

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

TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI

BERDIYOROV O'LMASBEK NURALI O'G'LI

**ELEKTROVOZLAR TORTUVCHI ASINXRON MOTORLARINING
EKSPLUATATSION KO'RSATKICHLARINI YAXSHILASH**

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

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

Toshkent - 2025

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi

Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)

Content of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)

Berdiyrov O‘lmasbek Nurali o‘g‘li

Elektr harakat tarkibidagi tortuvchi asinxron motorlarining ekspluatatsion ko‘rsatgichlarini yaxshilash.....3

Бердиёров Улмасбек Нурали угли

Улучшение эксплуатационных показателей тяговых асинхронных двигателей электроподвижного состава.....21

Berdiyrov O‘lmasbek Nurali o‘g‘li

Improving the performance of traction asynchronous motors of electric rolling stock39

E‘lon qilingan ishlar ro‘yxati

Список опубликованных работ

List of published works42

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

TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI

BERDIYOROV O‘LMASBEK NURALI O‘G‘LI

**ELEKTROVOZLAR TORTUVCHI ASINXRON MOTORLARINING
EKSPLUATATSION KO‘RSATKICHLARINI YAXSHILASH**

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

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

Toshkent - 2025

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasining mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2023.4.PhD/T4294 raqami bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya ishi Toshkent davlat transport universitetida bajarilgan.

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

Ilmiy rahbar:

Berdiyev Usan Turdiyevich
texnika fanlari nomzodi, professor

Rasmiy opponentlar:

Xamidov Otabek Rustamovich
texnika fanlari doktori, professor
Yusupov Dilmurod Turdaliyevich
texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, kata ilmiy xodim

Yetakchi tashkilot:

Toshkent davlat texnika universiteti

Dissertatsiya himoyasi Toshkent davlat transport universiteti huzuridagi DSc.15/31.08.2022.T.73.07 raqamli Ilmiy kengashning 2025 - yil "___" _____soat ___dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100176, Toshkent shahri, Temiryo'Ichilar ko'chasi, 1-uy. Tel: (99871) 299-00-01; faks: (99871) 293-57-54; e-mail: rektorat@tstu.uz).

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

Dissertatsiya avtoreferati 2025-yil "___" _____kuni tarqatildi.

(2025- yil "___" _____dagi ___raqamli bayonnomasi).

R.V. Raximov

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

Ya.O. Ruzmetov

Ilmiy darajalar beruvchi
Ilmiy kengash ilmiy kotibi, t.f.d., professor

R.M. Mirsaatov

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy
kengash qoshidagi ilmiy seminar raisi, t.f.d., professor

KIRISH (Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda yuk va yo'lovchilarni tashish tizimida temir yo'l transporti yetakchi o'rinlardan birini egallamoqda. Qo'llash ko'lamini kengaytirish va raqobatbardoshligini saqlab qolish maqsadida, dunyo miqyosida harakat tezligini oshirish, harakat tarkiblarining ishonchliligini ta'minlash borasida izchil ishlar amalga oshirilmoqda. Ayniqsa, zamonaviy elektr harakat tarkiblarini tortuvchi asinxron motorlar bilan jihozlash amaliyotga joriy etishni taqozo etmoqda. Shu jihatdan, elektr harakat tarkiblarining uzluksiz va yuqori samarada faoliyat yuritishida motorlar ishonchliligini oshirish, ularning konstruksiyasini takomillashtirish hamda ishlash parametrlarini aniqlashda ilmiy yondashuvdan foydalanish muhim ahamiyatga ega hisoblanadi.

Jahonda elektrovozlar ishlab chiqaruvchi yetakchi kompaniyalar tomonidan elektr harakat tarkiblarining ekspluatatsion ko'rsatkichlarini yaxshilash hamda tortuvchi asinxron motorlarining energetik samaradorligini oshirishga yo'naltirilgan ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Bu borada, elektr harakat tarkiblari tortuvchi asinxron motorlarining ishlash jarayonidagi magnit maydonini to'laqonli aks ettiradigan matematik modelini yaratish, motorning ekspluatatsion parametrlarini takomillashtirish va ish samaradorligini oshirishga alohida e'tibor berilmoqda. Shu bilan birga, tortuvchi asinxron motorlarda qo'llaniladigan texnik vositalarni takomillashtirish, ularning energetik yo'qotishlarini kamaytirish va ishonchliligini oshirishga alohida e'tibor berilmoqda.

Respublikamizda temir yo'l transportini modernizatsiya qilish, jumladan, yuqori tezlikda harakatlanadigan elektr harakat tarkiblarini joriy etish, mavjud lokomotivlar parklarini yangilash hamda temir yo'l infratuzilmasini elektrlashtirish yuzasidan keng qamrovli chora-tadbirlar amalga oshirilib, muayyan natijalarga erishilmoqda. 2017–2021 yillarda O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha Harakatlar strategiyasida, shuningdek, 2022–2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekiston taraqqiyot strategiyasida, jumladan, "iqtisodiyotning energiya samaradorligini 20 foizga oshirish, transport kommunikatsiyalari imkoniyatlarini kengaytirish, texnik va texnologik yangilanishni ta'minlash" bo'yicha muhim vazifalar belgilab berilgan. Ushbu vazifalarni amalga oshirishda, jumladan, elektr harakat tarkibida faoliyat ko'rsatayotgan tortuvchi asinxron motorlarning samaradorligini oshirish, ularda qo'llaniladigan texnik vositalarni takomillashtirish muhim ahamiyat kasb etmoqda.

O'zbekiston Respublikasining "Temir yo'l transporti to'g'risida"gi Qonuni (1999), O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017 yil 7 fevraldagi PF-4947-son "O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha Harakatlar strategiyasi to'g'risida"gi Farmoni, 2017 yil 23 avgustdagi PQ-3238-son "Zamonaviy energiya samarador va energiya tejaydigan texnologiyalarni yanada joriy etish chora-tadbirlari to'g'risida"gi Qarori hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya ishi muayyan darajada xizmat qiladi¹.

¹O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017-yil 7-fevraldagi PF-4947-son «O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha Harakatlar strategiyasi to'g'risida» gi Farmoni

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga muvofiqligi. Mazkur tadqiqot O‘zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalarini rivojlantirishning 2. “Energetika, energiya va resurs tejamlilik” ustuvor yo‘nalishlariga muvofiq bajarilgan.

Muammoning o‘rganilganlik darajasi. Tortuvchi asinxron motorlarning samaradorligini oshirish usullari va texnik vositalarini takomillashtirish bo‘yicha ilmiy tadqiqotlar jahonning ilmiy markazlarida va oliy ta‘lim muassasalarida, jumladan University of Michigan and General Electric, Bergen Laboratories Ins. (AQSh), Ilmenau va Siemens texnika universiteti, Siemens va Halke (Germaniya), Davy va United Instrumets (Buyuk Britaniya), Sony va Tokyo texnologiya instituti, Toshiba (Yaponiya), ASEA (Shvetsiya), Kelk Electronics (Kanada), Milliy tadqiqot universiteti (MPEI), University of Birmingham (BAA), (Rossiya), Imperator Aleksandr 1 nomidagi Peterburg davlat temir yo‘llar universiteti (Rossiya), Rossiya transport universiteti (Rossiya) va Toshkent davlat transport universiteti (O‘zbekiston) da olib borilmoqda.

Bu yo‘nalishda S. Harsha, P. Bechard, L. Aleksandr, Uilyam T. Tomson, P. Kankar, S. Jang, A. Stavrou, R. Ong, A. Lotse, P. Kauert, C. Enke, L. Valter, T. Barton, I.X. Xayrullin, F.R. Ismagilov, K.K. Kim, A.A. Zarifyan, M.A. Gashimov, D.Yu. Pashali, O.A. Boykova, Z.G. Gioev, A.D. Glushchenko, M.D. Glushchenko, V.I. Kiselev, V.N. Jidkov, A.S. Maznev, A.V. Grishchenko, V.G. Yupqa, N.E. Konyuxov, M.F. Zaripov, N.M. Usmonxjaev, Sh.S.Fayzibayev, G.A. Xromova, O.R. Hamidov, Amirov S.F., Bedritskiy I.M., Pirmatov N.B., N.S.Zayniddinov, Kolesnikov I.K., Gladilev G.V., Ivashev V.N., Belinskiy I.D., Nazirxonov T.M., Odilov G., Yushko V.I., M.Sh. Valiyev, M.M. Mirsoatov va boshqalar tortuvchi asinxron motorlarning ekspluatatsion ko‘rsatkichlarini yaxshilashga o‘z hissalarini qo‘shganlar. Ushbu olimlarning sayi - harakatlari bilan tortuvchi asinxron motorlarning energiya samaradorligi va motorlarni loyihalash va hisoblashning nazariy asoslari ishlab chiqildi va rivojlantirildi, ushbu tizimlar takomillashtirildi hamda sxemalariga oid yechimlar taklif qilindi va ishlab chiqarishga joriy qilindi. Biroq tortuvchi asinxron motorlarning magnit maydonini to‘la qonli matematik modelini yaratish va ularning ekspluatatsion ko‘rsatkichlarini yaxshilashga alohida e‘tibor qaratilmagan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta‘lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog‘liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Toshkent davlat transport universitetida “Yangi kompozitsion magnit yumshoq materiallardan foydalanib elektr transportlari uchun ikki statorli ventilli elektr motorlari asosiy elementlarini ishlab chiqish” MRB-JD-2019-20 raqamli xalqaro amaliy grant (2019-2021) mavzusidagi loyiha doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi elektrovozlar tortuvchi asinxron motorlarining ekspluatatsion ko‘rsatkichlarini rotor pazlarining geometrik o‘lchamlarini o‘zgartirish hisobiga yaxshilash.

Tadqiqotning vazifalari:

elektrovozlar tortuvchi asinxron motorlarning ekspluatatsion ko‘rsatkichlarini yaxshilashning zamonaviy usullarini tahlil etish;

“Ansys Maxwell” dasturiy paketida EHT dagi tortuvchi asinxron motorining elektromagnit maydoni va ekspluatatsion ko‘rsatkichlarini hisoblash uchun kompyuter

modeli yaratish;

elektrovoz tortuvchi asinxron motorining “Matlab Simulink” paketidagi modeli to‘yinish koeffitsiyentini hisobga olgan holda ishlab chiqish;

to‘yinish koeffitsiyentini hisobga olgan holda tortuvchi asinxron motorining maksimal momentini hisoblash algoritmi takomillashtirish;

elektrovoz tortuvchi asinxron motorlarining ekspluatatsion ko‘rsatkichlariga ta’sir etuvchi havo oralig‘idagi yig‘indi magnit maydoni va uning birinchi garmonikasining shakli va qiymatini o‘lchash qurilmasi, stator chulg‘ami tirsak qismining sochilma magnit maydonini o‘lchash va motorning vektor diagrammasini qurish uchun zarur bo‘lgan yig‘indi magnit maydoni va uning birinchi garmonikasi orasidagi siljish burchagini o‘lchash qurilmasi ishlab chiqish;

elektrovoz tortuvchi asinxron motorlarining ekspluatatsion ko‘rsatkichlarini yaxshilash bo‘yicha ishlab chiqilgan nazariyani tajriba yo‘li bilan asoslash.

Tadqiqotning obyekti sifatida “O‘zbekiston yo‘lovchi” elektrovozining 1TB2624-0GA02 markali asinxron tortuvchi motori olingan.

Tadqiqotning predmetini elektr harakat tarkibi asinxron tortuvchi motorlarining ekspluatatsion ko‘rsatkichlari hisoblanadi.

Tadqiqot usullari. Tadqiqot jarayonida elektr mashinalari nazariyasi, iteratsion sonli usullar va algoritmlar nazariyasi, Park–Gorev differensial tenglamalari, o‘tkinchi rejimlarni MATLAB muhitida imitatsion va matematik modellashtirish, olingan ma’lumotlarni qayta ishlash va taqqoslashda matematik statistika usullari hamda mavjud me’yoriy hujjatlarda belgilangan usullardan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

elektr harakat tarkibi asinxron tortuvchi motorlarining nominal kuchlanish qiymatlarida magnit maydoni va ekspluatatsion qiymatlarni hisoblashning matematik modeli yaratilgan;

elektrovoz tortuvchi asinxron motorining to‘yinish koeffitsiyentini hisobga olgan holda ish rejimlarini tadqiq qilish imkonini beruvchi imitatsion modeli takomillashtirilgan;

to‘yinish koeffitsiyentini hisobga olish asosida tortuvchi asinxron motorining maksimal momentini hisoblash algoritmi takomillashtirilgan;

elektrovoz tortuvchi asinxron motorlarining ekspluatatsion ko‘rsatkichlariga ta’sir etuvchi havo oralig‘idagi yig‘indi magnit maydoni va uning birinchi garmonikasining shakli va qiymatini o‘lchash qurilmasi ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijasi quyidagilardan iborat:

