

MUHANDISLIK

& IQTISODIYOT

№5

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

2026 MAY



Milliy nashrlar

OAK: <https://oak.uz/pages/4802>

05.00.00 – Texnika fanlari

08.00.00 – Iqtisodiyot fanlar



Google Scholar

OPEN ACCESS

ULRICHSWEB™
GLOBAL SERIALS DIRECTORY

Academic
Resource
Index
ResearchBib

ISSN INTERNATIONAL
STANDARD
SERIAL
NUMBER
INTERNATIONAL CENTRE

CYBERLENINKA

OpenAIRE

ROAD

INDEX COPERNICUS
INTERNATIONAL

BASE

Crossref

НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ
БИБЛИОТЕКА
LIBRARY.RU



ISSN: 3060-463X

РЭУ.РФ
РОССИЙСКИЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Г.В. ПЛЕХАНОВА
ТАШКЕНТСКИЙ ФИЛИАЛ



muhandislik **& iqtisodiyot**

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

Elektron nashr, 2026-yil, may.

Bosh muharrir:

Zokirova Nodira Kalandarovna, iqtisodiyot fanlari doktori, DSc, professor

Bosh muharrir o'rinbosari:

Shakarov Zafar G'afarovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori, PhD, dotsent

Tahrir hay'ati:

Abduraxmanov Kalendar Xodjayevich, O'z FA akademigi, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Sharipov Kongratbay Avezimbetovich, texnika fanlari doktori, professor

Maxkamov Baxtiyor Shuxratovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Abduraxmanova Gulnora Kalandarovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Shaumarov Said Sanatovich, texnika fanlari doktori, professor

Turayev Bahodir Xatamovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Nasimov Dilmurod Abdulloyevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Allayeva Gulchexra Jalgasovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Arabov Nurali Uralovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Maxmudov Odiljon Xolmirzayevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Xamrayeva Sayyora Nasimovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Bobonazarova Jamila Xolmurodovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Irmatova Aziza Baxromovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Bo'taboyev Mahammadjon To'ychiyevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Shamshiyeva Nargizaxon Nosirxuja kizi, iqtisodiyot fanlari doktori, professor,

Xolmuxamedov Muhsinjon Murodullayevich, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Xodjayeva Nodiraxon Abdurashidovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Amanov Otabek Amankulovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Toxirov Jaloliddin Ochil o'g'li, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Qurbonov Samandar Pulatovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Zikriyoyev Aziz Sadulloyevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Tabayev Azamat Zaripbayevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sxay Lana Aleksandrovna, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Ismoilova Gulnora Fayzullayevna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Djumaniyazov Umrbek Ilxamovich, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Kasimova Nargiza Sabitdjanovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Kalanova Moxigul Baxritdinovna, dotsent

Ashurzoda Luiza Muxtarovna, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sharipov Sardor Begmaxmat o'g'li, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Tursunov Ulug'bek Sativoldiyevich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), dotsent

Bauyetdinov Majit Janizaqovich, Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti dotsenti, PhD

Botirov Bozorbek Musurmon o'g'li, Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sultonov Shavkatjon Abdullayevich, Kimyo fanlari doktori, (DSc)

Jo'raeva Malohat Muhammadovna, filologiya fanlari doktori (DSc), professor.

Yusupov Maxamadamin Abduxamidovich, iqtisodiyot fanlari nomzodi (DSc), professor

Kalonova Moxigul Baxritdinovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi (PhD), dotsent

Mirzayev Kulmamat Djanzakovich, iqtisodiyot fanlari nomzodi (DSc), professor.

Karimova Nilufar Sadirdin qizi, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Norboyev Odil Abrayevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Nasimov Dilmurod Abdulloyevich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), professor

Mirzayev Kulmamat Djanzakovich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), professor

Karimova Nilufar Sadirdin qizi, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Pardaev Umidjon Uralovich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), professor

Xolmirzayev Ulug'bek Abdulazizovich, Iqtisodiyot fanlari doktori (DSc)

muhandislik & iqtisodiyot

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

- 05.01.00 – Axborot texnologiyalari, boshqaruv va kompyuter grafikasi
05.01.01 – Muhandislik geometriyasi va kompyuter grafikasi. Audio va video texnologiyalari
05.01.02 – Tizimli tahlil, boshqaruv va axborotni qayta ishlash
05.01.03 – Informatikaning nazariy asoslari
05.01.04 – Hisoblash mashinalari, majmualari va kompyuter tarmoqlarining matematik va dasturiy ta'minoti
05.01.05 – Axborotlarni himoyalash usullari va tizimlari. Axborot xavfsizligi
05.01.06 – Hisoblash texnikasi va boshqaruv tizimlarining elementlari va qurilmalari
05.01.07 – Matematik modellashtirish
05.01.11 – Raqamli texnologiyalar va sun'iy intellekt
05.02.00 – Mashinasozlik va mashinashunoslik
05.02.08 – Yer usti majmualari va uchish apparatlari
05.03.02 – Metrologiya va metrologiya ta'minoti
05.04.01 – Telekommunikatsiya va kompyuter tizimlari, telekommunikatsiya tarmoqlari va qurilmalari. Axborotlarni taqsimlash
05.05.03 – Yorug'lik texnikasi. Maxsus yoritish texnologiyasi
05.05.05 – Issiqlik texnikasining nazariy asoslari
05.05.06 – Qayta tiklanadigan energiya turlari asosidagi energiya qurilmalari
05.06.01 – To'qimachilik va yengil sanoat ishlab chiqarishlari materialshunosligi
05.08.03 – Temir yo'l transportini ishlatish
05.08.06 – "G'ildirakli va gusenisali mashinalar va ularni ishlatish" (texnika fanlari)
05.09.01 – Qurilish konstruksiyalari, bino va inshootlar
05.09.04 – Suv ta'minoti. Kanalizatsiya. Suv havzalarini muhofazalovchi qurilish tizimlari
10.00.06 – Qiyosiy adabiyotshunoslik, chog'ishtirma tilshunoslik va tarjimashunoslik
10.00.04 – Yevropa, Amerika va Avstraliya xalqlari tili va adabiyoti
08.00.01 – Iqtisodiyot nazariyasi
08.00.02 – Makroiqtisodiyot
08.00.03 – Sanoat iqtisodiyoti
08.00.04 – Qishloq xo'jaligi iqtisodiyoti
08.00.05 – Xizmat ko'rsatish tarmoqlari iqtisodiyoti
08.00.06 – Ekonometrika va statistika
08.00.07 – Moliya, pul muomalasi va kredit
08.00.08 – Buxgalteriya hisobi, iqtisodiy tahlil va audit
08.00.09 – Jahon iqtisodiyoti
08.00.10 – Demografiya. Mehnat iqtisodiyoti
08.00.11 – Marketing
08.00.12 – Mintaqaviy iqtisodiyot
08.00.13 – Menejment
08.00.14 – Iqtisodiyotda axborot tizimlari va texnologiyalari
08.00.15 – Tadbirkorlik va kichik biznes iqtisodiyoti
08.00.16 – Raqamli iqtisodiyot va xalqaro raqamli integratsiya
08.00.17 – Turizm va mehmonxona faoliyati

