов, поскольку значительная их часть как в нашей стране, так и в мире эксплуатируется сверх установленного срока службы.

Ключевые слова: силовой трансформатор, диагностика, оценка технического состояния, изоляция, частичные разряды, трансформаторное масло, искусственный интеллект, онлайн-мониторинг.

Annotation. The article provides a comprehensive analysis of the main regulatory and alternative diagnostic methods for power transformers. The diagnostic methods are divided into two main groups: measurement and analytical methods, and insulation condition assessment methods. The main systems and structural components of transformers, the faults that occur in them, their causes, and reliability issues during operation are examined. It is substantiated that assessing the technical condition and extending the service life of transformers is a pressing

ISSN 3030-3907

issue, since a significant proportion of transformers both in our country and worldwide are operated beyond their specified service life.

Keywords: power transformer, diagnostics, technical condition assessment, insulation, partial discharge, transformer oil, artificial intelligence, online monitoring.

KIRISH.

So‘nggi bir necha o‘n yillikda mamlakatimiz sanoati rivojlanib borayotgani sababli elektr energiyasiga bo‘lgan ehtiyoj oshmoqda. Shu bilan birga, elektr uskunalarga tushadigan yuklama ham ortib bormoqda

Bunda eng asosiy va qimmat turdagi elektr uskunalardan biri – kuch transformatorlari bo’lib, belgilangan xizmat muddati (taxminan 25 yil)dan ancha ortiq muddat davomida ekspluatatsiya qilinmoqda. 2026 yil boshiga kelib bunday transformatorlar ulushi 30 % dan ortiqni tashkil etgan.

Kuch transformatorining xizmat muddati asosan qattiq izolyatsiya holatiga bog‘liq [1]. Agar transformator to‘g‘ri va ortiqcha yuklamalarsiz ekspluatatsiya qilinsa, 25 yil davomida qattiq izolyatsiya deyarli barcha izolyatsion xususiyatlarini saqlab qoladi. Har holda, belgilangan xizmat muddati o‘tgandan keyin ham qattiq izolyatsiya qoniqarli holatda bo‘lishi mumkinligini ishonch bilan aytish mumkin.

ADABIYOTLAR TAHLILI. Statistik tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, O’zbekistonda transformatorlarning yarmidan ko‘pi 20-30 yildan ortiq vaqt davomida ishlatilmoqda. Eski transformatorlar nafaqat bizda, balki boshqa mamlakatlarda ham ko‘p uchraydi. Shu sababli xizmat muddatini uzaytirish masalasi dolzarb ahamiyat kasb etmoqda. Masalan, Germaniya mutaxassislari ham ushbu g‘oyani qo‘llab-quvvatlaydilar, chunki Germaniyada transformatorlar 40 yil ekspluatatsiyadan keyin ham normal ishlamoqda. Biroq Germaniyada transformatorlar nisbatan past yuklama sharoitida ishlaydi [2].

Ko‘plab energiya tizimlarida transformatorlar parkining yarmidan ko‘pi 25-30 yildan ortiq muddat davomida ekspluatatsiya qilinmoqda. Bunday holat jahon miqyosidagi umumiy tendensiya hisoblanadi. Deyarli barcha mamlakatlarda transformatorlar xizmat muddatini uzaytirish masalasi tobora dolzarb bo‘lib bormoqda. Masalan, Germaniya elektr tarmoqlari kompaniyalarida transformatorlarni ta’mirlash tajribasi shuni ko‘rsatdiki, ko‘p hollarda transformatorlarning aktiv qismi qoniqarli holatda bo‘lgan va chulg‘amlarni almashtirishni talab qilmagan. Hatto 40 yildan ortiq ekspluatatsiya qilingan transformatorlarda ham shunday holat kuzatilgan. Bunday ijobiy holat, odatda, ekspluatatsiya davrida yuklamaning nisbatan past bo‘lgani bilan izohlanadi.