Tortuvchi asinxron motorlarning ekspluatatsion ko‘rsatkichlariga ta’sir etuvchi havo oralig‘idagi magnit maydonini o‘lchash usuli ishlab chiqilgan;

tortuvchi asinxron motorlarning ekspluatatsion ko‘rsatkichlariga ta’sir etuvchi magnit maydonini hisoblash algoritmi ishlab chiqilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqot natijalarining ishonchliligi nazariy tadqiqotlarda, zamonaviy raqamli usullar, tasdiqlangan va umume’tirof etilgan dasturiy ta’minotdan foydalangan holda, muhandislik amaliyotida, tajriba va sinovlarda - sertifikatlangan va kalibrangan o‘lchov vositalariga asoslanadi; nazariy tadqiqotlar natijalari bilan tajribalar asosida olingan natijalarning yaqinligi bilan tasdiqlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy

ahamiyati tortuvchi asinxron motorlarning havo bo'shlig'idagi magnit maydonining matematik modeli po'lat o'zak magnitlanish egri chizig'ining nohiziqqligini inobatga olgan holda ishlab chiqilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati tortuvchi asinxron motorlarning magnit maydonini o'lchash texnik vositalari yuqori sezgirlik va aniqlikka egaligi va ishonchligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Elektrovozlar tortuvchi asinxron motorlarining ekspluatatsion ko'rsatkichlarini yaxshilash, jumladan, ularning konstruktiv parametrlari va ish rejimlarini asoslash bo'yicha olingan natijalar asosida:

elektr harakat tarkibidagi tortuvchi asinxron motorni stator chulg'aming magnit maydoni birinchi garmonikasini o'lchash qurilmasiga O'zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentliging foydali modelga patenti olingan (№ FAP 02255, 2021 yil). Natijada sezgirliги va aniqligi yuqori bo'lgan o'lchash qurilmasini yaratish imkonini bergan;

asinxron mashina statori chulg'aming yig'indi magnit maydonini o'lchash uchun qurilmasiga O'zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentliging foydali modelga patenti olingan (№ FAP 02254, 2021 yil). Natijada sezgirliги va aniqligi yuqori bo'lgan o'lchash qurilmasini yaratish imkonini bergan;

asinxron mashina statori chulg'aming tirsak qismidagi tarqoq magnit maydonini o'lchash uchun qurilmasiga O'zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentliging foydali modelga patenti olingan (№ FAP 02159, 2021 yil). Natijada aniqligi yuqori bo'lgan o'lchash qurilmasini yaratish imkonini bergan;

asinxron mashina havo oralig'idagi yig'indi magnit maydoni va uning birinchi garmonikasi orasidagi siljish burchagini o'lchash qurilmasiga O'zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentliging foydali modelga patenti olingan (№ FAP 2022 0020, 2022 yil). Natijada aniqligi yuqori bo'lgan o'lchash qurilmasini yaratish imkonini bergan;

ishlab chiqilgan qurilmalar "O'ztemiryo'lmashta'mir" unitar korxonasiida elektrovozlar tortuvchi asinxron motorida tatbiq etilgan ("O'zbekiston temir yo'llari" akiyadorlik jamiyatining 2023 yil 4-dekabrdağı 01/4120-23 – son ma'lumotnomasi). Natijada, yillik kutilayotgan iqtisodiy samaradorlik tortuvchi asinxron motorning ekspluatatsion ko'rsatkichlarini yaxshilash hisobiga 113 million so'mni tashkil qiladi.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Dissertatsiya ishining natijalari 11 ta ilmiy anjumanlarda, shu jumladan 2 ta Scopus xalqaro ma'lumotlar bazasida indekslangan ilmiy anjumanda, 3 ta xalqaro va 6 ta respublika ilmiy anjumanlarida bayon etilgan va muhokama qilingan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinishi. Dissertatsiya mavzushi bo'yicha jami 21 ta ilmiy ish chop etilgan bo'lib, Oliy attestatsiya komissiyasining doktorlik dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish uchun tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 5 ta maqolalar, jumladan 2 ta respublika va 3 ta chet el ilmiy jurnallarida hamda O'zbekiston Respublikasi Adliya Vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligidan 4 ta foydali modeli uchun patent va 2 ta EHM uchun dasturga guvohnoma olingan.

Dissertatsiyaning hajmi va tuzilishi. Dissertatsiya kirish, to'rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiya ishining hajmi 117 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati, maqsad va vazifalariga asoslanib, uning obyekti va predmeti tavsiflangan, tadqiqot obyekti va predmeti ifodalangan, tadqiqotning respublika fan va texnologiyalarni rivojlantirishning ustuvor yo‘nalishlariga muvofiqligi ko‘rsatilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari, olingan natijalarning ilmiy va amaliy ahamiyati, tadqiqot natijalarining amaliyotga joriy etilishi, chop etilgan ilmiy ishlar, dissertatsiya tarkibi va hajimi to‘g‘risidagi ma‘lumotlar keltirilgan.

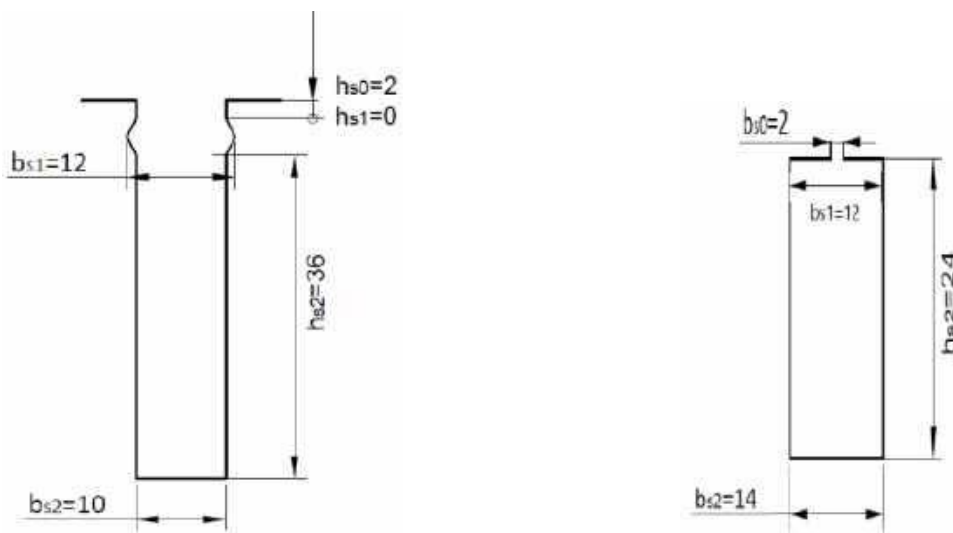
Dissertatsiyaning **“Tortuvchi asinxron motorlari ekspluatatsion ko‘rsatkichlarini yaxshilashga qaratilgan tadqiqotlar holati va vazifaning qo‘yilishi”** deb nomlangan birinchi bobida MDH, yevropa, yaqin sharq va g‘arb mamlakatlari olimlarining asinxron tortuvchi motorlarning ekspluatatsion ko‘rsatkichlarini yaxshilashning turli usullari va sxemalari tahlili olib borilgan, ushbu usullar va sxemalarni takomillashtirish lozimligi aniqlangan. Qisqa tutashgan rotorli asinxron motorlar nazariyasi sohasida erishilgan bir qator ilmiy ishlar sharhlangan. Bo‘lim yakunida tadqiqotning maqsadi belgilangan va vazifalari shakllantirilgan.

Adabiyot manbalarini tahlil qilish natijalari va qo‘yilgan maqsaddan kelib chiqqan holda, tadqiqotning asosiy vazifalari belgilangan.

Dissertatsiyaning **“Elektr harakat tarkibidagi tortuvchi asinxron motor magnit maydonini modellashtirish”** deb nomlangan ikkinchi bobida asinxron motorlar nazariyasi va ularning zamonaviy imkoniyatlarni hisobga olgan holda hisoblash usullari ko‘rib chiqilgan. Tortuvchi asinxron motor (TAM)larni hisoblashda qo‘llaniladigan asosiy holatlar ko‘rsatilgan

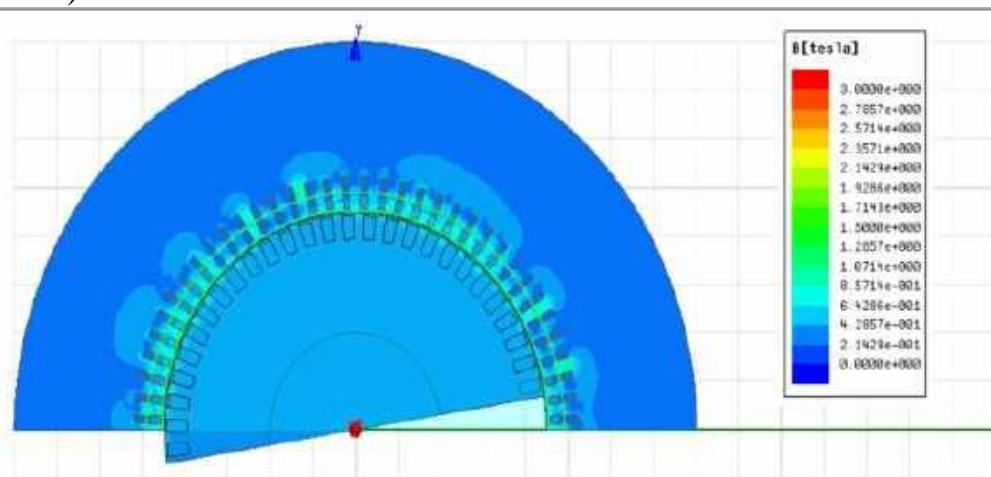
Elektr harakatlanuvchi tarkib (EHT) TAMining ekspluatatsion ko‘rsatkichlarini tadqiq qilishning zamonaviy holati, dinamik rejimlarda ekspluatatsiya qilishda elektr motorlarning energiya samaradorligi, ishonchliligi va barqarorligini oshirishga qaratilgan. Tadqiqotlarning asosiy yo‘nalishlari o‘zgaruvchan magnit oqimi sharoitida materiallarning noxiziqli xususiyatlarini va ularning xatti-harakatlarini hisobga olgan holda elektromagnit jarayonlarni modellashtirish orqali ekspluatatsion ko‘rsatkichlarni yaxshilashni o‘z ichiga oladi. Zamonaviy yondashuvlar gisterezis va uyurmali toklardagi isroflarni aniqlash imkoniyatini beradi, bu ayniqsa samarali boshqaruv va nazorat tizimlarini ishlab chiqish uchun muhimdir. TAMlarning ekspluatatsion ko‘rsatkichlarini ta‘sir qiladigan magnit maydonlarini modellashtirishda Ansys Maxwell dasturiy ta‘minotidan foydalanilgan.

Tadqiqotlar “O‘z-Y” elektrovozining 1TB2624-0GA02 rusumli TAMda olib borildi. Bazaviy ishlanmada rotor 54 pazga stator esa 72 pazga ega (O‘z-Y elektrovozi bo‘yicha ma‘lumotnomaga asosan). Motor pazlarini o‘lchash orqali olingan ma‘lumotlar motorning ko‘ndalang kesim geometriyasini aniqlash imkonini berdi. Stator va rotor pazlarining geometriyasining asosiy qiymatlari 1-rasmda keltirilgan.



1- rasm. Stator va rotor pazlarining geometriyasi: stator pazlari soni $Z_1=72$; rotor pazlari $Z_2=54$

Bundan tashqari, stator o‘zagini tashqi chegarasini konsentrik aylana bilan o‘rab olamiz. Konsentrik aylana motor korpusidan atrofdagi bo‘shliqqa chiqadigan tarqalish elektromagnit maydonining susayishini hisobga olish imkonini beradi. Bunday yasash orqali hisob-kitob bajariladigan tashqi hudud chegarasini belgilandi. Fizik tajribalarda materiallar xossalari xarakteristikalarining farqlanishi hisoblashlarning aniqligini sezilarli darajada pasaytirishi mumkin, modellashtirishda buni amalga oshirish mumkin bo‘lib chiqadi. Tadqiqot obyekti TAMi magnit o‘tkazgich material sifatida 3413 markali po‘latni qabul qilamiz va mashinaning haroratini $115\text{ }^\circ\text{C}$ deb hisoblaymiz. Rotor pazining hisobiy yuzasi $S_{sp}=312 \cdot 10^{-3}\text{ m}^2$. Pazdagi o‘tkazgichlar soni $w_{p.o.}=18$. Barcha ma’lumotlarni kiritib olgandan so‘ng TAMning 2D modelida magnit induksiyalari shakli olindi (2 - rasm).

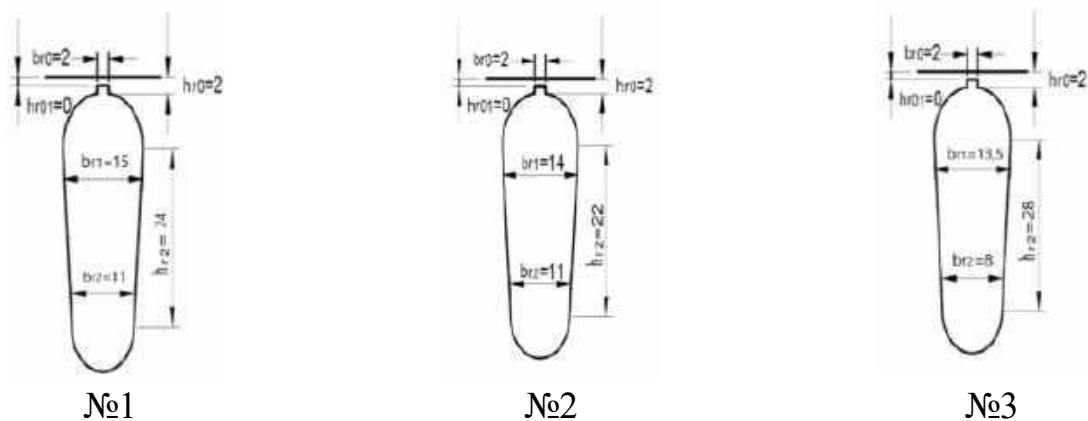


2- rasm. Nominal parametrli TAM pazlaridagi magnit induksiya

TAMning nominal o‘lchamli stator, rotor pazlarida va havo bo‘shlig‘da magnit induksiya qiymati quyidagilarni tashkil etdi: $B_s=1.97\text{ Tl}$; $B_r=2.3\text{ Tl}$; $B_{h.b.}=1.07\text{ Tl}$. Olingan qiymatlar ma’lumotnomalardagi nominal hisoblangan ma’lumotlar solishtirilishi ushbu qiymatlar o‘rtacha 20% yuqori ekanligi aniqlandi, bundan tashqari o‘tkazgichlardagi toklarga binoan nominal qiymatlardan anchagina katta. Pazlardagi, shuningdek, havo bo‘shlig‘idagi yuqori magnit induksiya TAMning ortiqcha qizib ketishiga olib keladi.

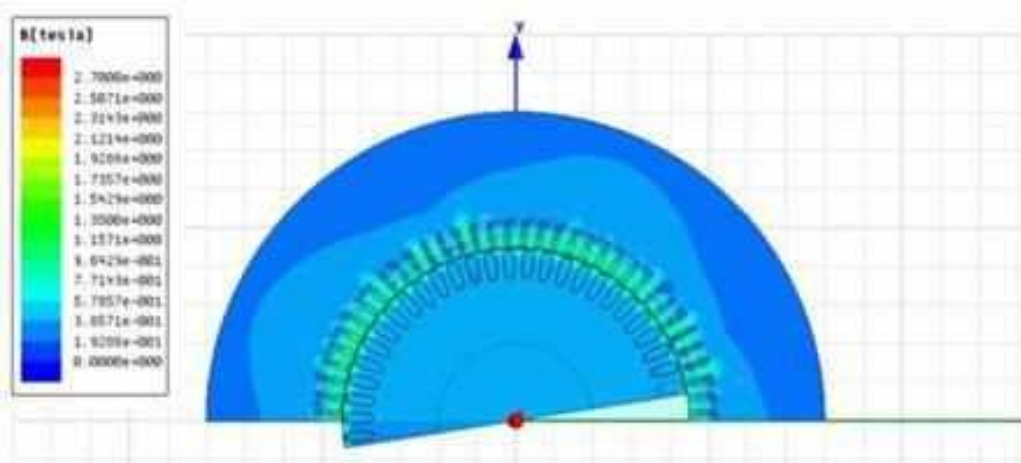
Elektr motorining harorati oshishi izolyatsiyaning tez eskirishiga olib keladi, bu esa o'z navbatida EHT ta'mirlashgacha bo'sib o'tish masofasini kamaytiradi va isroflarni oshishiga olib keladi.