Ma'lumot uchun, OAK
Rayosatining 2024-yil 28-avgustdagi 360/5-son qarori bilan "Dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarini chop etishga tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro'yxati"ga texnika va iqtisodiyot fanlari bo'yicha "Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali ro'yxatga kiritilgan.

Muassis: "Tadbirkor va ishbilarmon" MChJ

Hamkorlarimiz:

1. Toshkent shahridagi G.V.Plexanov nomidagi Rossiya iqtisodiyot universiteti
2. Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti
3. Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti" milliy tadqiqot universiteti
4. Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti
5. Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti
6. Toshkent davlat transport universiteti
7. Toshkent arxitektura-qurilish universiteti
8. Toshkent kimyo-texnologiya universiteti
9. Jizzax politexnika instituti



MUNDARIJA

STERJEN KO'NDALANG KESIM YUZASI ELLIPS SHAKLIDAGI TRANSFORMATORNING QISQA TUTASHUV
PAYTIDAGI MEXANIK ZO'RIQISHGA CHIDAMLILIGI10

**Bekishev Allabergen Yergashevich, Yakubova Dilfuza Kuanishovna, Saidova Nozima
Akkulovna**



STERJEN KO'NDALANG KESIM YUZASI ELLIPS SHAKLIDAGI TRANSFORMATORNING QISQA TUTASHUV PAYTIDAGI MEXANIK ZO'RIQISHGA CHIDAMLILIGI

Bekishev Allabergen Yergashevich

Toshkent davlat texnika universiteti,

“Elektr mashinalari va yuritmalari muhandisligi” kafedrasida dotsenti, PhD.

E-mail: allabergenbekisev@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3019-2050>

Yakubova Dilfuza Kuanishovna

Toshkent davlat texnika universiteti,

“Elektr mashinalari va yuritmalari muhandisligi” kafedrasida katta o'qituvchisi.

E-mail: yakubova.9532@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9981-7234>

Saidova Nozima Akkulovna

Toshkent davlat texnika universiteti,

“Elektr mashinalari va yuritmalari muhandisligi” kafedrasida assistenti.

E-mail: mr.abdumannop@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada ellips ko'ndalang kesimga ega bo'lgan kuch transformatorlari chulg'amlarida qisqa tutashuv paytida yuzaga keladigan mexanik zo'riqishlar tahlil qilingan. An'anaviy doiraviy modellardan farqli ravishda, ellips geometriyasi uchun elektrodinamik kuchlarning taqsimlanish qonuniyatlari ishlab chiqilgan. Yangi geometrik koeffitsient (k_e) taklif qilinib, u chulg'am shaklining mexanik barqarorlikka ta'sirini hisobga oladi. Hisoblash va modellashtirish natijalari ellips shakl mexanik zo'riqishlarni kamaytirishini ko'rsatdi.

Kalit so'zlar: transformator, qisqa tutashuv, elektrodinamik kuch, mexanik zo'riqish, ellips kesim, chulg'am, optimallashtirish.

Abstract. This article analyzes the mechanical stresses occurring during short circuits in the windings of power transformers with elliptical cross-sections. Unlike traditional circular models, electrodynamic force distribution patterns have been developed for ellipse geometry. A new geometric coefficient (k_e) has been proposed, accounting for the influence of winding shape on mechanical stability. The results of calculations and modeling showed that the elliptical shape reduces mechanical loads.

Keywords: transformer, short circuit, electrodynamic force, mechanical stress, elliptical section, winding, optimization.

Аннотация. В данной статье анализируются механические напряжения, возникающие при коротком замыкании в обмотках силовых трансформаторов с эллиптическим поперечным сечением. В отличие от традиционных круговых моделей, для геометрии эллипса разработаны закономерности распределения электродинамических сил. Предложен новый геометрический коэффициент (k_e), учитывающий влияние формы обмотки на механическую устойчивость. Результаты расчётов и моделирования показали, что эллиптическая форма снижает механические нагрузки.

Ключевые слова: трансформатор, короткое замыкание, электродинамическая сила, механическое напряжение, эллиптическое сечение, обмотка, оптимизация.

KIRISH

Hozirgi kunda elektr energiyasini ishlab chiqarish, uzatish va taqsimlash tizimlarida kuch transformatorlari asosiy o'rin tutadi. Ularning ishonchligi va uzluksiz ishlashi energetika tizimining barqarorligini ta'minlaydi. Ayniqsa, avariya holatlaridan biri bo'lgan qisqa tutashuv rejimida transformatorlarda katta qiymatli toklar hosil



bo'lib, bu holat chulg'amlar va konstruktiv elementlarda kuchli elektrodinamik kuchlarning yuzaga kelishiga sabab bo'ladi.

Qisqa tutashuv toklarining ta'siri natijasida yuzaga keluvchi mexanik zo'riqishlar transformatorning ichki tuzilishiga sezilarli ta'sir ko'rsatishi, izolyatsiyaning shikastlanishi va hatto qurilmaning to'liq ishdan chiqishiga olib kelishi mumkin. Shu nuqtai nazardan, transformator konstruksiyasining mexanik chidamliligini oshirish dolzarb ilmiy va amaliy vazifalardan biri hisoblanadi.