ISSN 3030-3907

Biroq transformatorlar hamda umuman energiya tizimining zarur ishonchliligini ta’minlash uchun belgilangan xizmat muddatini o‘tagan transformatorlar texnik holati bo‘yicha puxta nazoratdan o‘tkazilishi lozim. Shu sababli ayni paytda kuch transformatorlarini diagnostika qilish bilan bog‘liq barcha masalalar alohida ahamiyat kasb etmoqda. Mazkur maqolada transformatorlarning texnik holatini baholash va diagnostika qilish usullari, transformatorlarning asosiy tizimlari hamda tarkibiy qismlarida yuzaga kelishi mumkin bo‘lgan nuqson va nosozliklar ko‘rib chiqiladi va tahlil qilinadi.

TADQIQOT METODOLOGIYASI

Kuch transformatorlarining holati elektr ta’minotining ishonchliligi va sifatiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Shu bilan birga, transformator uskunalarining qiymati energiya xo‘jaligi jihozlari umumiy qiymatining salmoqli qismini tashkil etadi. Transformatorlarda harakatlanuvchi qismlar yo‘qligi ularning ishonchliligini oshiradi. Biroq, har qanday sanoat uskunasi kabi, transformatorlarda ham tipik avariyalar kuzatilishi mumkin: fazalararo qisqa tutashuvlar, o‘ramlararo qisqa tutashuvlar, yerga tutashuvlar va boshqalar. Transformatorlarga tashqi omillar ham salbiy ta’sir ko‘rsatadi, masalan, ortiqcha yuklama, moy haroratining oshishi va hokazo. Endi transformatorlarda asosiy turdagi shikastlanishlarning paydo bo‘lish sabablarini ko‘rib chiqamiz.

Transformatorlarda shikastlanishlarning yuzaga kelishining asosiy sabablari [3].:

- xodimlar aybi bilan ekspluatatsiya qoidalarining buzilishi;
- tashqi yoki ichki sabablarga ko‘ra avariyaviy va reglamentga kirmagan ish rejimlarining yuzaga kelishi;
- ekspluatatsiya jarayonida izolyatsiyaning sekin, ammo uzluksiz tabiiy eskirishi;
- ishlab chiqaruvchilar tomonidan sifatsiz transformator uskunalarining yetkazib berilishi (transformatorlar ishlashidagi buzilishlarning uchdan bir qismi);
- sifatsiz ta’mirlash va montaj ishlari (holatlarning uchdan ikki qismi).

Hozirgi vaqtda diagnostika muammosiga katta e’tibor qaratilayotgan bo‘lsada, yuqori kuchlanishli kuch transformatorlarida yuzaga keladigan nuqson va shikastlanishlarning universal, xavflilik darajasi bo‘yicha tartiblangan ro‘yxatini tuzish uchun yetarli tajriba hali to‘plangan emas. Shu sababli nuqsonlarni tasniflash bo‘yicha mavjud yondashuvlar ko‘p jihatdan subyektiv hisoblanadi va texnik holatni baholashning amaldagi mezonlarining to‘g‘riligi borasida shubhalar tug‘iladi.

ISSN 3030-3907

Shikastlanishlarni tasniflash muammosi bir ma’noli emasligi sababli, transformator nuqsonlarini konstruktiv elementlar bo‘yicha tasniflash keng qo‘llaniladi:

- chulg‘amlarning shikastlanishi;
- izolyatsiyaning shikastlanishi;
- magnit o‘tkazgich (yadro)ning shikastlanishi;
- RPN (yuklama ostida kuchlanishni rostlash qurilmasi)ning shikastlanishi;
- sovitish tizimining shikastlanishi;
- yuqori kuchlanishli kirish izolyatorlarining (vvodlarining) shikastlanishi;
- boshqa turdagi shikastlanishlar.

Hozirgi vaqtda elektrotexnik uskunalarni diagnostika qilishning ko‘plab usullari mavjud, biroq amaliyotda korxonalar ko‘p hollarda faqat me’yoriy (reglament asosidagi) usullardan foydalanadi. Bunday reglamentlashtirilgan usullar ikki guruhga bo‘linadi [4].

Birinchi guruh — o‘lchash va tahlil qilish usullari:

–transformatsiya koeffitsiyentini aniqlash;
–salt ishlash toki va quvvat yo‘qotishlarini o‘lchash;
–qisqa tutashuv (QT) qarshiligi va yo‘qotishlarini o‘lchash;
–chulg‘amlarning o‘zgarmas tok bo‘yicha qarshiligini o‘lchash.

