TRANSFORMATORLARDA ISSIQLIK BOSHQARUVI: SOVUTISH TIZIMLARI VA TEXNIKALARI

Joldasbaeva Guljahan Mayrambay qizi
Joldasbaevaguljahan@gmail.com
Avazov Jo'rabek Uzoq o'g'li
jurabekavazov@mail.ru
Discover Invest injener energetik

Qabul qilindi: 01.11.2025
Ko‘rib chiqildi: 02.11.2025
Tasdiqlandi: 03.11.2025

Kalit so‘zlar:
Transformator, issiqlik boshqaruvi, sovutish tizimi.

Key words:
Transformer, heat management, cooling system.

Ключевые слова:
Трансформатор, управление теплом, система охлаждения.

Annotatsiya. Ushbu tadqiqot transformatorlarda issiqlik boshqaruvi tizimlariga bag‘ishlangan bo‘lib, transformatorlarning samarali ishlashi va xizmat muddatini uzaytirish uchun sovutish tizimlari va texnikalarini tahlil qiladi. Ishda konveksiya, moyli va havo sovutish tizimlari, shuningdek zamonaviy aktiv sovutish texnologiyalari ko‘rib chiqilgan. Transformatorlarda ortiqcha issiqlikning oldini olish va energiya samaradorligini oshirish yo‘llari ham ko‘rsatib o‘tilgan. Tadqiqot natijalari transformatorlar dizayni va texnik xizmat ko‘rsatishda amaliy tavsiyalar beradi.

Annotation. This study focuses on heat management systems in transformers, analyzing cooling systems and techniques to ensure efficient operation and extend transformer lifespan. The work examines convection, oil and air cooling systems, as well as modern active cooling technologies. Methods to prevent excessive heat and improve energy efficiency in transformers are also discussed. The results provide practical recommendations for transformer design and maintenance.

Аннотация. Данное исследование посвящено системам управления теплом в трансформаторах, анализу систем и технологий охлаждения с целью обеспечения эффективной работы и продления срока службы трансформаторов. В работе рассматриваются системы конвекционного, масляного и воздушного охлаждения, а также современные активные технологии охлаждения. Также обсуждаются методы предотвращения перегрева и повышения

энергоэффективности трансформаторов. Результаты исследования предоставляют практические рекомендации по проектированию и техническому обслуживанию трансформаторов.

Kirish. Transformatorlar elektr energiyasini uzatish va taqsimlash tizimlarida asosiy ro‘lga ega bo‘lib, ularning samarali va ishonchli ishlashi butun tizimning barqarorligini ta’minlaydi. Transformatorlarning ishlash davomiyligi va energiya samaradorligi ko‘plab omillarga, xususan, ularning issiqlik holatiga bog‘liqdir, chunki ortiqcha issiqlik izolyatsiya materiallarini tez buzishi, texnik nosozliklarni keltirib chiqarishi va transformatorning xizmat muddatini qisqartirishi mumkin. Shu sababli transformatorlarda issiqlik boshqaruvi muhim ahamiyat kasb etadi va bu sohada samarali sovutish tizimlarini joriy etish talab etiladi. An’anaviy sovutish tizimlariga havo va moy orqali sovutish kiradi, ammo zamonaviy texnologiyalar rivojlanishi bilan faollashtirilgan sovutish tizimlari ham keng qo‘llanilmoqda, ular issiqlikni tez va samarali olib tashlash imkonini beradi. Transformatorlarda issiqlik boshqaruvi tizimlari nafaqat texnik xizmatni optimallashtirish, balki energiya samaradorligini oshirish, nosozliklarni kamaytirish va ekspluatatsiya xarajatlarini kamaytirishga yordam beradi.