Standart pazga ega tadqiqot olib borilayotgan TAMdagi isroflarni kamaytirish, ortiqcha qizishlarni oldini olish uchun yangi bazaviy rotor pazining shaklini o'zgartirish uchun bir necha turdagi pazlar tahlil qilib chiqildi va tahlillar natijasida noksimon shaklli pazlar eng yaxshi ko'rsatkichlarga ega ekanligi aniqlandi. Tadqiqotlar natijasida 3 ta istiqbolli rotor pazlari aniqlandi. Mazkur taklif etilayotgan istiqbolli modernizatsiyalangan rotor pazlarining geometriyasi 3- rasmda keltirilgan.

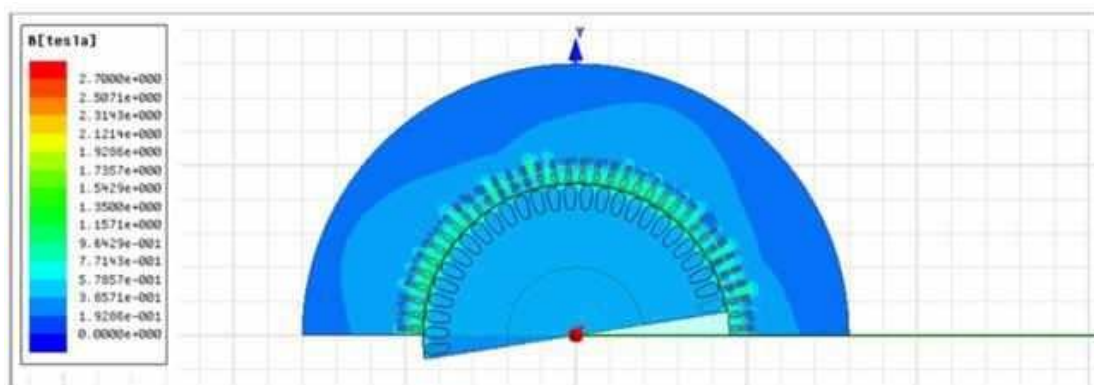


3-rasm. Taklif etilayotgan modernizatsiya qilingan istiqbolli rotor pazlarining geometriyasi

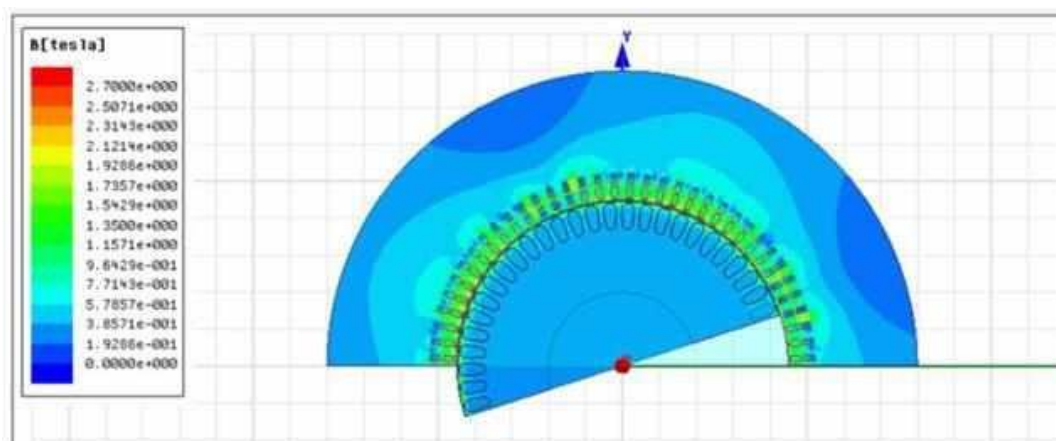
Modernizatsiya qilinayotgan motor magnet zanjirining to'yinish xarakteri to'g'risida ma'lumotlar 4, 5, 6 -rasmlarda keltirilgan.



4-rasm. Modernizatsiya qilinayotgan motorning ko'ndalang kesimidagi magnet induksiya darajalari (1- modernizatsiyalangan rotor pazi uchun)



5- rasm. Modernizatsiya qilinayotgan motorning ko‘ndalang kesimidagi magnit induksiya darajalari (2- modernizatsiyalangan rotor pazi uchun)



6- rasm. Modernizatsiya qilinayotgan motorning ko‘ndalang kesimidagi magnit induksiya darajalari (3- modernizatsiyalangan rotor pazi uchun)

TAMning taklif etilayotgan modernizatsiyalangan pazlar va nominal pazdagi asosiy elektromagnit parametrlari va ekspluatatsion ko'rsatkichlarining solishtirma ma'lumotlari mos ravishda 1 va 2-jadvallarda keltirilgan.

1-jadval

TAM modernizatsiyalangan va nominal rotor pazlari uchun elektromagnit parametrlari

| Paz shakli | Havo oralig'idagi magnit induksiya, (Tl) | Stator tishidagi magnit induksiya, (Tl) | Rotor tishidagi magnit induksiya, (Tl) | Stator yarmosidagi magnit induksiya, (Tl) | Rotor yarmosidagi magnit induksiya, (Tl) |
|--|--|---|--|---|--|
| Stator va rotor pazlari bazaviy shakli | 0,97 | 1,97 | 2,21 | 1,41 | 1,1 |
| Noksimon rotor pazi №1 | 0,82 | 1,51 | 1,82 | 1,63 | 1,52 |
| Noksimon rotor pazi №2 | 0,85 | 1,54 | 1,9 | 1,627 | 1,57 |
| Noksimon rotor pazi №3 | 0,73 | 1,77 | 1,71 | 1,45 | 1,16 |

**TAM modernizatsiyalangan va nominal rotor pazlari uchun
ekspluatatsion ko'rsatkichlari**

| Paz shakli | FIK, (%) | Quvvat koeffitsiyenti, $\cos\varphi$ | Valdagi nominal moment, N*m | Istemol qilinayotgan quvvat, (kW) |
|--|-------------|--|--------------------------------------|---|
| Stator va rotor pazlari bazaviy shakli | 95,6 | 0,87 | 6525,14 | 1055,52 |
| Noksimon rotor pazi №1 | 95,16 | 0,77 | 6543,91 | 1060 |
| Noksimon rotor pazi №2 | 95,2 | 0,79 | 6550 | 1061 |
| Noksimon rotor pazi №3 | 96,1 | 0,89 | 6533 | 1053 |

Modellashtirish natijalari va hisob-kitoblar shuni ko'rsatdiki, rotor pazining shaklini noksimonga almashtirish orqali nominal o'lchamdagi pazga nisbatan yaxshiroq elektromagnit va ekspluatatsion ko'rsatkichlarga erishildi. 1 va 2-jadvallardan ko'rishimiz mumkinki, rotorning modernizatsiya qilingan istiqbolli pazlarida TAMning havo bo'shlig'i, stator va rotor tishlarida magnit induksiya qiymati nominal rotor paziga nisbatan sezilarli darajada past va nominal qiymatga teng. Rotor listlari tish zonalarining geometrik parametrlari bo'yicha keng diapazonda o'zgarishi TAMning nafaqat elektromagnit parametrlari balki ekspluatatsion ko'rsatkichlari yaxshilanishi aniqlandi.

Dissertatsiyaning **“Elektr harakat tarkibidagi tortuvchi asinxron motorni modellashtirish”** deb nomlangan uchinchi bobida TAMning matematik modeli mashinadagi elektr, magnit va mexanik jarayonlarni tavsiflovchi tenglamalar asosida qurilgan. Matematik modelni yaratishda Park-Gorev tenglamalaridan foydalanilgan:

$$\frac{d\psi_{x1}}{dt} = k \left(U_t - \omega \alpha'_0 \psi_{Sx1} + \omega \alpha'_0 K \psi_{rx2} + \omega \psi_{y1} \right)$$

$$\frac{d\psi_{y1}}{dt} = k \left(-\omega \alpha'_0 \psi_{Sy1} + \omega \alpha'_0 K \psi_{ry2} + \omega \psi_{x1} \right)$$

$$\frac{d\psi_{x2}}{dt} = k \left(-\omega \alpha'_0 \psi_{Sx2} + \omega \alpha'_0 K \psi_{sx1} + \omega \psi_{y2} \right)$$

$$\frac{d\psi_{y2}}{dt} = k \left(-\omega \alpha'_0 \psi_{ry2} + \omega \alpha'_0 K \psi_{sy1} + \omega \psi_{x2} \right)$$

$$M = \frac{3}{2} P \omega \frac{K_r}{r_1} \alpha'_0 \left(\psi_{x2} \psi_{y1} - \psi_{x1} \psi_{y2} \right)$$

$$\frac{dS}{dt} = \frac{P}{J\omega_0} (M - M_c)$$

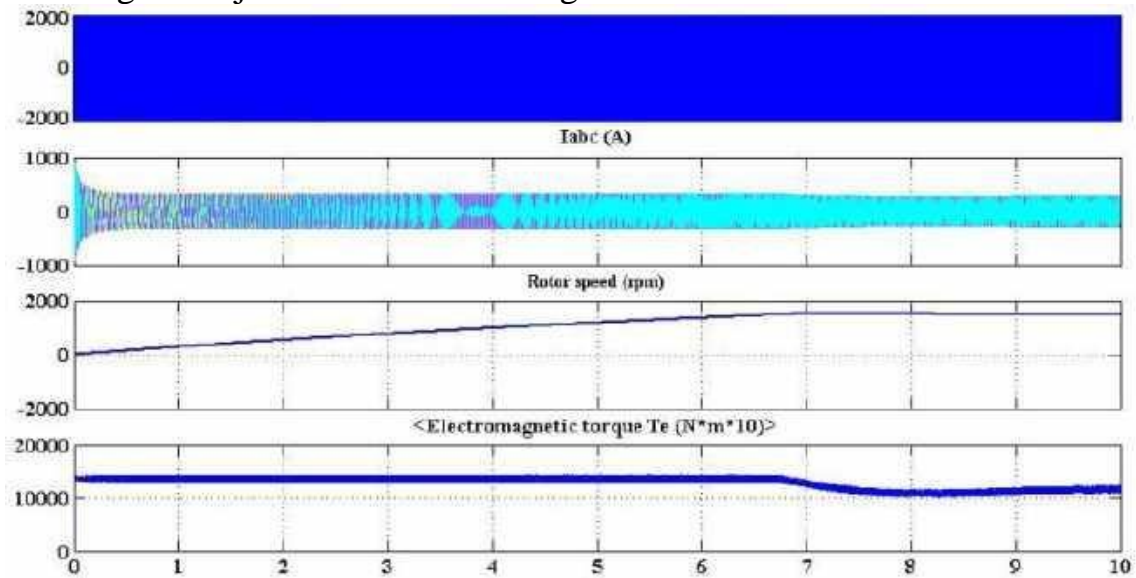
$$i_{x1} = \omega_0 \frac{\alpha_s}{r_1} (\psi_{x1} - k_r \psi_{x2})$$

$$i_{y1} = \omega_0 \frac{\alpha_s}{r_1} (\psi_{y1} - k_r \psi_{y2})$$

$$\alpha'_s = \frac{r_1}{x_s \sigma}; \alpha'_r = \frac{r_2}{x_r \sigma}; k_s = \frac{x_0}{x_s}; k_r = \frac{x_0}{x_r}$$

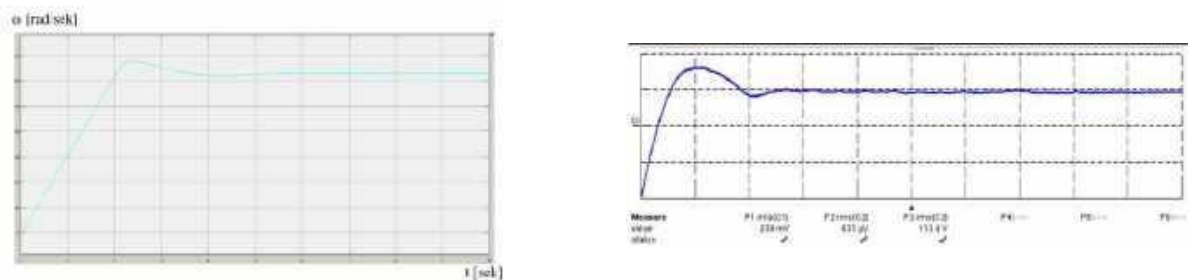
bu yerda $\psi_{x1}, \psi_{y1}, \psi_{x2}, \psi_{y2}$ – x va y koordinata o‘qlari bo‘yicha stator va rotorning magnit oqim ilashimligi; U_m – tarmoq kuchlanishi; M_c – qarshilik momenti; M – motorning aylantiruvchi momenti; x_0 – induktiv qarshilik; $x_s(x_r)$ – stator va rotor chulg‘amlarining reaktiv qarshiliklari; $r_1(r_2)$ – stator va rotor chulg‘amlarining aktiv qarshiliklari; J – inertsia momenti; S – asinxron motorning sirpanishi; σ – sochilish koeffitsiyenti, $\sigma=1-k_s$; k_t – to‘yinish koeffitsiyenti.

Matematik model yaratilgandan so‘ngra TAMning Matlab Simulink dasturida yaratilgan kompyuter imitatsion modeli ishlab chiqildi, ushbu model analoglaridan magnit maydoninig to‘yinish koeffitsiyentini hisobga olganligi bilan farqlanadi. Avtonom kuchlanish inverterli tortuvchi asinxron motorning “Matlab Simulink” paketidagi modelida olingan natijalar 7-rasmda keltirilgan.



7-rasm. TAMni yuklama rejimida ishga tushirish

Matematik model va tajriba natijalarida olingan TAMning tezliklari 8-rasmda keltirilgan.