Ikkinchi guruh — izolyatsiya xususiyatlarini o‘lchash:

- transformator moyining fizik-kimyoviy tahlili (FKT);
- moyda erigan gazlarning xromatografik tahlili (XARG);
- qattiq izolyatsiya namligini baholash;
- chulg‘am izolyatsiyasining dielektrik yo‘qotish burchagi tangensini o‘lchash;
- chulg‘amlarning qog‘oz izolyatsiyasi holatini baholash.

Transformator holatini issiqlik tasvirlash (teplovizion) nazorati orqali baholashning maqsadga muvofiqligi amaliyotda bir necha bor tasdiqlangan [5]. So‘nggi yillarda muqobil diagnostika usullari ham rivojlanmoqda, ular qatoriga qisman razryadlar (QR) xususiyatlarini diagnostika qilish, vibrodiagnostika, ultratovush tekshiruvi va boshqalar kiradi.

Muqobil diagnostika usullarining obyektivligi va aniqligi haqida bir ma’noli xulosa berish hozircha mumkin emas, bu masala alohida tadqiqot yo‘nalishiga tegishli. Shu sababli mazkur ish doirasida muqobil diagnostika usullari an’anaviy diagnostika tizimlarini to‘ldiruvchi usullar sifatida ko‘rib chiqiladi.

Endi kuch transformatorlarini diagnostika qilishning asosiy me’yoriy usullarini batafsil ko‘rib chiqamiz.

Transformatsiya koeffitsiyentini o‘lchash.

ISSN 3030-3907

Bu transformatorning texnik holatini belgilovchi asosiy ko‘rsatkichlardan biridir. Pasport qiymatlaridan og‘ish 2% dan oshmasligi kerak. Mazkur ko‘rsatkichning ortib ketishi transformator ichida shikastlanishlar mavjudligidan dalolat beradi. IEEE standarti transformatsiya koeffitsiyentining boshlang‘ich qiymatdan ruxsat etilgan og‘ishini ±0,5% deb belgilaydi.

Salt ishlash toki va yo‘qotishlarini o‘lchash.

Salt ishlashdagi yo‘qotishlar quyidagi nuqsonlarni aniqlash maqsadida o‘lchanadi: magnit tizimining kuchli tabiiy eskirishi, plastinalar izolyatsiyasining buzilishi, qisqa tutashgan konturlarning hosil bo‘lishi [6]. Bunday nuqsonlarning yuzaga kelish ehtimoli unchalik yuqori emas. RD 34.45-51.300-97 talablariga muvofiq, ekspluatatsiya jarayonida ushbu o‘lchovlar faqat korxonaning texnik rahbari qaroriga asosan, moyda erigan gazlarning xromatografik tahlili natijalari asosida amalga oshiriladi.

Transformator sifatini baholashda ishchi kuchlanishda salt ishlash toki va yo‘qotishlari albatta o‘lchanishi lozim . Pasport qiymatlaridan og‘ish:

- uch fazali transformatorlar uchun 5 % dan oshmasligi;
- bir fazali transformatorlar uchun 10 % dan oshmasligi kerak.

Biroq, bir necha yillar davomida ekspluatatsiya qilingan, hatto nuqsonsiz uskunalarda ham yo‘qotishlar asta-sekin ortib boradi [6]. Shu sababli ushbu mezon transformatorning haqiqiy holatini bir ma’noli ko‘rsatmaydi. Zarur choralarni belgilashda o‘lchov natijalari puxta baholanishi lozim. Jumladan, salt ishlash toklarini baholashda, nuqson yoki shikastlanish mavjudligi ko‘pincha pasport qiymatidan (oldingi o‘lchovdan) 10% va undan ortiq oshishi bilan tavsiflanadi.