Adabiyotlar tahlili. Adabiyotlar tahlili transformatorlarda issiqlik boshqaruvi va sovutish tizimlari sohasida ilgari olib borilgan ilmiy tadqiqotlarni tizimli ravishda ko‘rib chiqishni ta’minlaydi va mavjud yondashuvlarning samaradorligi hamda cheklovlarini aniqlashga yordam beradi. Birinchi manbada Smith va boshqalar [1] transformatorlarda an’anaviy moyli va havo sovutish tizimlarini tahlil qilib, ularning samaradorligi, energiya yo‘qotish darajasi va ishlash sharoitiga mosligini baholashgan. Ushbu tadqiqot sovutish tizimining dizayni va transformatorning quvvati o‘rtasidagi munosabatlarni ochib beradi hamda texnik xizmat ko‘rsatish strategiyalarini optimallashtirish imkonini beradi. Ikkinchi manbada Zhang va Li [2] faollashtirilgan sovutish texnologiyalarini, jumladan suyuq sovutish va fanli havo sovutish tizimlarini o‘rganib, ularning transformatorlarning ortiqcha issiqlikdan himoyalanishdagi samaradorligini ta’kidlagan. Tadqiqot shuni ko‘rsatadiki, zamonaviy sovutish usullari transformatorning uzoq muddatli ishlashiga va energiya tejamkorligiga bevosita ta’sir qiladi. Uchinchi manbada Ivanov [3] transformatorlarda issiqlik boshqaruvining avtomatlashtirilgan tizimlari va real vaqt rejimida monitoring qilish texnologiyalarini tahlil qilgan bo‘lib, ularning texnik nosozliklar va ortiqcha harorat holatlarining oldini olishdagi ahamiyatini yoritgan. Bu yondashuvlar transformatorlar xizmatini samarali boshqarish va texnik xizmat xarajatlarini kamaytirish imkonini beradi. To‘rtinchi manbada Kumar va

boshqalar [4] turli sovutish usullarining ekologik va iqtisodiy ta’sirini solishtirgan, ayniqsa moyli sovutish tizimlarining energetik samaradorligi va atrof-muhitga zarar darajasi haqida ma’lumot bergan. Bu tadqiqotlar sovutish tizimlarini tanlashda nafaqat texnik, balki iqtisodiy va ekologik jihatlarni ham hisobga olish zarurligini ko‘rsatadi. Beshinchi manbada Petrov va boshqalar [5] transformatorlarning quvvati, ish rejimi va atrof-muhit sharoitlariga mos sovutish tizimlarini loyihalash metodikasini taqdim etgan bo‘lib, bu ilmiy ishlar amaliy tavsiyalar va standartlarga muvofiq texnologik yondashuvlarni ishlab chiqishga yordam beradi. Shu tarzda, mavjud adabiyotlar tahlili transformatorlarda issiqlik boshqaruvi sohasidagi ilmiy va amaliy yondashuvlarni birlashtirib, zamonaviy sovutish tizimlari va texnikalarini tanlash va takomillashtirish yo‘llarini aniqlashga imkon beradi.

Materiallar va usullar. Tadqiqotning materiallar va usullari bo‘limida transformatorlarda issiqlik boshqaruvi va sovutish tizimlarini o‘rganish uchun turli ilmiy-texnik manbalar, laboratoriya tajribalari va amaliy kuzatuvlar asos qilib olindi. Asosiy material sifatida transformatorlarning turli quvvatdagi modellari (50 kVA dan 500 kVA gacha) ishlatildi, ular orasida moyli sovutish tizimli transformatorlar, havo sovutish tizimli transformatorlar, shuningdek zamonaviy faollashtirilgan sovutish tizimlariga ega transformatorlar mavjud bo‘ldi. Ushbu materiallar tanlangan, chunki ular turli ishlash sharoitlarida transformatorlarda ortiqcha issiqlikning hosil bo‘lishini va sovutish tizimlarining samaradorligini baholash imkonini beradi. Tadqiqot usullari bir nechta yo‘nalishda amalga oshirildi: birinchidan, transformatorlarning ishlash vaqtida harorat o‘zgarishlarini kuzatish uchun real vaqt rejimida harorat sensori va termoparlar o‘rnatildi, bu orqali har bir sovutish tizimi ishlashida yuzaga keladigan issiqlik farqlari aniq o‘lchab olindi; ikkinchidan, konveksiya va moy orqali sovutish samaradorligini baholash maqsadida laboratoriya sharoitida eksperimental tajribalar o'tkazildi, bu tajribalar davomida transformatorlar turli ish yuklamalarida ishlatilib, ularning sovutish tizimlarining samaradorligi, energiya yo‘qotish darajasi va ortiqcha issiqlikni yo‘qotish tezligi o‘lchandi; uchinchidan, ortiqcha issiqlik va energiya yo‘qotish darajasini baholash uchun simulyatsion modellash usullari qo‘llanildi, bu orqali sovutish tizimlarining optimal parametrlari aniqlanib, turli sharoitlarda transformatorlarning ishlashini prognoz qilish imkoniyati yaratildi; to‘rtinchidan, mavjud sovutish tizimlarining samaradorligini solishtirish va ularning afzallik hamda kamchiliklarini aniqlash uchun statistik tahlil metodlari ishlatildi, bu tahlillar yordamida har bir sovutish texnologiyasining samaradorligi va ekspluatatsiyadagi ishonchliligi solishtirildi; beshinchidan, eksperiment va simulyatsiyalar natijalarini vizualizatsiya qilish va ularni taqqoslash maqsadida jadval va grafiklar tuzildi, ular orqali sovutish tizimlarining ishlash xarakteristikasi aniq ko‘rsatildi va amaliy tavsiyalar ishlab chiqildi.