8- rasm Tajriba asosida 1TB2624-OGA02 TAMning salt ishlash rejimidagi tezlik ossilogrammasi

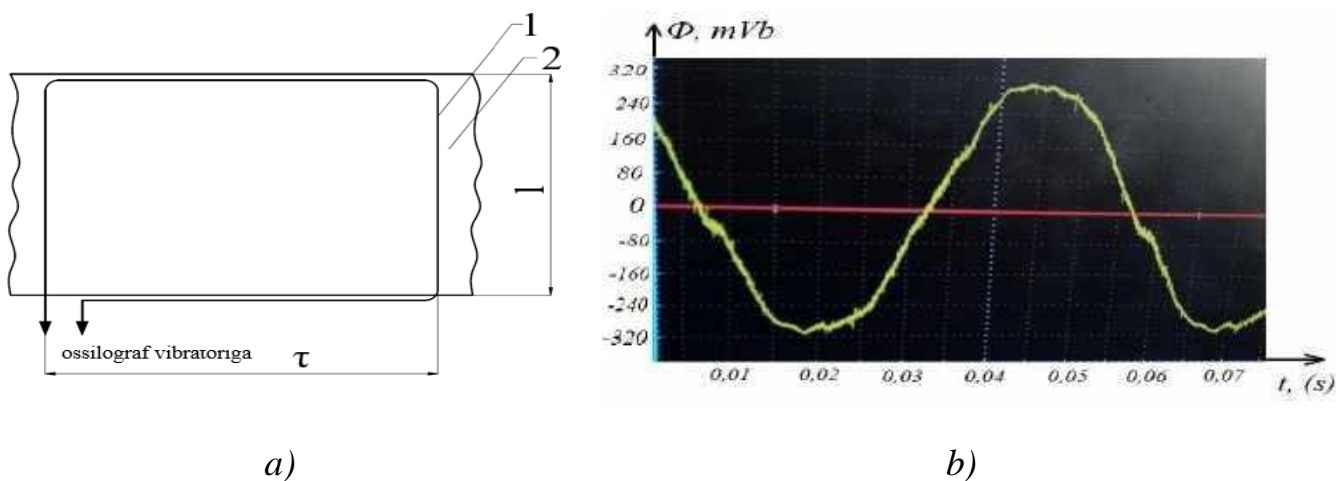
Dissertatsiyaning “Elektr harakat tarkibidagi tortuvchi asinxron motorda o‘tkazilgan tajribalar” deb nomlangan to‘rtinchi bobida TAMning magnit maydonini o‘lchash uchun yangi o‘lchov qurilmalari ishlab chiqish va eksperimental tadqiqot ishlarini olib borishga bag‘ishlangan.

Ma‘lumki, TAMning yig‘indi magnit maydoni stator chulg‘ami va rotor chulg‘amining birgalikdagi ta‘siri natijasida hosil bo‘ladi. Stator chulg‘amlarining tirsak qismlariga ta‘sir qiluvchi elektrodinamik kuchlarni aniqlash uchun maydon shaklini bilish kerak. Yig‘indi magnit maydonini o‘lchashni asosan Xoll datchiklarida amalga oshiriladi. Ko‘pgina seriyaviy ishlab chiqarilgan motorlarda qalinligi 2 mm gacha bo‘lgan maxsus Xoll plyonkali datchiklarni o‘rnatish imkoniyati yo‘q. Plastik korpuslardagi umum sanoat magnit maydon datchiklarini mashinaning havo bo‘shlig‘iga joylashtirish uchun juda kattalik qiladi. Yig‘indi magnit maydonini o‘lchashning mavjud usullari bir qancha kamchiliklarga ega bo‘lganligi sababli yangi turdagi o‘lchov qurilmasi ishlab chiqildi. Stator chulg‘amining yig‘indi magnit maydonini eksperimental o‘rganish uchun qurilma o‘z ichiga diametri 0,15 mm bo‘lgan mis simdan yasalgan to‘rtburchak o‘lchov ramkasi va o‘lchov qurilmasidan iborat. Qurilma elektr harakat tarkibi TAMi stator po‘lat o‘zagining yuza qismida joylashtirilgan bo‘lib, mashinaning l uzunligidagi, diametrik qadami mashinaning τ bir qutb bo‘linmasiga teng joylashtiriladi. Stator chulg‘amining yig‘indi magnit maydonini o‘lchashning ushbu usulining afzalligi o‘lchash sxemasini soddaligi va yuqori o‘lchov aniqligini ta‘minlanishi hisoblanadi.

Stator chulg‘amining yig‘indi magnit maydonini o‘lchash qurilmasi sxemasi 9 (a)-rasm va 1TB2624–OGA02 TAMning stator chulg‘ami yig‘indi magnit maydoni tadqiqotlar natijasida olingan ossilogrammasi 9 (b)-rasmda keltirilgan.

9 (a)-rasmga binoan qurilma o‘z ichiga to‘g‘ri to‘rtburchak shaklidagi o‘lchov ramkasini (1) ni olgan, bunda diametral qadamli, mashinaning bir qutb bo‘linmasi τ ga teng, uzunligi l bo‘lgan ramka (1) elektr harakat tarkibi asinxron tortuv motorining stator po‘lat o‘zagi (2) ning yuza qismida joylashtirilgan. Qurilma quyidagicha ishlaydi: stator chulg‘amining qisqichlariga uch fazali kuchlanish berilganda, stator chulg‘amida yig‘indi magnit maydoni paydo bo‘ladi. Bu holatda, stator chulg‘amining yig‘indi magnit maydoni to‘g‘ri to‘rtburchak shaklidagi o‘lchov ramkasi (1) da EYUK hosil qiladi, bu stator chulg‘amining yig‘indi magnit maydonini shaklini takrorlaydi, agar stator chulg‘amining yig‘indi magnit maydonini ossilogrammasini olish zarur bo‘lsa, to‘g‘ri to‘rtburchak shaklidagi o‘lchov ramkasining uchlari ossilograf vibratoriga ulanadi. Stator

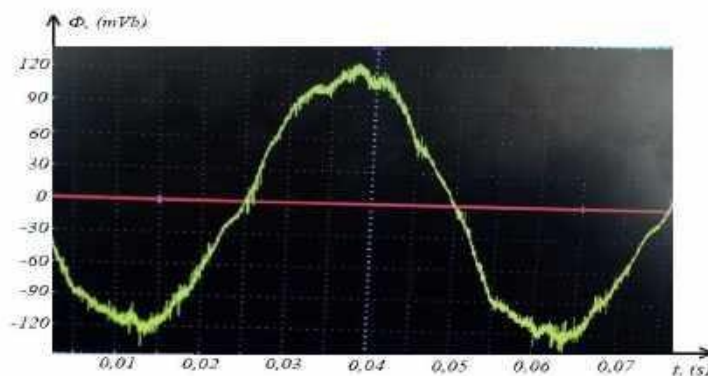
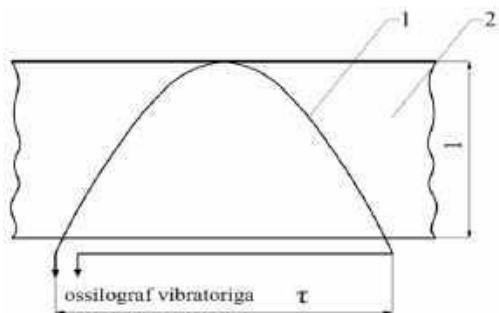
chulgʻaming yigʻindi magnet maydonini eksperimental tadqiqot ishlari “Oʻz-Y” elektrovozining 1TB2624–0GA02 turidagi TAMi "OʻZTEMIRYOʻLMASHTAʻMIR" UK elektr mashina sexida olib borildi. Nazariy va eksperimental tadqiqotlar orasidagi xatolik 5% ni tashkil etdi.



9-rasm. Asinxron tortuv elektr motorining stator poʻlat oʻzagi yuza qismida joylashgan oʻlchov ramkasining joylashishi a); 1TB2624–0GA02 TFMning stator chulgʻami yigʻindi magnet maydoni ossilogrammasi b)

Asinxron motor yigʻindi magnet maydonining yana bir muhim hisoblangan birinchi garmonikasini oʻrganish elektromagnet xususiyatlarini tahlil qilishda muhim jihatdir. TAM ning statori yigʻindi magnet maydoni birinchi garmonikasini oʻlchovchi qurilma oʻzidan sinusoidal shakldagi 0,15 mm qalinligidagi mis simli ramkani tashkil etadi. Sinusoidal shakldagi oʻlchov ramkasi yigʻindi magnet maydondan faqat mos keladigan garmonikani ajratib chiqaradi, chunki boshqa barcha garmonikalar uchun bunday ramkaning chulgʻam koeffitsienti nolga teng. Birinchi garmonikani yigʻindi magnet maydondan ajratish uchun sinusoidal ravishda stator poʻlat oʻzagining yuza qismida taqsimlangan oʻlchov ramkasi ishlatiladi, bunda uni uzunligi mashinaning bitta qutbga teng boʻlishi zarur. Stator chulgʻaming birinchi garmonikasini oʻlchashning ushbu usulining afzalliklariga soddalashtirilgan sxema va yuqori oʻlchov aniqligini kiritishimiz mumkin. 10 (a)-rasmda EHT TAM statori poʻlat oʻzagining yuza qismida sinusoidal oʻlchov ramkasining joylashishi va 10 (b)-rasmda 1TB2624–0GA02 asinxron tortuvchi motori magnet maydoni asosiy (birinchi) garmonikasining tadqiqotlar natijasida olingan ossilogrammasi koʻrsatilgan.

10 (a)-rasmga binoan, qurilma uzunligi l mashinaning bir qutb boʻlinmasi τ ga teng boʻlgan sinusoidal oʻlchov ramkasi (1) ni oʻz ichiga oladi va EHT TAM statorining poʻlat oʻzagining yuza qismi (2) da joylashgan. Stator chulgʻami magnet maydonining birinchi garmonikasini oʻlchash uchun sinusoidal oʻlchov ramkasi (1) ning chiqish uchlari ossilograf vibratoriga ulanadi. Bunday holda, stator chulgʻaming magnet maydoni sinusoidal shakldagi oʻlchov ramkasi (1) da EYUK hosil qiladi va bu stator chulgʻami yigʻindi magnet maydoni birinchi garmonikasi shaklini takrorlaydi. Nazariy va eksperimental tadqiqotlar orasidagi xatolik 5,4 % ni tashkil etdi.

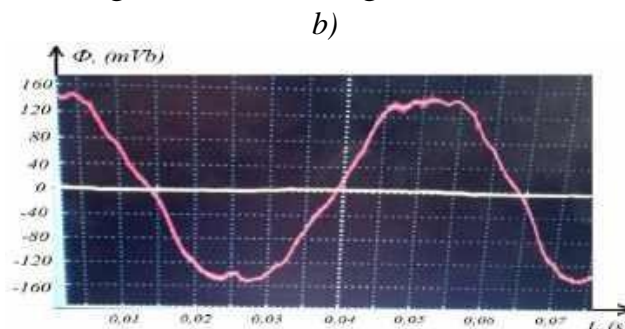
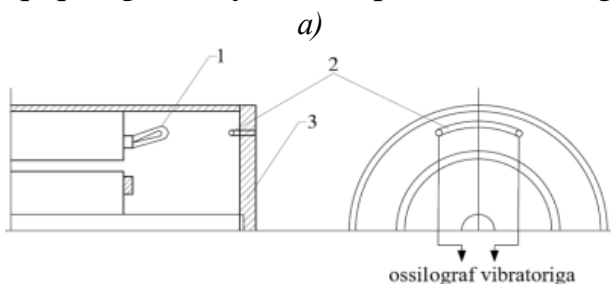


a)

b)

10- rasm. EHT TAM stator po‘lat o‘zagi yuza qismida yig‘indi magnet maydonining birinchi garmonikasini o‘lchovchi sinusoidal ramkaning joylashishi a); 1TB2624–0GA02 asinxron tortuvchi motori magnet maydoni asosiy (birinchi) garmonikasining ossilogrammasi b)

Stator chulg‘amining tirsak qismi sochilishining (yoki frontal sochilishining) magnet maydoni asinxron motorning elektromagnit parametrlariga ta’sir qiluvchi muhim jihatlardan biridir. Tirsak qismi sochilishi chulg‘amlarning cheklangan uzunligi va geometriyasi tufayli yuzaga keladi, bu esa stator aktiv zonasidan tashqarida magnet maydonlarning shakllanishiga olib keladi. TAM stator chulg‘ami tirsak qismi tarqoq magnet maydoni tarqalishini o‘lchashning aniqligini oshirish qurilmasi ishlab chiqildi. TAMi stator chulg‘amining tirsak qismidagi tarqoq magnet maydonini o‘lchash uchun yaratilgan qurilma quyidagicha ishlaydi. Stator chulg‘amining tirsak qismlari hududida joylashgan va elektromagnit tarqalish maydonini eksperimental o‘rganish qurilmasi, mis o‘tkazgichdan yasalgan bo‘lib, 50 Hz chastotali o‘zgaruvchan kuchlanish bilan ta’minlangan chulg‘amdan tashkil topgan. Statorga o‘rnatilgan magnet maydon tarqalishini o‘lchash qurilmasi, stator chulg‘amining tirsak qismi qarshisida o‘rnatilgan bo‘lib, yoy shaklida, hamda uzunligi mashinaning bir qutb bo‘linmasiga teng. Bunday holda, stator chulg‘ami tirsak qismining tarqoq magnet maydoni tarqalishini o‘lchash uchun o‘lchash o‘tkazgichi stator chulg‘amining tirsak qismiga qarama-qarshi bo‘lgan podshiknik shitiga o‘rnatiladi. 11 (a)-rasmda elektr harakatlanuvchi tarkibning TAM stator chulg‘ami tirsak qismining magnet maydoni tarqalishini o‘lchash uchun qurilmaning elektr sxemasi va 11 (b)- rasmda 1TB2624–0GA02 asinxron tortuvchi motori stator chulg‘amining tirsak qismi tarqoq magnet maydoni eksperimental olingan ossilogrammasi keltirilgan.



a)

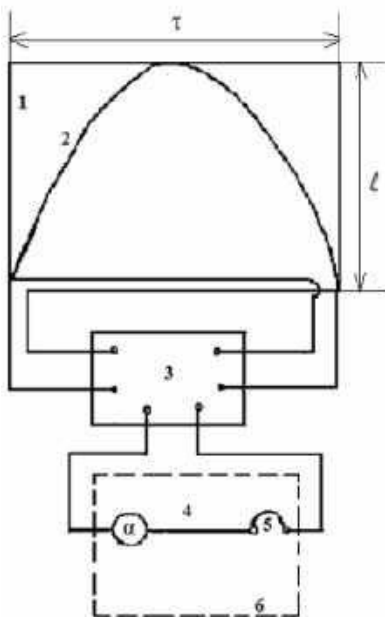
b)

11- rasm. EHT TAM stator chulg‘ami tirsak qismidagi tarqoq magnet maydonini o‘lchovchi o‘tkazgich (datchik)ning joylashuvi (a); 1TB2624–0GA02 asinxron tortuvchi motori stator chulg‘amining tirsak qismi tarqoq magnet maydoni ossilogrammasi (b)

11(a)-rasmga binoan, qurilma stator chulgʻamining tirsak qismi (1) keltirilgan, stator chulgʻamining tirsak qismi (1) ning qarama qarshi tomonida podshipnik shiti (3) da oʻlchovchi oʻtkazgich (datchik) (2) joylashgan, uning uzunligi bir qutb boʻlinmasi τ ga teng va stator chulgʻami tirsak qismlarining joylashuvi radiusiga teng radiusda joylashtirilgan.