Qisqa tutashuv qarshiligi va yo‘qotishlarini o‘lchash

Qisqa tutashuv (QT) qarshiligi - chulg‘amlarning deformatsiyalanishi mumkinligini ko‘rsatadigan asosiy parametrlaridan biridir. QT dinamikasini vaqt bo‘yicha o‘rganish zarur. Pasport qiymatidan og‘ish 3% dan oshmasligi kerak. Yo‘qotishlarning ortishi parallel o‘tkazgichlarning qisqa tutashuvi, chulg‘am yoki uning qismlarining deformatsiyasini bildiradi. Bu ko‘rsatkich 20–600 Hz diapazonida ishlaydi.

Chulg‘amlarning doimiy tok qarshiligini o‘lchash

Qarshilik odatda RPNning ochiladigan kontaktlarida, o‘tish nuqtalarining kirishlarga ulangan joylarida ortadi [7]. Chulg‘amdagi asosiy nuqsonlar:

- parallel o‘tkazgichlarning uzilishi yoki qisqa tutashuvi,
- kontakt yoki payvand joylarning shikastlanishi.

O‘tkazish qarshiligi bir necha baravar, hatto o‘nlab baravar ortishi mumkin. Nuqson belgisi 3–4 baravar ortish; keyinchalik qarshilik eksponensial tarzda oshadi. Agar o‘tkazish qarshiligi 5–10 baravar ortgan bo‘lsa, bu odatda kontakt

ISSN 3030-3907

yuzasining kuchli eroziyasi bilan bog‘liq bo‘ladi. Bunday holatda kontaktlarni almashtirish yoki maxsus mexanik ishlov berish zarur.

Qarshilikning ortishiga quyidagi sabablar olib keladi:

– yetarli kontaktning bo‘lmasligi;
– selektor kontaktlarining qizarishi, harakatlanuvchi kontaktlarning cho‘zilishi, bir holatda uzoq ishlash;
– kontaktor kontaktlarining qizarishi;
– sifatli bo‘lmagan vintli birikma.

Uch fazali transformatorlarning chulg‘am qarshiliklari, turli fazalarning bir xil javob bo‘lagida va bir xil harorat sharoitida o‘lchanganida, 2 % dan ortiq farq qilmasligi kerak. Biroq transformatorning konstruktiv xususiyatlari ko‘proq farqlanishga imkon beradi, bu esa transformator pasportida aks ettirilishi lozim.

Transformator moyining fizik-kimyoviy tahlili (FKT)

Moy transformatorning muhim elementi hisoblanadi, shuning uchun uning xossalari doimiy nazorat qilinishi kerak. Transformatorda ishlash jarayonida yuzaga keladigan barcha jarayonlar moyga ta’sir qiladi, chunki moy bu jarayonlar sodir bo‘ladigan muhitdir. Shu bois, moyning tarkibi va xossalarini tahlil qilish orqali transformator ichida bo‘lgan jarayonlar haqida ma’lumot olish mumkin.

Eng qadimiy va keng tarqalgan transformator holatini diagnostika qilish usuli - transformator moyining FKT tahlili. FKT yordamida moyning eskirish darajasi, ifloslanishi, namlanishi, ishqalanish kuchlanishi, mexanik aralashmalar mavjudligi, pH ko‘rsatkichi, yallig‘lanish harorati va namlik miqdori aniqlanadi, shuningdek qattiq izolyatsiyaning namlanishi ham aniqlanishi mumkin.

110 kV va undan yuqori kuchlanishli transformatorlar uchun moyning FKT tahlili har 2 yilda bir marta amalga oshiriladi [8].

Moyda erigan gazlarning xromatografik tahlili (XARG)

XARG moyda erigan gazlarni aniqlashni transformatorlarni diagnostika qilishning asosiy me’yoriy usuli hisoblaydi. Xromatografiya yordamida quyidagi nuqsonlarni aniqlash mumkin:

– elektr ulanishlari va konstruksiya tarkibiy elementlarining ortiqcha qizishi;
– elektr razryadlar tufayli qattiq izolyatsiya nuqsonlari;
– RPN va yuqori kuchlanishli moy bilan to‘ldirilgan kirishlar nuqsonlari [1].