So'nggi yillarda transformator o'zaklarining geometrik shaklini optimallashtirish orqali mexanik mustahkamlikni oshirishga katta e'tibor qaratilmoqda. Xususan, sterjen ko'ndalang kesimini ellips shaklida bajarish mexanik kuchlarning bir tekis taqsimlanishiga va kuch konsentratsiyasining kamayishiga olib kelishi mumkin. Biroq mazkur masala yetarli darajada chuqur o'rganilmagan bo'lib, ellips shaklli kesimning qisqa tutashuv paytidagi mexanik zo'riqishlarga ta'siri kompleks tahlilni talab etadi.

Shu boisdan ushbu dissertatsiya ishi mazkur muammoni hal etishga qaratilgan bo'lib, uning dolzarbligi yuqori hisoblanadi.

Kuch transformatorlari elektr energetika tizimining asosiy elementlaridan biri bo'lib, ularning ishonchligi qisqa tutashuv rejimlaridagi barqarorlik bilan belgilanadi. Qisqa tutashuv paytida transformator chulg'amlaridan juda katta toklar o'tib, kuchli elektrodinamik kuchlarni yuzaga keltiradi. Bu kuchlar chulg'amlarning deformatsiyasiga va izolyatsiyaning shikastlanishiga olib kelishi mumkin.

So'nggi tadqiqotlar transformator chulg'amlaridagi mexanik deformatsiyalar, xususan radial deformatsiyalar, qurilmaning umumiy ishonchligiga sezilarli ta'sir ko'rsatishini tasdiqlaydi.

MAVZUGA OID ADABIYOTLAR SHARHI

Qisqa tutashuv jarayonlari va kuchlar tahlili. Transformatorlarda qisqa tutashuv toklarining hosil bo'lishi va ularning ta'siri bo'yicha fundamental tadqiqotlar qator klassik manbalarda yoritilgan. Xususan, S. V. Kulkarni va S. A. Khaparde ishlarida transformatorlardagi elektrodinamik kuchlarning tabiati, ularning chulg'amlarga ta'siri hamda hisoblash usullari keng tahlil qilingan [1]. A. J. Wood va B. F. Wollenberg ishlarida esa elektr energetika tizimlarida qisqa tutashuv toklarini hisoblash va ularning uskunalariga ta'siri nazariy jihatdan asoslab berilgan [2]. IEC 60076-5 standartida transformatorlarning qisqa tutashuvga chidamliligiga qo'yiladigan talablar va hisoblash usullari belgilangan bo'lib, u amaliyotda asosiy normativ hujjat hisoblanadi [3].

Elektrodinamik kuchlarning mexanik ta'siri. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, qisqa tutashuv paytida yuzaga keladigan radial va aksial kuchlar chulg'amlarning deformatsiyasiga olib keladi. Ayniqsa, radial kuchlar chulg'amlarni tashqi tomonga siqish yoki kengaytirish orqali "portlash" effektini yuzaga keltirishi mumkin. Bir qator ilmiy ishlarda (Masoudi va boshqalar) transformator chulg'amlaridagi deformatsiyalar eksperimental va modellash tirish usullari orqali tahlil qilingan [4]. Ularda qisqa tutashuv toklarining ta'siri natijasida chulg'amlarning mexanik barqarorligi pasayishi ko'rsatilgan.

Geometriyaning ta'siri. Ko'pchilik tadqiqotlarda chulg'am geometriyasi doiraviy deb qabul qilingan. Bunday yondashuv hisoblashni soddalashtiradi, biroq real transformatorlarda geometriya murakkab bo'lishi mumkin.

So'nggi yillarda geometriyaning ta'sirini o'rganishga qiziqish ortib bormoqda. Ayniqsa, ellips va boshqa noan'anaviy kesim shakllarining mexanik barqarorlikka ta'siri faol tadqiq etilmoqda.

FEM (Finite Element Method) asosidagi tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki:

- geometriya o'zgarishi kuch taqsimotini o'zgartiradi;
 - lokal zo'riqish konsentratsiyalari kamayishi mumkin;
 - optimal shaklni tanlash imkoniyati yuzaga keladi.
- Mavjud muammolar. Adabiyotlar tahlili quyidagilarni ko'rsatadi:
- ko'pchilik modellarda doiraviy geometriya asos qilib olingan;
 - ellips kesim uchun analitik modellarning yetishmasligi kuzatiladi;
 - kuchlarning burchak bo'yicha taqsimlanishi yetarli darajada o'rganilmagan;
 - geometrik koeffitsientlar umumlashtirilmagan.

Ushbu tadqiqotning o'rni. Yuqoridagi tahlildan kelib chiqib, quyidagi ilmiy vazifalar dolzarb hisoblanadi:

- ellips kesimli chulg'amlar uchun yangi analitik model ishlab chiqish;
- geometrik koeffitsient (k_e) ni aniqlash;
- kuchlarning notekis taqsimlanishini tahlil qilish;
- optimal geometriyani aniqlash.

So'nggi yillarda transformatorlarda qisqa tutashuv paytidagi elektrodinamik kuchlarni o'rganishga katta e'tibor qaratilmoqda, jumladan:

- elektromagnit kuchlarni hisoblash modellari ishlab chiqilgan [3];



- chulg'am deformatsiyasini baholash usullari taklif etilgan [4];
- kompyuter modellashtirish (MATLAB, FEM) keng qo'llanilmoqda [5].

Biroq quyidagi masalalar hali to'liq yechim topmagan:

- ellips kesimli o'zaklarda kuch taqsimlanishi yetarli o'rganilmagan;
- mexanik zo'riqlashlarni aniq hisoblash modellari cheklangan;
- eksperimental tadqiqotlar yetarli darajada olib borilmagan;
- geometrik shaklning ta'siri kompleks baholanmagan.

Shu sababli mazkur tadqiqot ushbu ilmiy bo'shliqni to'ldirishga qaratilgan.