Asinxron motorning vektor diagrammasi asinxron mashina havo oraligʻidagi yigʻindi magnit maydoni va uning birinchi garmonikasi orasidagi siljish burchagini oʻlchash orqali qurilsa, vektor diagrammaning aniqlikligi yuqori boʻladi, ammo koʻp hollarda bu burchak hisoblab topiladi. Taklif etilayotgan qurilma yordamida asinxron motorning yigʻindi magnit maydonini oʻlchash uchun toʻrtburchak shaklidagi oʻlchov ramka (datchik)sini va magnit maydonining asosiy garmonikasini oʻlovchi sinusoidal ramka (datchik)ni qoʻllash orqali, yigʻindi magnit maydonini va uning asosiy garmonikasi orasidagi siljish burchagi oʻlchangan.

12- rasmda ushbu qurilmaning elektr sxemasi koʻrsatilgan. Bu rasmga koʻra, foydali modelga olingan patent asinxron motorda diametral qadamga ega boʻlgan toʻrtburchaksimon shakldagi oʻlchov ramkasi (datchigi) 1 va sinusoidal ramka (datchik) 2 dan iborat boʻlib, ularning uzunligi mashinaning bir qutb boʻlinmasi τ ga teng va u datchiklar stator poʻlat oʻzagining yuza qismiga joylashtirilgan boʻladi. Qurilmada faza oʻlchagich 3 va siljish burchagini qayd etuvchi moslama 6 mavjud boʻlib, qayd etuvchi qurilma magnit elektr asbob 4 va ossillografning vibratori 5 dan iborat.

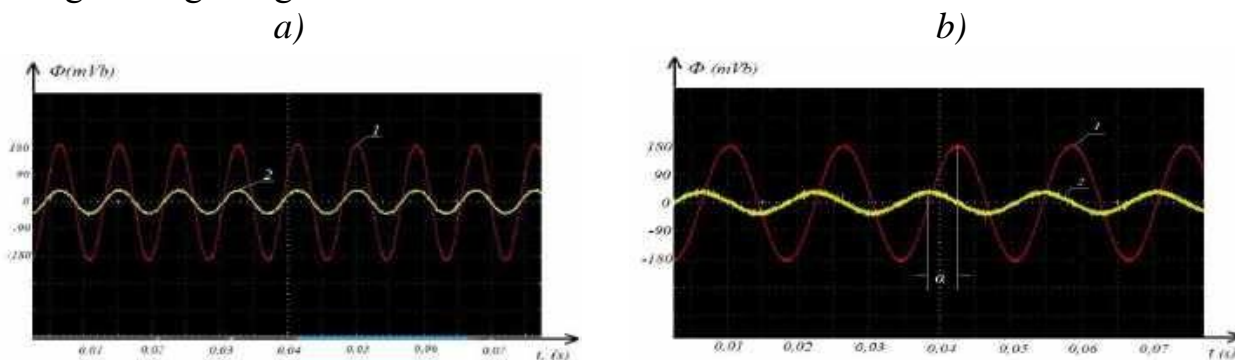


12- rasm. Asinxron motorning havo boʻshligʻidagi yigʻindi magnit maydoni va uning birinchi garmonikasi orasidagi faza siljish burchagini oʻlchash qurilmasining elektr sxemasi

Asinxron motorning havo boʻshligʻida hosil boʻlgan yigʻindi magnit maydoni va uning birinchi garmonikasi orasidagi faza siljish burchagini oʻlchash uchun toʻrtburchaklarsimon ramkasi (datchigi) 1 va sinusoidal ramka (datchik) 2 ning chiqish uchlari ossillografning vibratori 5 ga ulanadi.

13- rasmda toʻrtburchaklarsimon ramka (datchik) 1 bilan oʻlchangan yigʻindi magnit maydoni va sinusoidal ramka (datchik) 2 bilan oʻlchangan yigʻindi magnit

maydonining asosiy garmonikasining ossillogrammasi salt ishlash rejimi uchun keltirilgan. Salt ishlash rejimida ikkala egri chiziq bir xil fazada bo‘ladi, shu sababli siljish burchagi $\alpha=0^0$ ga teng bo‘ladi.



13-rasm. Salt ishlash rejimidagi yig‘indi magnit maydoni va uning birinchi garmonikasining ossillogrammasi (a) va yuklanish rejimida havo bo‘shlig‘idagi yig‘indi magnit maydoni va uning asosiy garmonikasining ossillogrammasi (b)

Asinxron mashina yuklama ostida ishlaganda yig‘indi magnit maydoni deformatsiyalanadi, natijada to‘rtburchaklarsimon ramka (datchik) 1 ning elektr yurituvchi kuchi (1) ham deformatsiyalanadi, buning natijasida sinusoidal ramka (datchik) 2 yordamida o‘lchangan magnit maydoni birinchi garmonikasining elektr yurituvchi kuchi (2) to‘rtburchaksimon ramka (datchik) 1 ning elektr yurituvchi kuchi (1) ga nisbatan $\alpha=60^0$ burchakka siljiydi (13-rasm). 13-rasmda asinxron motorning yuklanish rejimida havo bo‘shlig‘idagi yig‘indi magnit maydoni va uning birinchi garmonikasi orasidagi faza siljish burchagi ossillogrammasi keltirilgan.

Shunday qilib, ushbu qurilma yordamida asinxron motorning havo bo‘shlig‘idagi yig‘indi magnit maydoni va uning asosiy garmonikasi orasidagi faza siljish burchagi bevosita o‘lchanadi, hamda bu qurilmaning konstruksiyasi juda sodda hisoblanadi.

Xulosa

“Elektrovotlar tortuvchi asinxron motorlarining ekspluatatsion ko‘rsatkichlarini yaxshilash” mavzusidagi falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi bo‘yicha olib borilgan tatqiqotlar natijasida quyidagi xulosalar taqdim etiladi:

1. Adabiyotlar tahlilidan shu narsa ma‘lum bo‘ldiki, tortuvchi asinxron motorlarning ekspluatatsion ko‘rsatkichlarini yaxshilashda havo oralig‘idagi magnit maydonining shakli sinusoidaga yaqin bo‘lishi juda katta rol o‘ynashi hamda tortuvchi asinxron motorlarning ekspluatatsion ko‘rsatkichlariga ta‘sir etuvchi havo oralig‘idagi magnit maydonining qiymati va shaklini aniqlovchi qurilmalar yaratish juda muhim ekanligini aniqlandi.

2. “Ansys Maxwell” dasturi yordamida elektrovotlar tortuvchi asinxron motori ekspluatatsion ko‘rsatkichlariga ta‘sir etuvchi havo oralig‘idagi magnit maydonini hisoblash uchun matematik model ishlab chiqildi. Natijada TAM ning foydali ish koeffitsiyenti standart pazlarga ega bo‘lgan motorning foydali ish koeffitsiyentidan 1% ga, quvvat koeffitsiyenti esa 1,06% ga oshdi.

3. Tortuvchi asinxron motorni “Matlab Simulink” paketida modellashtirildi va

stator kuchlanishi, stator toki, rotor tezligi, TAM ning nominal yuklamadagi elektromagnit momentlarining ossillogrammalari olinib, tajriba natijasida olingan qiymatlaridan o‘rtacha 4,8% ga farq qilishi aniqlandi.

4. Tortuvchi asinxron motorning ishchi xarakteristikalar va mexanik xarakteristikasi to‘yinish koeffitsiyentini hisobga olgan holda “Ansys Maxwell” dasturi paketida modellashtirildi, hamda asinxron motorning maksimal momentini hisoblash algoritmi takomillashtirildi;

5. TAM ekspluatatsion ko‘rsatkichlariga ta’sir etuvchi havo bo‘shlig‘idagi yig‘indi magnit maydonining shaklini aniqlovchi va qiymatini o‘lchovchi, tuzilishi sodda, aniqligi yuqori bo‘lgan qurilma yaratildi. Bu qurilmaga O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi Intellektual mulk agentligidan № FAP 02254 foydali modelga patent olindi.

6. Elektr harakat tarkibidagi TAM ekspluatatsion ko‘rsatkichlariga ta’sir etuvchi stator chulg‘aming magnit maydoni birinchi garmonikasining shaklini aniqlovchi va qiymatini o‘lchovchi, tuzilishi sodda, aniqligi yuqori bo‘lgan qurilma yaratildi. Bu qurilmaga O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi Intellektual mulk agentligidan № FAP 02255 foydali modelga patent olindi.

7. Elektr harakat tarkibidagi TAM ekspluatatsion ko‘rsatkichlariga ta’sir etuvchi statori chulg‘aming tirsak qismidagi tarqoq magnit maydonini o‘lchovchi, tuzilishi sodda, aniqligi yuqori bo‘lgan qurilma yaratildi. Bu qurilmaga O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi Intellektual mulk agentligidan № FAP 02159 foydali modelga patent olindi.

8. Asinxron mashina havo oralig‘idagi yig‘indi magnit maydoni va uning birinchi garmonikasi orasidagi siljish burchagini o‘lchovchi, tuzilishi sodda, aniqligi yuqori bo‘lgan qurilma yaratildi. Bu qurilmaga O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi Intellektual mulk agentligidan № FAP 02215 foydali modelga patent olindi.

9. Dissertatsiya ishi doirasida amalga oshirilgan ilmiy-tadqiqot natijalari “O‘zbekiston temir yo‘llari” AJ tasarrufidagi “O‘ztemiryo‘lmashta’mir” UK da tatbiq etilgan va yillik iqtisodiy samaradorlik 113 000 000 so‘mni tashkil etdi.

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

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТРАНСПОРТНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

БЕРДИЁРОВ УЛМАСБЕК НУРАЛИ УГЛИ

**УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
АСИНХРОННЫХ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО
СОСТАВА**

**05.08.05 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов
и электрификация**

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

Ташкент - 2025

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан под номером В2022.Т4. PhD/Т2947.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном транспортном университете.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-сайте научного совета (<http://tstu.uz>) и Информационно-образовательном портале «Ziynet» (www.ziynet.uz).

| | |
|-------------------------------|---|
| Научный руководитель: | Бердиев Усан Турдиевич кандидат технических наук, профессор |
| Официальные оппоненты: | Хамидов Отабек Рустамович доктор технических наук, профессор Юсупов Дилмурод Турдалиевич доктор философии по техническим наукам старший сотрудник научный |
| Ведущая организация: | Ташкентский государственный технический университет |

Защита диссертации состоится “__” ____ 2025 г. в __ часов на заседании научного совета DSc.15/31.08.2022.Т.73.07 при Ташкентском государственном транспортном университете. Адрес: 100167, г. Ташкент, ул. Темирийулчилар, 1. Тел.: (99871) 299-00-01; факс: (99871) 293-57-54, e-mail: rektorat@tstu.uz.

С диссертацией можно ознакомиться в Ташкентском государственном транспортном университете (регистрационный номер-__). (Адрес: 100167, г. Ташкент, ул. Темирийулчилар, 1. Тел.: (99871) 299-05-66).

Автореферат диссертации разослан «__» _____ 2025 года.
(протокол рассылки реестра № __ от «__» _____ 2025 года).

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

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

Р.М. Мирсаатов
Председатель Научного семинара
при Научном совете по присуждению
учёных степеней, д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

В мире железнодорожный транспорт занимает одно из ведущих мест в системе перевозки грузов и пассажиров. В целях расширения масштабов применения и сохранения конкурентоспособности на глобальном уровне последовательно реализуются меры по повышению скорости движения и обеспечению надежности подвижного состава. Особенно актуальным становится внедрение в практику комплектования современных электрических подвижных составов тяговыми асинхронными электродвигателями. В этой связи повышение надежности работы электродвигателей, совершенствование их конструкции и определение параметров функционирования с использованием научного подхода имеют важное значение для обеспечения бесперебойной и высокоэффективной работы подвижного состава.

В мире ведущими компаниями-производителями электровазов ведутся научно-исследовательские работы, направленные на повышение эксплуатационных показателей электрических подвижных составов и энергетической эффективности тяговых асинхронных электродвигателей. В этом направлении особое внимание уделяется созданию математической модели, полноценно отражающей магнитное поле в процессе работы тяговых асинхронных двигателей, а также совершенствованию их эксплуатационных параметров и повышению общей эффективности работы. Кроме того, особое внимание уделяется усовершенствованию технических средств, применяемых в тяговых асинхронных двигателях, снижению энергетических потерь и повышению надежности их функционирования.

В нашей Республике реализуются широкомасштабные меры по модернизации железнодорожного транспорта, в том числе по внедрению высокоскоростных электрических подвижных составов, обновлению существующего парка локомотивов и электрификации железнодорожной инфраструктуры, что уже позволило достичь определённых результатов. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017–2021 годы, а также в Стратегии развития “Нового Узбекистана” на 2022–2026 годы определены приоритетные задачи, в частности: «повышение энергоэффективности экономики на 20 процентов, расширение возможностей транспортных коммуникаций, обеспечение технического и технологического обновления». В реализации этих задач, в частности, важное значение имеет повышение эффективности работы тяговых асинхронных электродвигателей, функционирующих в составе электрических подвижных составов, а также совершенствование применяемых в них технических средств.

Настоящая диссертационная работа в определённой степени способствует реализации задач, обозначенных в Законе Республики Узбекистан «О железнодорожном транспорте» (1999 год), Указе Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года № ПФ-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», Постановлении Президента Республики Узбекистан от 23 августа 2017 года № ПК-3238 «О мерах по дальнейшему внедрению современных энергоэффективных и энергосберегающих

технологий», а также в других нормативно-правовых документах, относящихся к данной сфере деятельности¹.

Соответствие исследований приоритетным направлениям развития республиканской науки и техники. Данное исследование было выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан 2. «Энергетика, энергосбережение и ресурсосбережение».

Степень изученности проблемы. Научные исследования по совершенствованию методов и технических средств повышения эффективности тяговых асинхронных двигателей проводятся в научных центрах и высших учебных заведениях мира, в том числе University of Michigan and General Electric, Bergen Laboratories Ins. (США), Ilmenau и Siemens Technical University, Siemens и Halke (Германия), Davy и United Instrumets (Великобритания), Sony и Tokyo Institute of Technology, Toshiba (Япония), ASEA (Швеция), Kelk Electronics (Канада), National Research University (MPEI), University of Birmingham (ОАЭ), (Россия), Санкт-Петербургский государственный университет железных дорог имени императора Александра I (Россия), Российский транспортный университет (Россия) и Ташкентский государственный транспортный университет (Узбекистан).