Qisman razryadlar (QR) paytida XARG natijalari sezilarli darajada kechikishi mumkin. Bundan tashqari, gazlar konsentratsiyasining sezilarli o‘zgarishigacha bo‘lgan vaqt QR natijasida yuzaga kelgan nuqsonning kritik bosqichgacha rivojlanish vaqti bilan solishtirilishi mumkin. Shu bois, XARG yordamida faqat kritik darajaga yaqin bo‘lgan razryadlarni ishonchli aniqlash mumkin. Shunday qilib, XARG yordamida nuqsonni erta bosqichda aniqlash qiyin.

ISSN 3030-3907

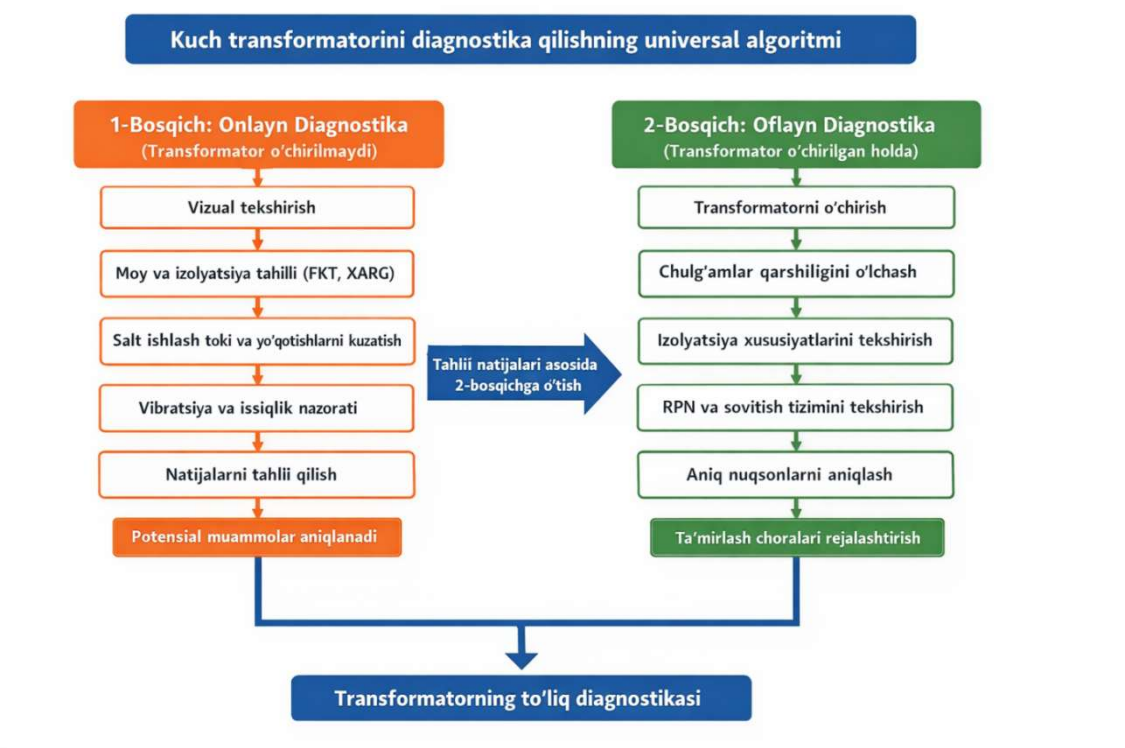
Biroq so‘nggi vaqtlarda zamonaviy XARG natijalarini talqin qilish kuch transformatorlarida rivojlanayotgan nuqsonlarni erta diagnostika qilishda keng qo‘llanilmoqda. 110 kV va undan yuqori kuchlanishli transformatorlar hamda blok-transformatorlar (o‘z ehtiyojlari uchun) uchun XARG o'tkazish me’yorlashtirilgan.

MUHOKAMA VA NATIJALAR

Kuch transformatorini diagnostika qilishning universal algoritmi ikki bosqichli reja asosida ishlab chiqilishi lozim (1-rasm):

1. **Birinchi bosqich** – transformatorning barcha komponentlarini imkon qadar to‘liq va ketma-ket diagnostika qilish, bu bosqichda transformator kuchlanishsiz o‘chirilmaydi.