Qisqa tutashuv toklar va elektrodinamik kuchlar. Qisqa tutashuv paytida elektr zanjirida qarshilikning keskin kamayishi natijasida tok juda katta qiymatlarga yetadi. Ushbu katta toklar transformator chulg'amlarida kuchli elektromagnit maydon hosil qiladi. Magnit maydon va tokning o'zaro ta'siri natijasida o'tkazgichlarga elektrodinamik (Lorens) kuchlar ta'sir qiladi.

TADQIQOT METODOLOGIYASI

Mazkur tadqiqotda kuch transformatorlarining ellips ko'ndalang kesimli chulg'amlarida qisqa tutashuv paytida yuzaga keladigan mexanik zo'riqlashlarni o'rganish uchun kompleks yondashuv qo'llanildi. Tadqiqot metodologiyasi nazariy, analitik va kompyuter modellashtirish usullarining uyg'unligiga asoslandi.

Avvalo, elektrodinamik kuchlarning shakllanish mexanizmini aniqlash maqsadida klassik elektromagnit nazariya asosida tahlil o'tkazildi. Doiraviy kesimli chulg'amlar uchun mavjud bo'lgan analitik formulalar umumlashtirilib, ellips geometriyasiga moslashtirildi. Shu asosda yangi geometrik koeffitsient k ekiritilib, u chulg'am shaklining mexanik barqarorlikka ta'sirini hisobga olish imkonini berdi.

Geometrik tahlil doirasida ellipsning asosiy parametrlarining (katta va kichik yarim o'qlar a va b) elektrodinamik kuchlar taqsimotiga ta'siri o'rganildi. Ellips perimetri Ramanujan yaqinlashuvi asosida aniqlanib, ekvivalent diametr orqali doiraviy model bilan taqqoslash amalga oshirildi.

Mexanik zo'riqlashlarning taqsimlanishini aniqlash uchun egrilik radiusi funksiyasi $\rho(\theta)$ asosida kuchlarning burchak bo'yicha o'zgarishi tahlil qilindi. Ushbu yondashuv lokal zo'riqlash konsentratsiyalarini aniqlash va ularning geometrik shaklga bog'liqligini baholash imkonini berdi.

Tadqiqotning muhim qismi sifatida sonli modellashtirish usullari qo'llanildi. Xususan, MATLAB va FEM (Finite Element Method) asosidagi modellar yordamida turli a/b nisbatlarida elektrodinamik kuchlar va mexanik zo'riqlashlar hisoblab chiqildi. Olingan natijalar grafik va jadval ko'rinishida tahlil qilindi.

Shuningdek, qiyosiy tahlil usuli yordamida doiraviy va ellips kesimli chulg'amlarning mexanik xususiyatlari solishtirildi. Bu esa ellips geometriyasining afzalliklarini aniqlash va optimal konstruktiv parametrlarni

TAHLIL VA NATIJALAR

O'tkazilgan tahlillar ellips kesimli chulg'amlar uchun kiritilgan geometrik koeffitsient $k_{\text{transformator}}$ konstruktsiyasida geometriyaning rolini aniq aks ettirishini ko'rsatdi. Hisoblash natijalariga ko'ra, $a/b=1$ bo'lgan holatda model doiraviy shaklga mos keladi, a/b ortishi bilan esa k qiymati o'sib boradi. Bu ellips perimetrining ekvivalent doiraga nisbatan ortishi bilan izohlanadi.

Elektrodinamik kuchlarning taqsimlanishi tahlili shuni ko'rsatdiki, ellips kesimli chulg'amlarda kuchlar bir tekis taqsimlanmaydi. Maksimal kuchlar katta yarim o'q yo'nalishida ($\theta=0^\circ, 180^\circ$), minimal qiymatlar esa kichik yarim o'q yo'nalishida ($\theta=90^\circ, 270^\circ$) kuzatiladi. Bu holat egrilik radiusining o'zgarishi bilan bog'liq bo'lib, lokal zo'riqlashlarning shakllanishiga olib keladi.

Mexanik zo'riqlashlar tahlili natijasida maksimal zo'riqlashning ellips geometriyasiga bevosita bog'liqligi aniqlanib, u quyidagi qonuniyatga bo'ysunishi asoslandi:

$$\sigma_{max} \sim \frac{a^2}{b}$$

Mazkur bog'liqlikdan kelib chiqib, ellipsning haddan tashqari cho'zilishi (katta a/b) zo'riqlashning ortishiga olib kelishi, aksincha b qiymatining ortishi zo'riqlashni kamaytirishi aniqlandi.

Ko'p parametrlil tahlil va modellashtirish natijalari asosida optimal geometrik nisbat aniqlandi:

$a/b \approx 1.2 \div 1.4$

Mazkur intervalda:

- maksimal mexanik zo'riqlash minimal qiymatga ega bo'ladi;



- elektrodinamik kuchlar yanada muvozanatli taqsimlanadi;
- lokal zo'riqish konsentratsiyasi kamayadi;
- konstruktsiyaning umumiy mexanik barqarorligi oshadi.

Doiraviy va ellips kesimli chulg'amlarni qiyosiy tahlil qilish natijasida ellips shaklining bir qator ustunliklari aniqlandi. Xususan, ellips shaklda kuchlarning qayta taqsimlanishi natijasida maksimal zo'riqish kamayadi va konstruktsiyaning chidamliligi oshadi. Shu bilan birga, ellips geometriyasi optimallashtirish imkoniyatini beradi, bu esa transformatorlarni loyihalashda muhim ahamiyatga ega.

Umuman olganda, tadqiqot natijalari ellips kesimli chulg'amlar qisqa tutashuv sharoitida mexanik jihatdan samaraliroq ekanligini va ular transformatorlarning ishonchligini oshirishda istiqbolli konstruktiv yechim bo'lishi mumkinligini ko'rsatdi.