В этом направлении работали С. Харша, П. Бечард, Л. Александр, Уильям Т. Томсон, П. Канкар, С. Джанг, А. Ставроу, Р. Онг, А. Лотце, П. Кауэрт, Ч. Энке, Л. Вальтер, Т. Бартон, И.Х. Хайруллин, Ф.Р. Исмагилов, К.К. Ким, А.А. Зарифян, М.А. Гашимов, Д.Ю. Пашали, О.А. Бойкова, З.Г. Гюев, А.Д. Глущенко, М.Д. Глущенко, В.И. Киселев, В.Н. Жидков, А.С. Мазнев, А.В. Грищенко, В.Г. Юпка, Н.Е. Конюхов, М.Ф. Зарипов, Н.М. Усмонходжаев, Ш.С. Файзибаев, Г.А. Хромова, О.Р. Хамидов, Амиров С.Ф., Бедрицкий И.М., Пирматов Н.Б., Н.С. Зайниддинов, Колесников И.К., Гладылев Г.В., Ивашев В.Н., Белинский И.Д., Назирханов Т.М., Одилов Г., Юшко В.И., М.Ш. Валиев, М.М. Мирсоатов и другие внесли свой вклад в улучшение эксплуатационных показателей тяговых асинхронных двигателей. Благодаря усилиям этих ученых были разработаны и развиты теоретические основы энергоэффективности тяговых асинхронных двигателей и проектирование и расчета двигателей, усовершенствованы эти системы, а также предложены и внедрены в производство решения по их схемам. Однако особое внимание не уделяется созданию полноценной математической модели магнитного поля тяговых асинхронных двигателей и улучшению их эксплуатационных показателей.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего учебного заведения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских работ Ташкентского государственного транспортного университета, а также в рамках международных проектов, программ государственных грантов Республики Беларусь и Республики Узбекистан, в частности MRB-2021-541 "Разработка технологии получения магнитных компонентов для двухстаторного комбинированного электродвигателя повышенной мощности на основе порошкового композиционного материала".

Целью исследования является улучшение эксплуатационных характеристик

асинхронных двигателей электровозов путем изменения геометрических размеров пазов ротора.

Задачи исследования:

анализ современных методов улучшения эксплуатационных показателей тяговых асинхронных двигателей электровозов;

создание компьютерной модели для расчета электромагнитного поля и эксплуатационных показателей тягового асинхронного двигателя ЭВМ в программном пакете "Ansys Maxwell";

разработка модели тягового асинхронного двигателя электровоза в пакете "Matlab Simulink" с учетом коэффициента насыщения;

совершенствование алгоритма расчета максимального момента тягового асинхронного двигателя с учетом коэффициента насыщения;

разработка устройства для измерения формы и величины результирующего магнитного поля в воздушном зазоре и его первой гармоники, влияющих на эксплуатационные показатели тяговых асинхронных двигателей электровозов, устройства для измерения рассеянного магнитного поля коленчатой части обмотки статора и измерения угла сдвига между результирующим магнитным полем и его первой гармоникой, необходимого для построения векторной диаграммы двигателя;

экспериментальное обоснование разработанной теории по улучшению эксплуатационных показателей тяговых асинхронных двигателей электровозов.

Объектом исследования является асинхронный тяговый двигатель марки 1ТВ2624-0GA02 электровоза "O‘zbekiston Yo‘lovchi".

Предметом исследования являются эксплуатационные показатели асинхронных тяговых двигателей электроподвижного состава.

Методы исследования. В процессе исследования использовались положения теории электрических машин, итерационные численные методы и теория алгоритмов, дифференциальные уравнения Парка–Горева, имитационное и математическое моделирование переходных режимов в программной среде MATLAB, методы математической статистики для обработки и сопоставления полученных данных, а также методы, предусмотренные действующими нормативными документами.

Научная новизна исследования:

создана математическая модель для расчета магнитного поля и его эксплуатационных параметров при номинальных значениях напряжения асинхронных тяговых двигателей электроподвижного состава;

усовершенствована имитационная модель, позволяющая исследовать режимы работы тягового асинхронного двигателя электровоза с учетом коэффициента насыщения;

усовершенствован алгоритм расчета максимального крутящего момента тягового асинхронного двигателя с учетом коэффициента насыщения;

разработано устройство для измерения формы и величины результирующего магнитного поля в воздушном зазоре и его первой гармоники, влияющих на эксплуатационные характеристики тяговых асинхронных двигателей электровоза.

Практические результаты исследования заключается в следующем:

Разработан метод измерения магнитного поля в воздушном зазоре, влияющего на эксплуатационные показатели тяговых асинхронных двигателей;

разработан алгоритм расчета магнитного поля, влияющего на эксплуатационные показатели тяговых асинхронных двигателей.

Достоверность результатов исследования обосновывается в теоретических исследованиях, с использованием современных цифровых методов, апробированного и общепризнанного программного обеспечения, в инженерной практике, экспериментах и испытаниях - сертифицированных и откалиброванных средств измерений; подтверждается близостью результатов, полученных на основе экспериментов с результатами теоретических исследований.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования объясняется тем, что разработана математическая модель магнитного поля в воздушном пространстве тяговых асинхронных двигателей с учетом нелинейности кривой намагничивания стального сердечника.

Практическая значимость результатов исследования объясняется высокой чувствительностью, точностью и надежностью технических средств измерения магнитного поля тяговых асинхронных двигателей.

Внедрение результатов исследований.

На основе полученных результатов по обоснованию конструктивных параметров и режимов работы тяговых асинхронных электродвигателей электровозов с целью повышения их эксплуатационных характеристик:

Получен патент на полезную модель Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан на устройство для измерения первой гармоники магнитного поля обмотки статора тягового асинхронного двигателя в электроподвижном составе (№ FAP 02255, 2021 г.). В результате удалось создать измерительное устройство с высокой чувствительностью и точностью;

получен патент на полезную модель Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан на устройство для измерения результирующего магнитного поля обмотки статора асинхронной машины (№ FAP 02254, 2021 г.). В результате удалось создать измерительное устройство с высокой чувствительностью и точностью;

получен патент на полезную модель Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан (№ FAP 02159, 2021 г.) на устройство для измерения рассеянного магнитного поля в коленчатой части обмотки статора асинхронной машины. В результате удалось создать измерительное устройство с высокой точностью;

получен патент на полезную модель Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан на устройство для измерения угла сдвига между результирующим магнитным полем в воздушном зазоре асинхронной машины и его первой гармоникой (№ FAP 2022 0020, 2022). В результате удалось создать измерительное устройство с высокой точностью;

разработанные строения внедрены в асинхронный тяговый двигатель электровозов в унитарном предприятии "Узтемирйулмаштаъмир" (справка акционерного общества "Узбекистон темир йуллари" № 01/4120-23 от 4 декабря

2023 г.). В результате ожидаемая экономическая эффективность составляет 113 миллионов сумов за счет улучшения эксплуатационных показателей тягового асинхронного двигателя.

Апробация результатов исследования. Результаты диссертационной работы были представлены и обсуждены на 11 научных конференциях, в том числе на 2 научных конференциях, индексируемых в международной базе данных Scopus, на 3 международных и 6 республиканских научных конференциях.

Опубликованность результатов исследования. Всего по теме диссертации опубликовано 21 научные работы, в том числе 5 статей в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, в том числе 2 в республиканских и 3 в зарубежных научных журналах, а также получены 4 патента на полезную модель и 2 свидетельства на программы для ЭВМ от Агентства интеллектуальной собственности при Министерстве юстиции Республики Узбекистан.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 117 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследования, даны характеристики объекту и предмету исследования, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий в республике, изложены научная новизна и практические результаты исследования, приведены сведения о внедрении результатов научных исследований в производство, сведения об опубликованных работах и структуре диссертации.

В первой главе диссертации "Состояние исследований, направленных на улучшение эксплуатационных показателей тяговых асинхронных двигателей и постановка задачи" проведен анализ различных методов и схем улучшения эксплуатационных показателей тяговых асинхронных двигателей учеными стран СНГ, Европы, Ближнего Востока и Запада, определена необходимость совершенствования этих методов и схем. Прокомментирован ряд научных работ, достигнутых в области теории асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. В конце главы определены цель и сформулированы задачи исследования.

Исходя из результатов анализа литературных источников и поставленной цели, определены основные задачи исследования.

Во второй главе диссертации "Моделирование магнитного поля тягового асинхронного двигателя в электроподвижном составе" рассмотрена теория асинхронных двигателей и методы их расчета с учетом современных возможностей. Приведены основные положения, используемые при расчете тяговых асинхронных двигателей (ТАД).

Современное состояние исследований эксплуатационных показателей ТАД электроподвижного состава (ЭПС) направлено на повышение энергоэффективности, надежности и устойчивости электродвигателей при эксплуатации в динамических режимах. Основные направления исследований

включают улучшение эксплуатационных показателей путем моделирования электромагнитных процессов с учетом нелинейных свойств материалов и их поведения в условиях переменного магнитного потока. Современные подходы позволяют определить потери при гистерезисе и вихревых токах, что особенно важно для разработки эффективных систем управления и контроля. При моделировании магнитных полей, влияющих на эксплуатационные показатели ТАМ, использовалось программное обеспечение Ansys Maxwell.

Исследования проводились на ТАД марки 1ТБ2624-0ГА02 электровоза "Уз-Й." В базовой разработке ротор имеет 54 паза, а статор - 72 паза (на основании справки по электровозу "Уз-Й"). Данные, полученные путем измерения пазов двигателя, позволили определить геометрию поперечного сечения двигателя. Основные значения геометрии пазов статора и ротора приведены на рис. 1.

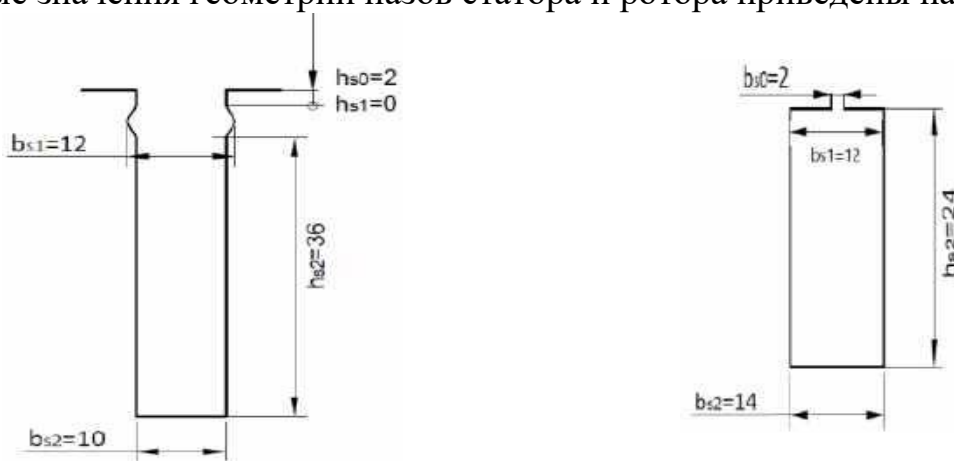


Рис.1. Геометрия пазов статора и ротора: число пазов статора $Z_1=72$; число пазов ротора $Z_2=54$

Кроме того, окружим внешнюю границу сердечника статора концентрической окружностью. Концентрическая окружность, выходящая из корпуса двигателя в окружающее пространство, позволяет учитывать ослабление электромагнитного поля. Посредством такого построения была определена граница внешней зоны, где выполняется расчет. В физических экспериментах различие характеристик свойств материалов может существенно снизить точность расчетов, что оказывается возможным при моделировании. В качестве материала магнитопровода объекта исследования ТАД принимаем сталь марки 3413 и температуру машины считаем равной 115°C . Расчетная площадь паза ротора $S_{sp}=312 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$. Число проводников в пазах $w_{p.o}=18$. После ввода всех данных была получена форма магнитных индукций в 2D-модели ТАД (рис. 2).

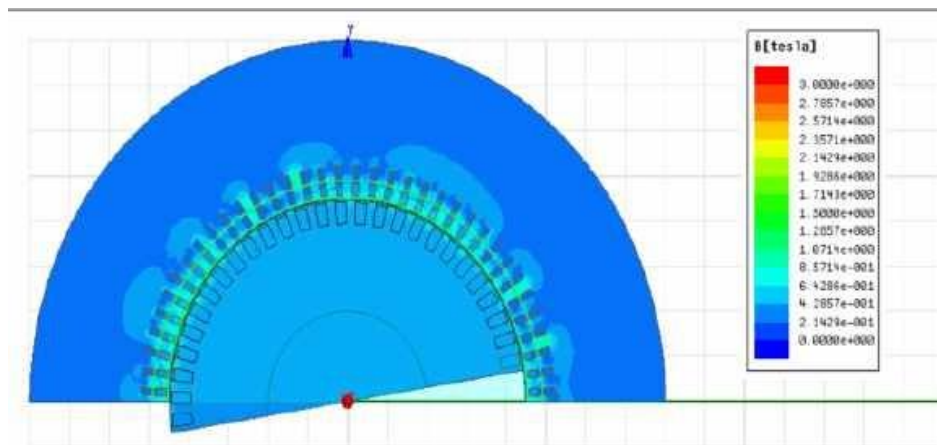


Рис.2. Магнитная индукция в пазах ТАД с номинальными параметрами

Величина магнитной индукции в пазах статора, ротора и воздушного пространства номинального размера ТАД составила: $B_s=1.97$ Тл; $B_r = 2,3$ Тл; $B_{h,b}=1,07$ Тл. Сравнение полученных значений с номинальными расчетными данными в справочниках показало, что эти значения в среднем на 20% выше, причем значительно больше номинальных значений по токам в проводниках. Высокая магнитная индукция в пазах, а также в воздушном пространстве приводит к перегреву ТАД. Повышение температуры электродвигателя приводит к быстрому износу изоляции, что, в свою очередь, уменьшает пробег ЭВС до ремонта и приводит к увеличению потерь.

Было проанализировано несколько типов пазов для изменения формы пазов нового базового ротора с целью уменьшения потерь в исследуемом ТАД со стандартным пазом, предотвращения перегрева, и в результате анализа было установлено, что наилучшими показателями обладают пазы грушевидной формы. В результате исследований были выявлены 3 перспективных пазов ротора. Геометрия предлагаемых перспективных модернизированных роторных пазов представлена на рис. 3.