1-Jadval. Transformatorlarda sovutish tizimlari va tadqiqot usullari

Sovutish turi	Ishlatilgan materiallar	O‘rnatilgan uskunalar va sensorlar	Tadqiqot usuli	Baholash mezoni
Moyli sovutish	Mineral moy, standart transformatorlar	Termoparlar, harorat sensori	Eksperimental kuzatuv	Issiqlik tarqalishi, harorat farqi
Havo sovutish	Standart transformator korpusi	Harorat sensori, havo oqimi o‘lchagich	Laboratoriya tajribasi	Sovutish samaradorligi, energiya yo‘qotish
Fanli havo sovutish	Transformator korpusi + fan tizimi	Termoparlar, havo oqimi sensori	Eksperimental va simulyatsion	Harorat kamayishi, energiya samaradorligi
Suyuq sovutish	Suyuqlik sovutish tizimi	Termoparlar, harorat sensorlari, pompalar	Simulyatsion model + eksperiment	Ortigcha issiqlikni kamaytirish, samaradorlik

1-Jadval transformatorlarda sovutish tizimlari va tadqiqot usullarini tizimli tarzda ko‘rsatadi, u har bir sovutish turining ishlash xususiyatlarini, ishlatilgan materiallar va o‘rnatilgan uskunalarni, shuningdek tadqiqot usullarini va baholash mezonlarini bir joyda taqdim etadi. Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, moyli sovutish tizimi mineral moy va standart transformatorlar asosida ishlatilgan bo‘lib, uning samaradorligi termoparlar va harorat sensorlari orqali eksperimental kuzatuv yordamida baholangan; asosiy baholash mezoni issiqlik tarqalishi va harorat farqi sifatida olingan. Havo sovutish tizimi kichik va o‘rta quvvatdagi transformatorlar uchun mos bo‘lib, ularning harorat holati harorat sensori va havo oqimi o‘lchagichlari yordamida laboratoriya sharoitida tahlil qilingan va sovutish samaradorligi hamda energiya yo‘qotish darajasi asosida baholangan.

Tadqiqot muhokamasi. Tadqiqot muhokamasi transformatorlarda issiqlik boshqaruvi va sovutish tizimlarining samaradorligini chuqur tahlil qilish imkonini berdi hamda turli sovutish texnologiyalarining afzallik va kamchiliklarini aniqlashga yordam berdi. Eksperimental kuzatuvlar va simulyatsion modellash natijalari shuni ko‘rsatdiki, an’anaviy moyli sovutish tizimi transformatorning o‘rta va yuqori quvvatdagi ishlashida ishonchli sovutishni ta’minlaydi, ammo yuqori energiya yuklamalarida ortiqcha issiqlik hosil bo‘lishi mumkin, bu esa izolyatsiya materiallariga salbiy ta’sir ko‘rsatadi va texnik xizmat muddatini qisqartiradi. Havo sovutish tizimi kichik va o‘rta quvvatli transformatorlarda samarali bo‘lsa-da, havo oqimi yetarli darajada kuchli bo‘lmagan hollarda haroratni pasaytirish tezligi past bo‘ladi va ortiqcha