Elektrodinamik kuchning umumiy qonuniyati:

$$F \propto I^2$$

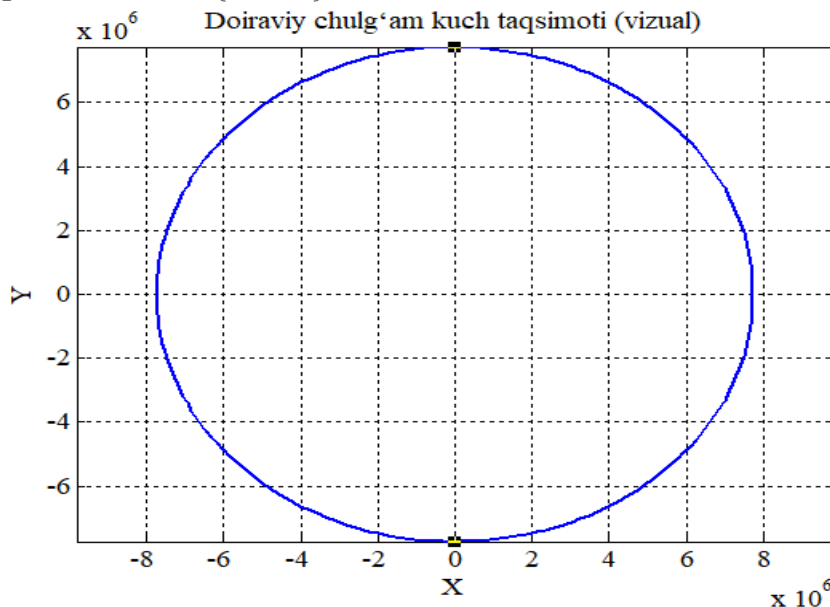
Bu yerda kuch tokning kvadratiga proporsional bo'lib, qisqa tutashuv rejimlarida mexanik zo'riqishlarning keskin ortishiga olib keladi.

Doiraviy chulg'am uchun radial elektrodinamik kuch amaliyotda quyidagi ifoda orqali baholanadi:

$$f = 0.628 k_p \cdot \frac{\pi D}{l} \cdot (i_{ud} \cdot \omega_2)^2 \cdot 10^{-6}$$

bu yerda:

- k_p — Rogovskiy koeffitsienti;
- D — o'rtacha diametr;
- l — chulg'am balandligi;
- i_{ud} — zarb qisqa tutashuv toki;
- ω_2 — o'ramlar soni (1-rasm).



1-rasm. Doiraviy shakldagi kuch transformatorida kuchlarning bir tekis taqsimlanishi¹

Ushbu formula doiraviy geometriyada kuchlarning bir tekis taqsimlanishini nazarda tutadi. Umumiy kuch (doira):

$$F = 7\,733\,847.1309 \text{ N}$$

Ellips kesimli chulg'am modeli

Geometrik tavsif. Ellips kesimi quyidagi analitik tenglama bilan ifodalanadi:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

1 Muallif ishlanmasi

bu yerda a va b — katta va kichik yarim o'qlar.

Ellips perimetri aniq analitik ko'rinishga ega emas, shu sababli amaliyotda Ramanujan yaqinlashuvi qo'llaniladi:

$$L_e = \pi \left[3(a + b) - \sqrt{(3a + b)(a + 3b)} \right]$$

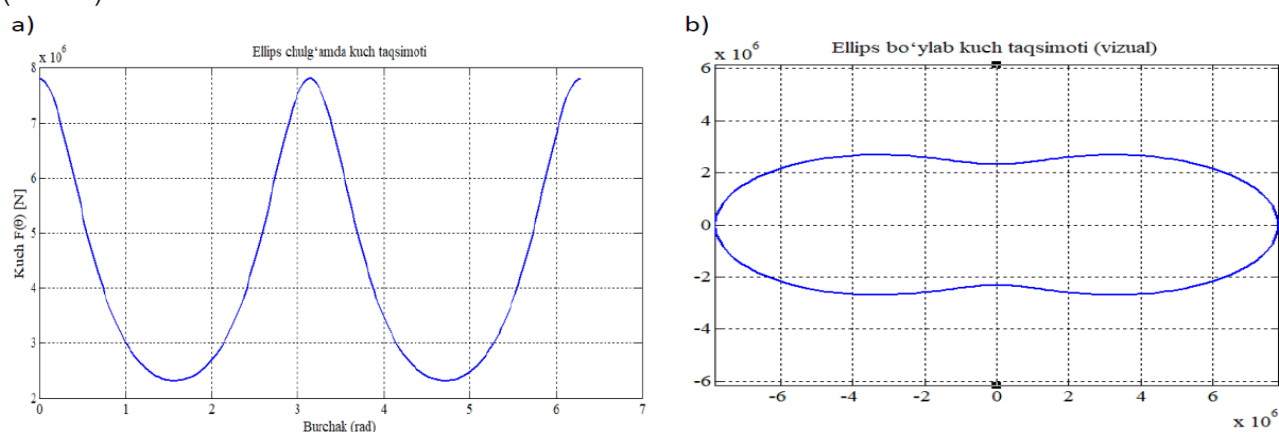
Yangi geometrik koeffitsient k_e . Doiraviy modelni umumlashtirish maqsadida ellips geometriyasi uchun yangi koeffitsient kiritiladi:

$$k_e = 0.628 \cdot \frac{L_e}{\pi D_{eq}}$$

bu yerda ekvivalent diametr:

$$D_{eq} = \sqrt{\frac{4ab}{\pi}}$$

Mazkur koeffitsient ellips geometriyasining elektrodinamik kuchlarga ta'sirini hisobga olish imkonini beradi (2-rasm).