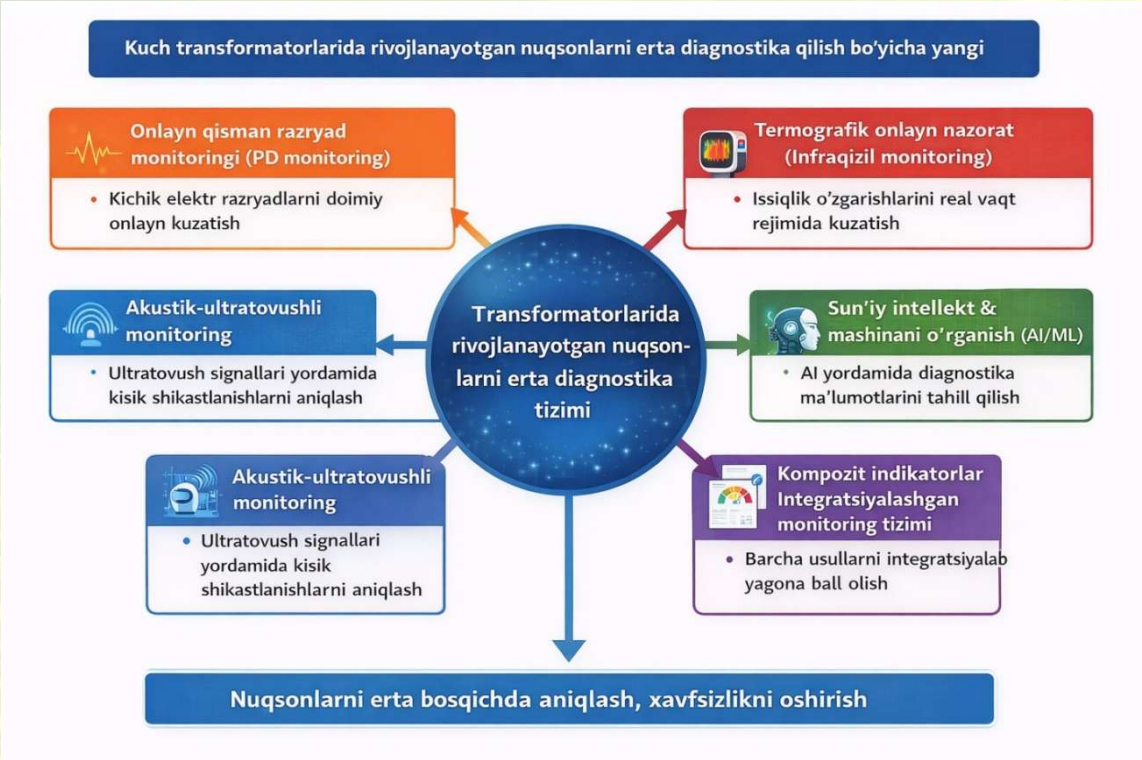
2. **Ikkinchi bosqich** – birinchi bosqich natijalariga asoslanib, transformator o‘chirilgan holda amalga oshiriladigan harakatlar sxemasi tuziladi.



1-rasm. Kuch transformatorini diagnostika qilishning universal algoritmi

Kuch transformatorlarida rivojlanayotgan nuqsonlarni erta diagnostika qilish uchun zamonaviy metodlarni qo‘llash orqali muammolarni kritik darajaga yetmasidan aniqlash mumkin. Quyida yangi va samarali metodlar tavsiya qilinadi (2-rasm):

ISSN 3030-3907



2-rasm. Kuch transformatorlarida rivojlanayotgan nuqsonlarni erta diagnostika qilish tizimi

1-jadvalda

Transformatorlarni monitoring qilishning tavsiya etilgan usullari tahlil natijalari keltirilgan.