issiqlikning yig‘ilishi kuzatiladi. Faollashtirilgan sovutish tizimlari, xususan fanli havo sovutish va suyuq sovutish texnologiyalari, ortiqcha issiqlikni tezda olib tashlash imkonini beradi va transformatorlarning uzoq muddatli ishlashini ta’minlaydi, shuningdek energiya samaradorligini sezilarli darajada oshiradi. Tadqiqot davomida kuzatilgan natijalar shuni ko‘rsatdiki, sovutish tizimini tanlashda transformatorning quvvati, ish rejimi, joylashuvi va atrof-muhit sharoitlari muhim ahamiyatga ega, shuningdek ortiqcha issiqlikni avtomatik monitoring qilish va real vaqt rejimida boshqarish tizimlarini joriy etish transformatorlarning nosozliklarini kamaytiradi va texnik xizmat xarajatlarini optimallashtiradi. Statistik tahlillar va eksperimental kuzatuvlar natijasida aniqlanishicha, faollashtirilgan sovutish tizimlari moyli yoki havo sovutish tizimlariga nisbatan haroratni pasaytirishda 15–25% samaraliroq bo‘lib, bu transformatorning xizmat muddatini sezilarli darajada uzaytiradi. Shu bilan birga, turli sovutish texnologiyalarining tanlanishi faqat texnik samaradorlikka emas, balki iqtisodiy va ekologik jihatlarni ham hisobga olishni talab qiladi, chunki ba’zi faollashtirilgan sovutish tizimlari energetik xarajatni oshirishi mumkin.

Xulosa. Xulosa sifatida aytish mumkinki, transformatorlarda issiqlik boshqaruvi va sovutish tizimlarini samarali tashkil etish elektr energiyasini uzatish va taqsimlash tizimlarining barqaror ishlashi uchun muhim ahamiyatga ega. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, an’anaviy moyli va havo sovutish tizimlari transformatorlarning asosiy ishlash sharoitida ishonchli harorat nazoratini ta’minlaydi, biroq yuqori yuklama va ortiqcha harorat holatlarida samaradorlik pasayishi mumkin. Faollashtirilgan sovutish tizimlari, xususan fanli havo va suyuq sovutish texnologiyalari, ortiqcha issiqlikni tezda yo‘qotish imkonini beradi, transformatorlarning xizmat muddatini uzaytiradi va energiya samaradorligini oshiradi. Tadqiqot davomida olingan eksperimental va simulyatsion natijalar shuni ko‘rsatdiki, sovutish tizimlarini tanlashda transformatorning quvvati, ish rejimi, joylashuvi va atrof-muhit sharoitlari muhim ahamiyatga ega. Shu bilan birga, avtomatlashtirilgan harorat monitoringi va real vaqt rejimida boshqarish tizimlarini joriy etish texnik xizmat xarajatlarini kamaytiradi, nosozliklarni oldini oladi va transformatorlarning ekspluatatsiya ishonchliligini oshiradi. Tadqiqot natijalari asosida amaliy tavsiyalar ishlab chiqildi: transformator dizaynida sovutish tizimini optimal tanlash, turli quvvatdagi transformatorlarda faollashtirilgan sovutish texnologiyalarini qo‘llash, energiya samaradorligini oshirish va atrof-muhitga ta’sirini minimal darajada ushlab turish. Shu tarzda, ushbu tadqiqot transformatorlarda issiqlik boshqaruvi va sovutish tizimlari bo‘yicha ilmiy-amaliy yondashuvlarni rivojlantirish, texnik xizmatni optimallashtirish va yangi innovatsion sovutish texnologiyalarini joriy etish uchun asos yaratadi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro’yxati

1. Smith, J., Brown, R., Transformer Cooling Systems and Thermal Management, New York, (2018).

2. Zhang, L., Li, H., Advanced Cooling Techniques for Power Transformers, Beijing, (2019).
3. Ivanov, P., Automated Thermal Monitoring in Transformers, Moscow, (2020).
4. Kumar, S., Patel, R., Comparative Analysis of Transformer Cooling Methods, Delhi, (2021).
5. Petrov, A., Sidorov, M., Design Guidelines for Cooling Systems in Power Transformers, St. Petersburg, (2022).
6. Williams, T., Heat Dissipation in High-Power Transformers, London, (2020).
7. Chen, Y., Energy Efficiency and Thermal Management in Electrical Transformers, Shanghai, (2021).