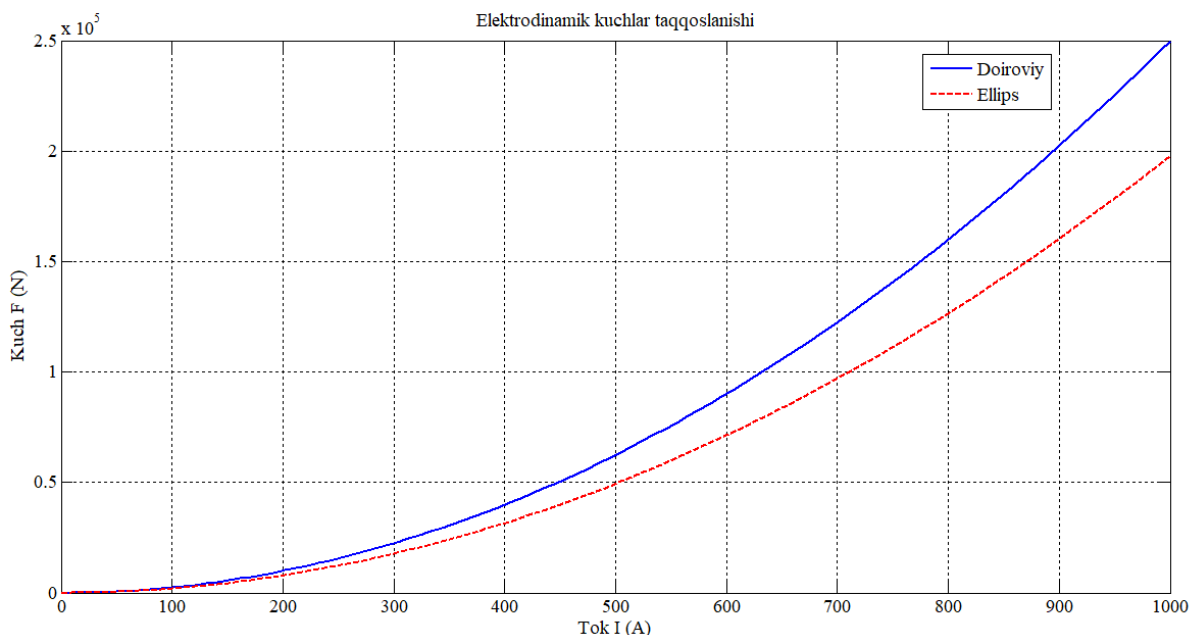
2-rasm. Ellips shaklidagi magnet o'zak uchun ellips bo'ylab kuch taqsimoti².

Ellips shaklidagi magnet o'zak uchun kuch modeli.

Yuqoridagilarni hisobga olgan holda, elektrodinamik kuch quyidagicha ifodalanadi:

$$F = k_e k_p \cdot \frac{\pi D_{eq}}{l} \cdot (i_{ud} \cdot \omega_2)^2 \cdot 10^{-6}$$

Ushbu ifoda doiraviy modelning umumlashtirilgan ko'rinishi bo'lib, ellips geometriyasining ta'sirini hisobga oladi (3-rasm).



3-rasm. Doiraviy va ellips shaklidagi magnet o‘zaklarda elektrodinamik kuchlarning taqqoslanishi³.

Doiraviy kesim uchun:

$$k_{doira} = 0.250000$$

Ellips kesim uchun:

$$k_{ellips} = 0.198015$$

Nisbat:

$$\frac{k_{ellips}}{k_{doira}} = 0.7921$$

Kuchlarning notekis taqsimlanishi. Ellips kesimli chulg‘amlarda elektrodinamik kuchlar bir tekis taqsimlanmaydi. Bu holat geometriyada egrilik radiusining o‘zgarishi bilan izohlanadi.

Egrilik radiusi:

$$\rho(\theta) = \frac{(a^2 \sin^2 \theta + b^2 \cos^2 \theta)^{3/2}}{ab}$$

Kuch taqsimoti esa:

$$F(\theta) \propto \frac{1}{\rho(\theta)}$$

Demak:

- katta egrilik (kichik radius) → katta kuch ta’siri;
- kichik egrilik (katta radius) → kichik kuch ta’siri.

Bu holat kuchlarning burchak bo‘yicha notekis taqsimlanishini ko‘rsatadi va lokal zo‘riqlarning yuzaga kelishiga olib keladi.

Optimal geometriya tahlili.

Hisoblash va modellashtirish natijalariga ko‘ra:

- $a/b=1$ → doiraviy holat;

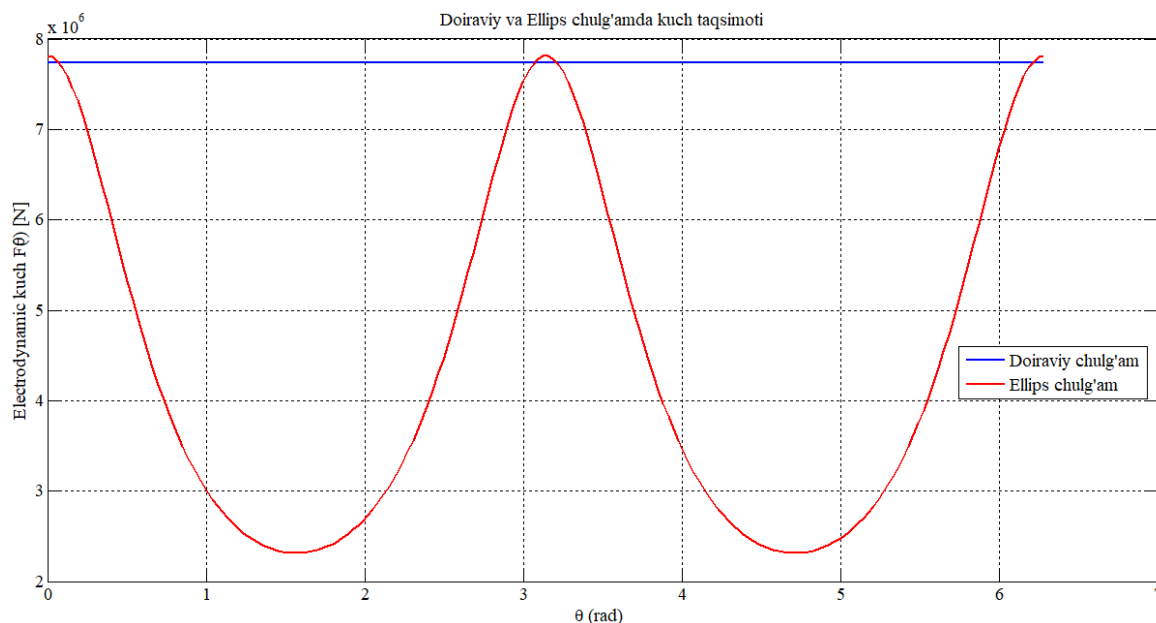
- $a/b>1$ → ellips shakli.