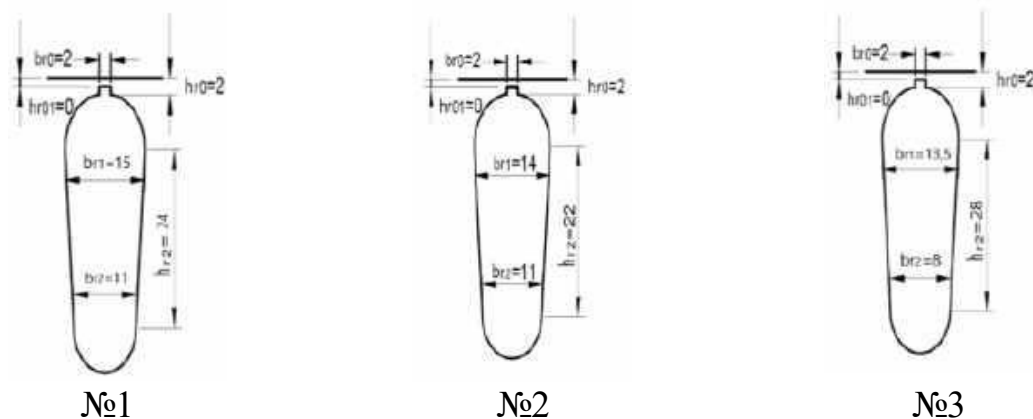


Рис.3. Геометрия предлагаемых модернизированных перспективных роторных пазов

Данные о характере насыщения магнитной цепи модернизируемого двигателя приведены на рис. 4, 5, 6.

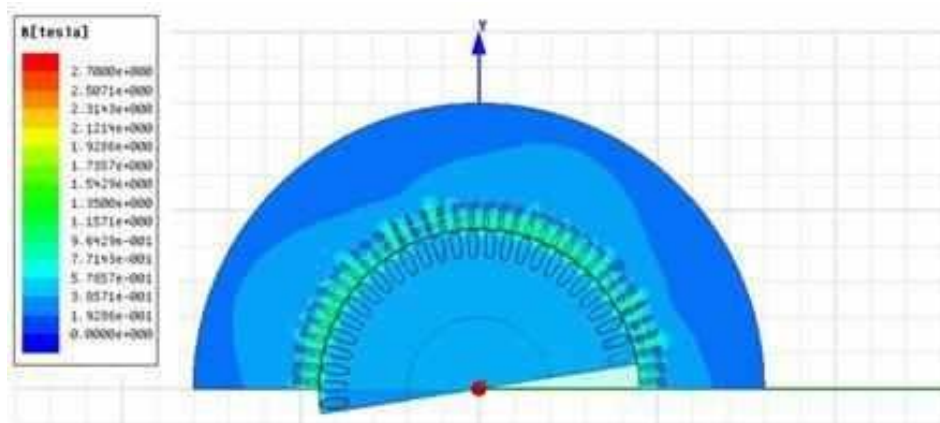


Рис.4. Уровни магнитной индукции в поперечном сечении модернизируемого двигателя (для 1-го модернизированного паза ротора)

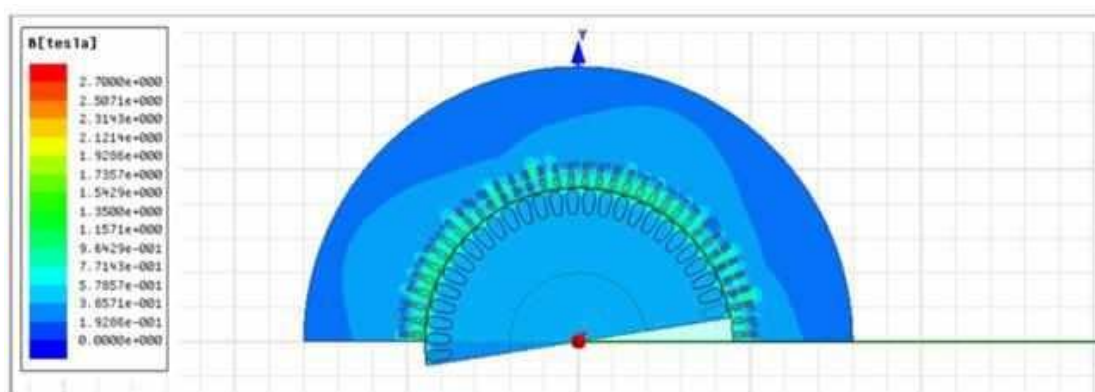


Рис. 5. Уровни магнитной индукции в поперечном сечении модернизируемого двигателя (для 2-го модернизированного паза ротора)

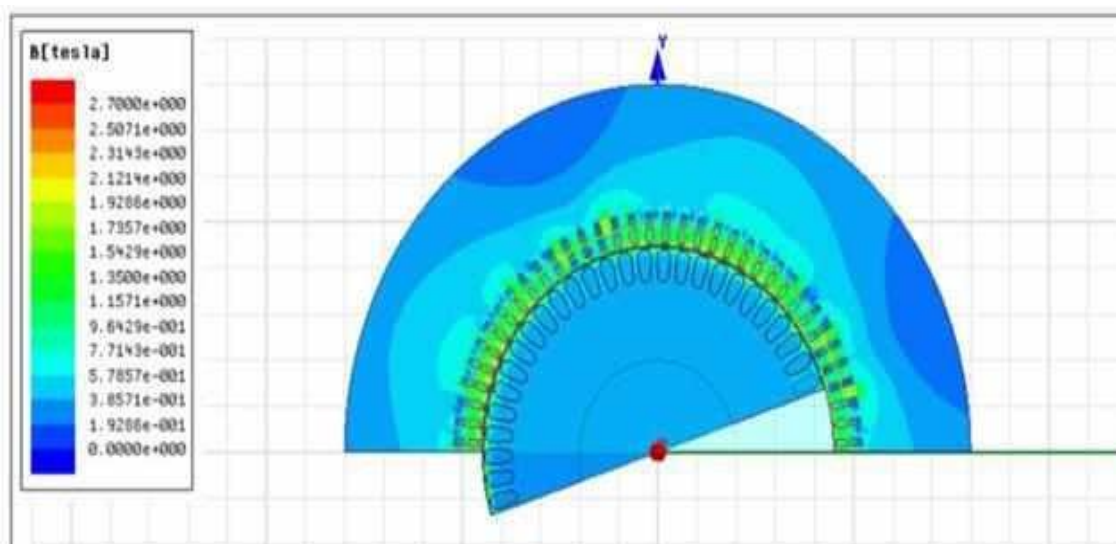


Рис. 6. Уровни магнитной индукции в поперечном сечении модернизируемого двигателя (для 3-го модернизированного паза ротора)

Сравнительные данные основных электромагнитных параметров и эксплуатационных показателей предлагаемых модернизированных пазов и номинальной пазы ТАД приведены в таблицах 1 и 2 соответственно.

Таблица 1

Электромагнитные параметры модернизированных и номинальных пазов ротора ТАД

| Форма паза | Магнитная индукция в воздушном зазоре, (Тл) Статор | Магнитная индукция в воздушном зазоре, (Тл) Статор | Магнитная индукция в воздушном зазоре, (Тл) Статор | Магнитная индукция в воздушном зазоре, (Тл) Статор | Магнитная индукция в воздушном зазоре, (Тл) Статор |
|--------------------------------------|--|--|--|--|--|
| Базовая форма пазов статора и ротора | 0,97 | 1,97 | 2,21 | 1,41 | 1,1 |
| Паз грушевого ротора №1 | 0,82 | 1,51 | 1,82 | 1,63 | 1,52 |
| Паз грушевидного ротора №2 | 0,85 | 1,54 | 1,9 | 1,627 | 1,57 |
| Паз грушевидного ротора №3 | 0,73 | 1,77 | 1,71 | 1,45 | 1,16 |

Таблица 2

Эксплуатационные показатели для модернизированных и номинальных пазов ротора ТАД

| Форма паза | КПД, (%) | Коэффициент мощности, $\cos\varphi$ | Номинальный момент на валу, Н*м | Потребляемая мощность, (кВт) |
|--------------------------------------|----------|-------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| Базовая форма пазов статора и ротора | 95,6 | 0,87 | 6525,14 | 1055,52 |
| Паз грушевого ротора № 1 | 95,16 | 0,77 | 6543,91 | 1060 |
| Паз грушевидного ротора № 2 | 95,2 | 0,79 | 6550 | 1061 |
| Паз грушевидного ротора № 3 | 96,1 | 0,89 | 6533 | 1053 |

Результаты моделирования и расчеты показали, что путем замены формы паза ротора на грушевидный, достигнуты лучшие электромагнитные и эксплуатационные показатели по сравнению с пазом номинального размера. Из таблиц 1 и 2 видно, что в модернизированных перспективных пазах ротора значение магнитной индукции в воздушном зазоре ТАД, зубцах статора и ротора значительно ниже, чем в номинальном пазе ротора, и равно номинальному значению. Установлено, что изменение геометрических параметров зубчатых зон роторных листов в широком диапазоне улучшает не только электромагнитные параметры, но и эксплуатационные показатели ТАД.

В третьей главе диссертации "Моделирование тягового асинхронного двигателя в электроподвижном составе" построена математическая модель тягового асинхронного двигателя на основе уравнений, описывающих

электрические, магнитные и механические процессы в машине. При создании математической модели использовались уравнения Парка-Горева:

$$\begin{aligned} \frac{d\psi_{x1}}{dt} &= k \left(U_t - \omega \alpha'_s \psi_{x1} + \omega \alpha'_r K \psi_{x2} + \omega \psi_{y1} \right) \\ \frac{d\psi_{y1}}{dt} &= k \left(-\omega \alpha'_s \psi_{y1} + \omega \alpha'_r K \psi_{y2} + \omega \psi_{x1} \right) \\ \frac{d\psi_{x2}}{dt} &= k \left(-\omega \alpha'_s \psi_{x2} + \omega \alpha'_r K \psi_{x1} + \omega S \psi_{y2} \right) \\ \frac{d\psi_{y2}}{dt} &= k \left(-\omega \alpha'_s \psi_{y2} + \omega \alpha'_r K \psi_{y1} + \omega S \psi_{x2} \right) \end{aligned}$$

$$M = \frac{3}{2} P \omega \frac{K_r}{r_1} \alpha'_s (\psi_{x2} \psi_{y1} - \psi_{x1} \psi_{y2})$$

$$\frac{dS}{dt} = \frac{P}{J \omega_0} (M - M_c)$$

$$i_{x1} = \omega_0 \frac{\alpha'_s}{r_1} (\psi_{x1} - k_r \psi_{x2})$$

$$i_{y1} = \omega_0 \frac{\alpha'_s}{r_1} (\psi_{y1} - k_r \psi_{y2})$$

$$\alpha'_s = \frac{r_1}{x_{S\sigma}}; \alpha'_r = \frac{r_2}{x_{r\sigma}}; k_s = \frac{x_0}{x_s}; k_r = \frac{x_0}{x_r},$$

где ψ_{x1} , ψ_{y1} , ψ_{x2} , ψ_{y2} - магнитопоточное сцепление статора и ротора по координатным осям x и y; U_m -сетевое напряжение; M_c - момент сопротивления; M - крутящий момент двигателя; x_0 - индуктивное сопротивление; x_s (x_r) - реактивные сопротивления обмоток статора и ротора; r_1 (r_2) - активные сопротивления обмоток статора и ротора; J - момент инерции; S - скольжение асинхронного двигателя; σ - коэффициент рассеяния, $\sigma=1-k_s k_r$; k_r -коэффициент насыщения.

После создания математической модели была разработана компьютерная имитационная модель, созданная в программе Matlab Simulink ТАД, которая отличается от аналогов этой модели тем, что учитывает коэффициент насыщения магнитного поля. Результаты, полученные на модели тягового асинхронного двигателя с инвертором автономного напряжения в пакете "Matlab Simulink," представлены на рис.7.

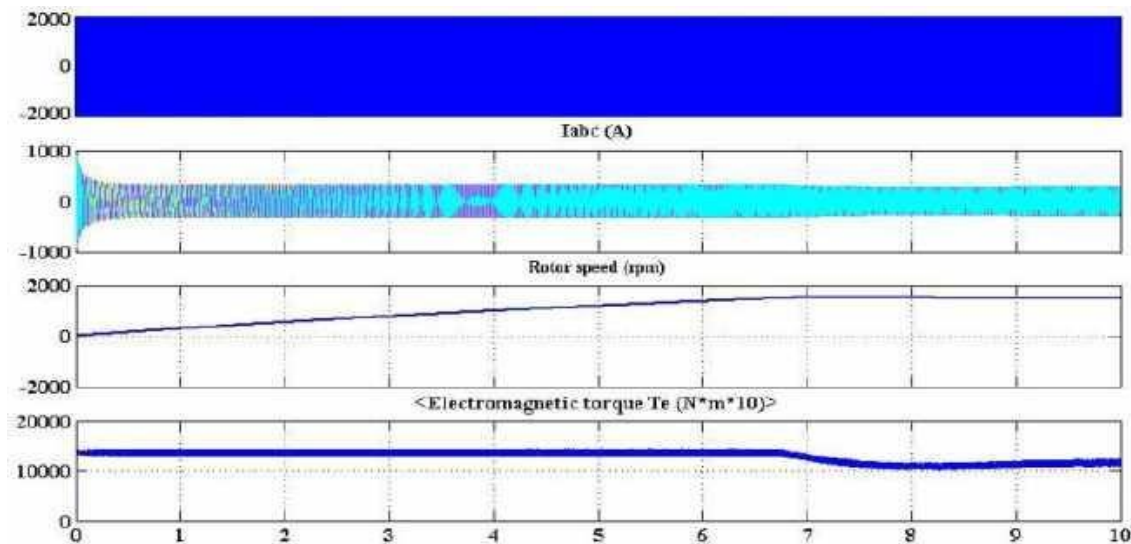


Рис.7. Запуск ТАД в режиме нагрузки

На рис. 8 приведены скорости ТАД, полученные в результате математической модели и эксперимента.