Usul nomi	Afzalliklari	Kamchiliklari
Onlayn qisman razryad monitoringi (PD monitoring)	- Nuqsonlarni erta bosqichda aniqlash imkoniyati	- Qimmat jihozlar talab qiladi
	- Doimiy onlayn monitoring	- Katta ma'lumotlarni tahlil qilish uchun mutaxassis kerak
	- Kritikal holatlarga yetishidan oldin ogohlantirish	- Ba'zi qisman razryadlarni noto'g'ri aniqlash xavfi
Termografik onlayn nazorat (Infraqizil monitoring)	- Issiqlik o'zgarishlarini real vaqt rejimida kuzatish	- Atrof-muhit sharoitlariga bog'liq (ochiq havoda yomg'ir, tuman)
	- Mahsus qiziy boshlagan komponentlarni tez aniqlash	- Ichki nuqsonlarni aniqlash imkoniyati cheklangan

ISSN 3030-3907

	- Qisqa vaqt ichida vizual identifikatsiya	
Akustik-ultratovushli monitoring	- Ichki shikastlanishlarni, gazlarni va qisman razryadlarni aniqlash imkoniyati	- Sensorlarni o‘rnatish va sozlash murakkab
	- Onlayn yoki oflayn ishlash imkoniyati	- Shovqinli muhitda noto‘g‘ri signal paydo bo‘lishi mumkin
Sun’iy intellekt va mashinani o‘rganish (AI/ML)	- Katta ma’lumotlarni avtomatik tahlil qilish	- Algoritmni o‘rgatish uchun katta ma’lumot bazasi kerak
	- Nuqsonlarni rivojlanish tendensiyasini bashorat qilish	- Dastlabki o‘rnatish va integratsiya qimmat
	- Bir nechta diagnostika manbalarini birlashtirish	
Kompozit indikatorlar va integratsiyalashgan monitoring tizimi	- Transformator holatini yagona ball orqali baholash	- Asosiy usullarning kamchiliklarini to‘liq bartaraf eta olmaydi
	- Turli usullardan olingan ma’lumotlarni integratsiyalash	- Boshqaruv tizimining murakkabligi va dasturiy ta’minot talabi
	- Qaror qabul qilishni soddalashtiradi	

XULOSA VA TAKLIFLAR

Xulosa qilib aytish mumkinki, kuch transformatorlaridagi nuqsonlarni erta bosqichda aniqlashda Sun’iy intellekt va mashinani o‘rganish metodi tavsiya qilinadi.

AI/ML metodini onlayn monitoring (PD, termografiya, ultratovush) bilan birlashtirib, transformatorning holatini real vaqt rejimida kuzatish va nuqsonlarni erta aniqlash tizimini yaratish eng samarali yechim bo‘ladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Алексеев, Б. А. Обследование состояния силовых трансформаторов / А. Алексеев // Электрические станции. – 2003. – № 5. С. 6 -10.

2. Андреев, К. А. Проблемы устройств мониторинга и диагностики трансформаторов под нагрузкой / К. А. Андреев. – Текст: непосредственный // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2012. – № 1. – С. 380-388.

ISSN 3030-3907

3. Yo‘ldoshova M. O. Transformatorilarning shikastlanishi sabablarini tahlil qilish //Экономика и социум. – 2024. – №. 4-2 (119). – С. 535-539.
4. Алюнов, А. Н. Об эффективности цифровой системы проактивной диагностики силовых трансформаторов / А. Н. Алюнов, О. С. Вяткина, А. Е. Немировский. – Текст: непосредственный // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2020. – Т. 24, № 5(154). – С. 966-976.
5. Fofana I., Hadjadj Y. Power transformer diagnostics, monitoring and design features //Energies. – 2018. – Т. 11. – №. 12. – С. 3248.
6. Baxodirovna T. S., Farhodjon o'g'li M. J., Rashid o'g'li K. J. ENERGETIK TIZIMLARDA AVARIYA HOLATLARINI OLDINDAN ANIQLASH ALGORITMLARI //JOURNAL OF NEW CENTURY INNOVATIONS. – 2025. – Т. 90. – №. 1. – С. 228-234.
7. Юдин А. Д. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ //Тинчуринские чтения-2023" Энергетика и цифровая трансформация". – 2023. – С. 824-826.
8. Исаев, Ю. Н. Математическая модель трансформатора при его диагностике коротким импульсом / Ю. Н. Исаев, В. А. Колчанова, Г. А. Елгина, А. В. Лавринович. – Текст: непосредственный // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – С. 6.

ISSN 3030-3907