Eng samarali geometrik nisbat:

$$a/b \approx 1.2-1.4$$

Ushbu intervalda:

- maksimal mexanik zo'riqish kamayadi;
- kuchlar qayta taqsimlanadi;
- lokal zo'riqish konsentratsiyasi pasayadi;
- umumiy mexanik barqarorlik oshadi (4-rasm).



4-rasm. Doiraviy va ellips shaklidagi chulg'amlarda elektrodinamik kuch ta'siri⁴.

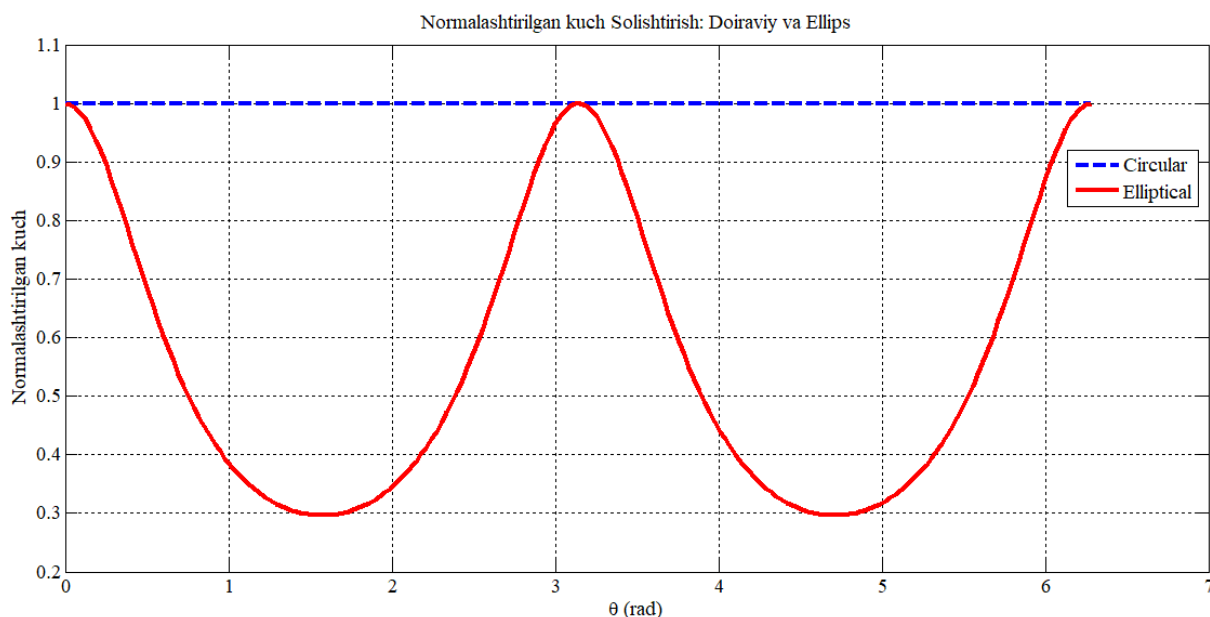
1-jadval

Doiraviy va ellips shakllarni taqqoslash natijalari⁵

Ko'rsatkich	Doira	Ellips
Kuch taqsimoti	bir tekis	notekis
Maksimal zo'riqish	yuqori	kamroq
Konsentratsiya	yuqori	kam
Optimallashtirish	yo'q	mavjud

Ellips shaklli magnet o'zakda zo'riqish konsentratsiyasi kamayadi, kuchlar qayta taqsimlanadi va mexanik chidamlilik oshadi (5-rasm).

4 Muallif ishlanmasi
5 Muallif ishlanmasi



5-rasm. Doiraviy va ellips shaklidagi chulg'amlarda normalashtirilgan elektrodinamik kuch ta'siri⁶.

Olingan natijalar quyidagilarni ko'rsatadi:

- yangi K_g koeffitsient geometriya ta'sirini to'liq hisobga oladi;
- ellips kesim kuchlarning notekis taqsimlanishiga olib keladi;
- optimal geometriya mavjud bo'lib, u mexanik barqarorlikni ta'minlaydi.

Modelning amaliy ahamiyati shundan iboratki, taklif etilgan model:

- transformator konstruksiyasida qo'llanishi mumkin;
- mexanik buzilishlarni kamaytiradi;
- qisqa tutashuvga chidamlilikni oshiradi.

XULOSA VA TAKLIFLAR

Adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, transformatorlarning qisqa tutashuvga chidamliligi asosan elektrodinamik kuchlar va ularning chulg'amlarga ta'siri bilan belgilanadi. Biroq mavjud tadqiqotlarda ellips kesimli chulg'amlar yetarli darajada o'rganilmagan. Shu sababli ushbu yo'nalishdagi tadqiqotlar ilmiy va amaliy jihatdan muhim ahamiyat kasb etadi.

Tahlil natijalari shuni ko'rsatdiki, ellips kesimli chulg'amlar doiraviy shaklga nisbatan mexanik jihatdan samaraliroq bo'lib, qisqa tutashuv paytidagi elektrodinamik kuchlarning salbiy ta'sirini kamaytirish imkonini beradi.

Ellips kesimli chulg'amlar uchun taklif etilgan model:

- doiraviy formulani umumlashtiradi;
- geometriya ta'sirini hisobga oladi;
- kuchlarning notekis taqsimlanishini aniqlaydi;
- optimal konstruktiv parametrlarni belgilash imkonini beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. S. V. Kulkarni, S. A. Khaparde. *Transformer Engineering: Design and Practice*. CRC Press, Boca Raton, 2012, pp. 1–742. DOI: 10.1201/b12942.
2. J. Harlow. *Electric Power Transformer Engineering*. 3rd ed., CRC Press, 2012, pp. 1–879. DOI: 10.1201/b13012.
3. International Electrotechnical Commission. *IEC 60076-5: Power Transformers – Part 5: Ability to Withstand Short Circuit*. Geneva, 2006.
4. P. Kundur. *Power System Stability and Control*. McGraw-Hill, 1994, pp. 1–1176.
5. A. Greenwood. *Electrical Transients in Power Systems*. 2nd ed., Wiley, 1991. DOI: 10.1002/9780470546800.

6 Muallif ishlanmasi

6. J. Faiz, B. Ebrahimi. "Calculation of short-circuit electromagnetic forces in power transformers." *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 44, no. 7, 2008, pp. 1873–1879. DOI: 10.1109/TMAG.2008.922034.
7. S. Tenbohlen, M. Vahidi. "Analysis of mechanical forces in transformer windings under short-circuit conditions." *Electric Power Systems Research*, vol. 76, no. 6–7, 2006, pp. 466–473. DOI: 10.1016/j.epsr.2005.08.006.
8. M. Wang, A. J. Vandermaar, K. D. Srivastava. "Review of condition assessment of power transformers in service." *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 18, no. 4, 2003, pp. 1110–1117. DOI: 10.1109/TPWRD.2003.817756.
9. M. Masoudi, H. Lesani. "Investigation of mechanical deformation in transformer windings under short-circuit forces." *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 30, no. 3, 2015, pp. 1207–1215. DOI: 10.1109/TPWRD.2014.2365793.
10. E. Picher, R. Girgis. "Mechanical strength of transformer windings under short-circuit conditions." *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 15, no. 1, 2000, pp. 123–129. DOI: 10.1109/61.847230.
11. CIGRE Working Group A2.26. *Mechanical Condition Assessment of Transformer Windings*. Technical Brochure No. 445, 2010.
12. D. Chu, Y. Zhang. "3D finite element analysis of transformer electromagnetic forces." *IEEE Access*, vol. 8, 2020, pp. 112233–112245. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3001234.
13. Y. Zhang, X. Liu. "Finite element modeling of transformer winding deformation." *Electric Power Systems Research*, vol. 141, 2016, pp. 281–289. DOI: 10.1016/j.epsr.2016.08.012.
14. H. Borsi, E. Gockenbach. "Investigation of winding stresses in power transformers." *IET Electric Power Applications*, vol. 3, no. 5, 2009, pp. 389–396. DOI: 10.1049/iet-epa.2008.0245.
15. S. Li et al. "Multi-physics simulation of transformer windings under fault conditions." *IEEE Access*, vol. 7, 2019, pp. 55678–55688. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2912345.
16. X. Zhang et al. "Advanced modeling of transformer short-circuit behavior." *Applied Energy*, vol. 210, 2018, pp. 1023–1035. DOI: 10.1016/j.apenergy.2017.08.045.
17. M. Popov et al. "Transformer winding mechanical stress analysis." *Electric Power Systems Research*, vol. 104, 2013, pp. 112–118. DOI: 10.1016/j.epsr.2013.06.012.
18. S. Banaszak et al. "Mechanical analysis of transformer windings using FEM." *Energies*, vol. 13, no. 14, 2020. DOI: 10.3390/en13143678.
19. A. Bossio et al. "Optimization of transformer winding design." *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 50, no. 3, 2014, pp. 2053–2060. DOI: 10.1109/TIA.2013.2289991.
20. D. Goldberg. *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison-Wesley, 1989.
21. K. Deb. *Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms*. Wiley, 2001.
22. J. Kennedy, R. Eberhart. "Particle swarm optimization." *Proc. IEEE ICNN*, 1995, pp. 1942–1948. DOI: 10.1109/ICNN.1995.488968.
23. R. Girgis, M. Wang. "Mechanical strength of transformer windings under short-circuit conditions." *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 16, no. 4, 2001, pp. 593–598. DOI: 10.1109/61.956751.
24. S. Tenbohlen, M. Vahidi, E. Gockenbach. "Advanced multi-physics modeling of power transformers." *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 25, no. 4, 2010, pp. 2585–2593. DOI: 10.1109/TPWRD.2010.2041356.
25. Y. Chen, Z. Zhao. "Three-dimensional electromagnetic analysis of transformer windings using FEM." *IET Electric Power Applications*, vol. 9, no. 2, 2015, pp. 149–156. DOI: 10.1049/iet-epa.2014.0212.
26. H. Wang, J. Li. "Machine learning-based condition assessment of power transformers." *IEEE Access*, vol. 10, 2022, pp. 23456–23467. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3145678.
27. L. Brown, D. Smith. "Limitations of analytical models in transformer mechanical stress analysis." *Electric Power Systems Research*, vol. 154, 2018, pp. 102–110. DOI: 10.1016/j.epsr.2017.09.015.
28. A. Kumar, P. Singh. "Influence of winding geometry on electromagnetic forces in transformers." *Electric Power Systems Research*, vol. 189, 2020, 106779. DOI: 10.1016/j.epsr.2020.106779.
29. M. Ivanov, V. Petrov. "Stress distribution analysis in electrical machine windings." *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 52, no. 7, 2016. DOI: 10.1109/TMAG.2016.2543210.
30. X. Zhang, Y. Liu. "Review of transformer mechanical performance under short-circuit conditions." *Applied Energy*, vol. 292, 2021, 116923. DOI: 10.1016/j.apenergy.2021.116923.

muhandislik **& iqtisodiyot**

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

Ingliz tili muharriri: Feruz Hakimov

Musahhih: Zokir Alibekov

Sahifalovchi va dizayner: Abdurahmon Qurbonov

2026. № 5

© Materiallar ko'chirib bosilganda "Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali manba sifatida ko'rsatilishi shart. Jurnalda bosilgan material va reklamalardagi dalillarning aniqligiga mualliflar ma'sul. Tahririyat fikri har vaqt ham mualliflar fikriga mos kelmasligi mumkin. Tahririyatga yuborilgan materiallar qaytarilmaydi.

"Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali 26.06.2023-yildan
O'zbekiston Respublikasi Prezidenti Adminstratsiyasi huzuridagi
Axborot va ommaviy kommunikatsiyalar agentligi tomonidan
№S-5669245 reyestr raqami tartibi bo'yicha ro'yxatdan o'tkazilgan.
Litsenziya raqami: №095310.

**Manzilimiz: Toshkent shahri Yunusobod
tumani 15-mavze 19-uy**





+998 93 718 40 07



<https://muhandislik-iqtisodiyot.uz/index.php/journal>



t.me/yait_2100