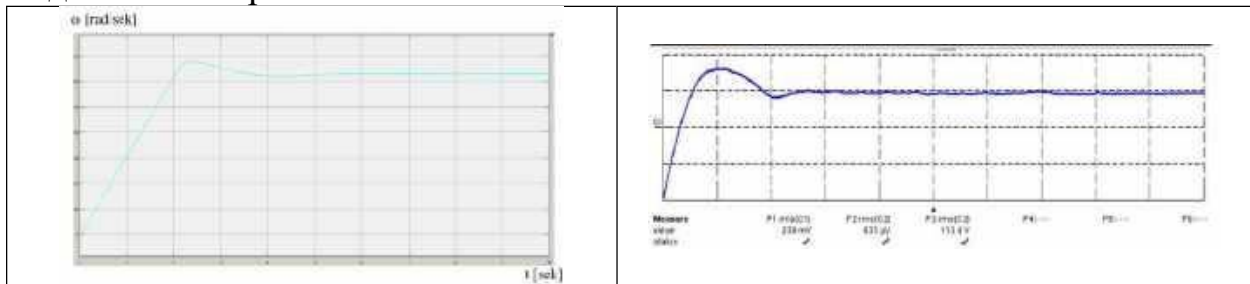


Рисунок 8 На основе эксперимента в режиме холостого хода осциллограмма скорости ТАД 1ТБ2624-ОГА02

Четвертая глава диссертации «Эксперименты, проведенные на тяговом асинхронном двигателе в ЭПС» посвящена разработке новых измерительных приборов для измерения магнитного поля ТАД и проведению экспериментальных исследований.

Известно, что результирующее магнитное поле ТАД возникает в результате совместного действия обмотки статора и обмотки ротора. Для определения электродинамических сил, действующих на коленчатые части обмоток статора, необходимо знать форму поля. Измерение результирующего магнитного поля осуществляется в основном на датчиках Холла. Во многих серийно выпускаемых двигателях нет возможности устанавливать специальные датчики с пленкой Холла толщиной до 2 мм. Общепромышленные датчики магнитного поля в пластиковых корпусах слишком велики для размещения в воздушном пространстве машины. В связи с тем, что существующие методы измерения результирующего магнитного поля имеют ряд недостатков, был разработан новый тип измерительного прибора.

Устройство для экспериментального исследования результирующего магнитного поля обмотки статора включает в себя прямоугольную измерительную рамку из медной проволоки диаметром 0,15 мм и измерительный прибор. ТАД электрического подвижного состава датчики расположены на поверхности статорного стального сердечника, диаметральный шаг машины на длине 1

расположен равен одному полюсному делению машины τ . Преимуществом данного метода измерения результирующего магнитного поля обмотки статора является простота измерительной схемы и обеспечение высокой точности измерений.

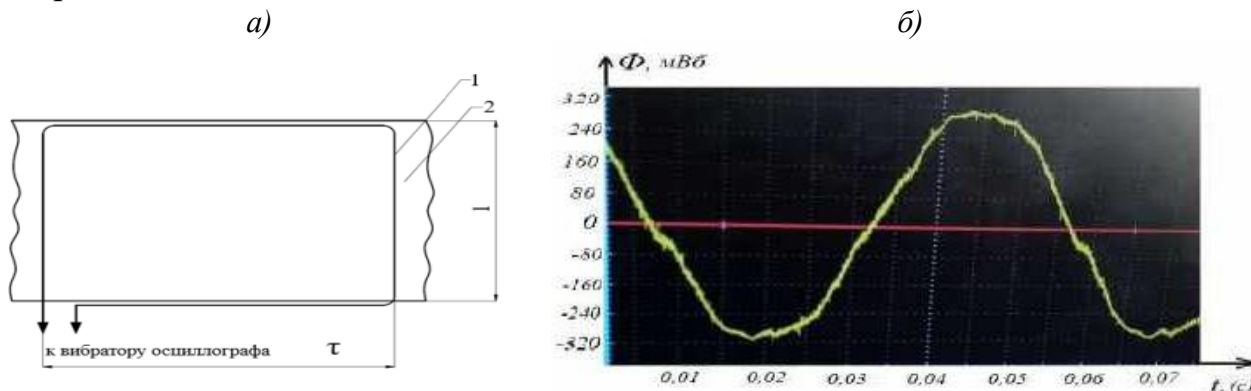


Рис.9. Схема устройства для измерения результирующей магнитного поля обмотки статора (а); осциллограмма результирующей магнитного поля обмотки статора ТАД 1ТВ2624-0ГА02 (б)

Схема устройства для измерения результирующего магнитного поля обмотки статора показана на рис. 9 (а) и осциллограмма 1ТВ2624-0ГА02 ТАД, полученная в результате исследования результирующего магнитного поля обмотки статора, представлена на рис. 9 (б).

Согласно рис. 9 (а) устройство содержит измерительную рамку (1) прямоугольной формы, при этом рамка (1) с диаметральной шагом, длина которой равна одному полюсному делению машины τ , расположена на поверхности статорного стального сердечника (2) асинхронного тягового двигателя электроподвижного состава. Устройство работает следующим образом: при подаче трехфазного напряжения на зажимы обмотки статора в обмотке статора возникает результирующее магнитное поле. В этом случае результирующее магнитное поле обмотки статора создает ЭДС в прямоугольной измерительной рамке (1), которая повторяет форму результирующего магнитного поля обмотки статора, если необходимо получить осциллограмму результирующего магнитного поля обмотки статора, то концы прямоугольной измерительной рамки подключаются к vibratorу осциллографа. Экспериментальные исследования результирующего магнитного поля обмотки статора проводились в цехе электрических машин УП «УЗТЕМИРЙУЛМАШТАМИР» АТМ типа 1ТВ2624-0ГА02 электровоза "Уз-У." Погрешность между теоретическими и экспериментальными исследованиями составила 5%. Изучение еще одной важной первой гармоники результирующего магнитного поля асинхронного двигателя является важным аспектом при анализе электромагнитных свойств. Устройство, измеряющее первую гармонику результирующего магнитного поля статора ТАД, представляет собой медную проволочную рамку синусоидальной формы толщиной 0,15 мм. Измерительная рамка синусоидальной формы извлекает из результирующего магнитного поля только соответствующую гармонику, так как для всех остальных гармоник коэффициент обмотки такой рамки равен нулю. Для отделения первой гармоники от результирующего магнитного поля используется измерительная рамка,

распределенная синусоидально на поверхности стального сердечника статора, при этом ее длина должна быть равна одному полюсу машины. К преимуществам этого метода измерения первой гармоники обмотки статора можно отнести упрощенную схему и высокую точность измерения. На рис. 10 (а) показано расположение синусоидальной измерительной рамки на поверхности статора статора ЭПС ТАД, а на рис. 10 (б) - осциллограмма основной (первой) гармоники магнитного поля асинхронного тягового двигателя 1ТВ2624-0GA02.

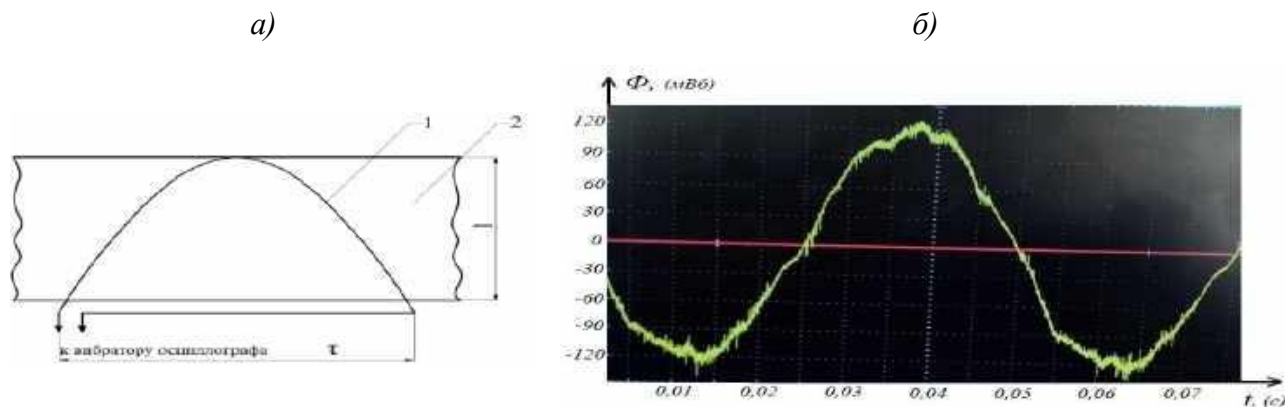


Рис.10. Расположение синусоидальной рамки, измеряющей первую гармоническую результирующего магнитного поля на расточке статора ТАД ЭПС (а); осциллограмма основной (первой) гармонической магнитного поля асинхронного тягового двигателя 1ТВ2624-0GA02 (б)

Согласно рис. 10 (а), устройство содержит синусоидальную измерительную рамку (1) длиной l , равную одному полюсному делению машины τ , и расположено на поверхности стального сердечника статора ЭПС ТАД (2). Для измерения первой гармоники магнитного поля обмотки статора выводы синусоидальной измерительной рамки (1) подключаются к vibratorу осциллографа. В этом случае магнитное поле обмотки статора создает ЭДС в измерительной рамке (1) синусоидальной формы, которая повторяет форму первой гармоники результирующего магнитного поля обмотки статора. Погрешность между теоретическими и экспериментальными исследованиями составила 5,4%.

Магнитное поле рассеяния (или фронтального рассеяния) коленчатой части обмотки статора является одним из важных аспектов, влияющих на электромагнитные параметры асинхронного двигателя. Рассеяние коленчатой части происходит из-за ограниченной длины и геометрии обмоток, что приводит к образованию магнитных полей вне активной зоны статора. Разработано устройство повышения точности измерения распространения рассеянного магнитного поля в коленчатой части обмотки статора ТАД. Устройство для измерения рассеянного магнитного поля в коленчатой части обмотки статора ТАД работает следующим образом. Устройство для экспериментального исследования поля электромагнитного распространения, расположенное в области коленчатых частей обмотки статора, выполнено из медного проводника и состоит из обмотки, питаемой переменным напряжением с частотой 50 Гц. Устройство для измерения распространения магнитного поля, установленное на статоре, имеет форму дуги, установленной напротив коленчатой части обмотки статора, и имеет длину, равную

одному полюсному делению машины. В этом случае для измерения распространения рассеянного магнитного поля коленчатой части обмотки статора измерительный проводник устанавливается на подшипниковый щит, расположенный напротив коленчатой части обмотки статора. На рис. 9 (а) представлена электрическая схема устройства для измерения рассеяния магнитного поля коленчатой части обмотки статора ТАД электроподвижного состава, а на рис. 11 (б) - экспериментально полученная осциллограмма рассеянного магнитного поля коленчатой части обмотки статора асинхронного тягового двигателя 1ТВ2624-0ГА02.

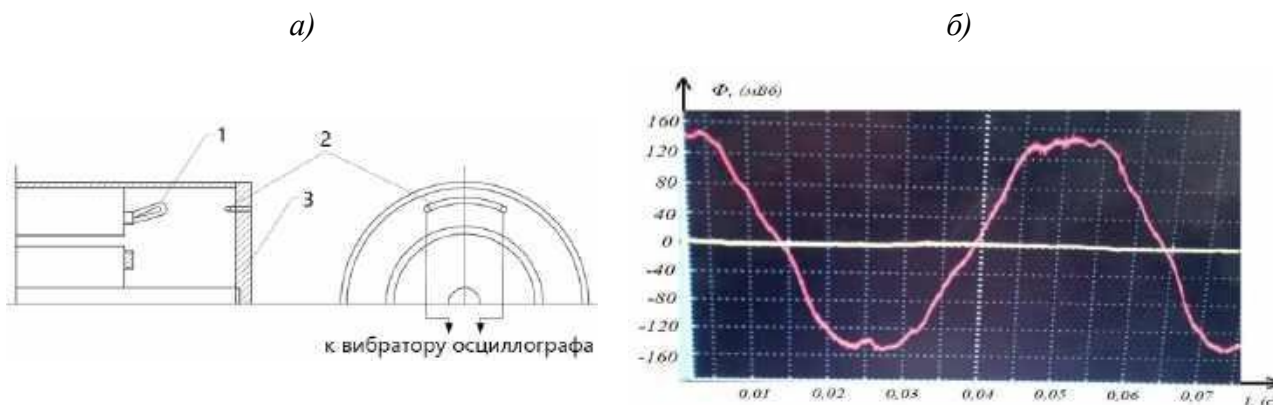


Рисунок 11. Расположение проводника (датчика), измеряющего лобовое рассеяние магнитного поля обмотки статора АД ЭПС (а); Осциллограмма лобового рассеяния магнитного поля обмотки статора ТАД 1ТВ2624-0ГА02 (б)

Согласно рис.11(а) приведена коленчатая часть (1) обмотки статора устройства, на противоположной стороне коленчатой части (1) обмотки статора на подшипниковом щите (3) расположен измерительный проводник (датчик) (2), длина которого равна одному полюсному делению τ и расположен в радиусе, равном радиусу расположения коленчатых частей обмотки статора. Если векторная диаграмма асинхронного двигателя строится путем измерения угла сдвига между результирующим магнитным полем в воздушном зазоре асинхронной машины и его первой гармоникой, то точность векторной диаграммы будет высокой, но в большинстве случаев этот угол рассчитывается. С помощью предлагаемого устройства для измерения результирующего магнитного поля асинхронного двигателя был измерен угол сдвига между результирующим магнитным полем и его основной гармоникой с использованием прямоугольной измерительной рамки (датчика) и синусоидальной рамки (датчика), измеряющей основную гармонику магнитного поля.

На рис. 12 показана электрическая схема данного устройства. Согласно этому рисунку, патент на полезную модель, полученный в асинхронном двигателе, состоит из прямоугольной измерительной рамки (датчика) 1 и синусоидальной рамки (датчика) 2 с диаметральной шагом, длина которых равна одному полюсному делению машины τ , и эти датчики размещены на поверхности статорного стального сердечника. Устройство содержит фазомер 3 и устройство 6 для регистрации угла сдвига, которое состоит из магнитоэлектрического прибора 4 и вибратора осциллографа 5.

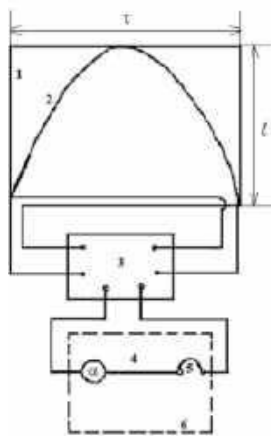


Рис.12. Электрическая схема устройства для измерения угла сдвига фазы между результирующим магнитным полем в воздушном пространстве асинхронного двигателя и его первой гармоникой

Для измерения угла сдвига фазы между результирующим магнитным полем, создаваемым в воздушном пространстве асинхронного двигателя, и его первой гармоникой, выходы прямоугольной рамки (датчика) 1 и синусоидальной рамки (датчика) 2 подключаются к вибратору 5 осциллографа.

На рис. 13 приведены осциллограммы результирующего магнитного поля, измеренного прямоугольной рамкой (датчиком) 1 и основной гармоникой результирующего магнитного поля, измеренного синусоидальной рамкой (датчиком) 2 для режима холостого хода. В режиме холостого хода обе кривые находятся в одной фазе, поэтому угол смещения равен $\alpha=0$.

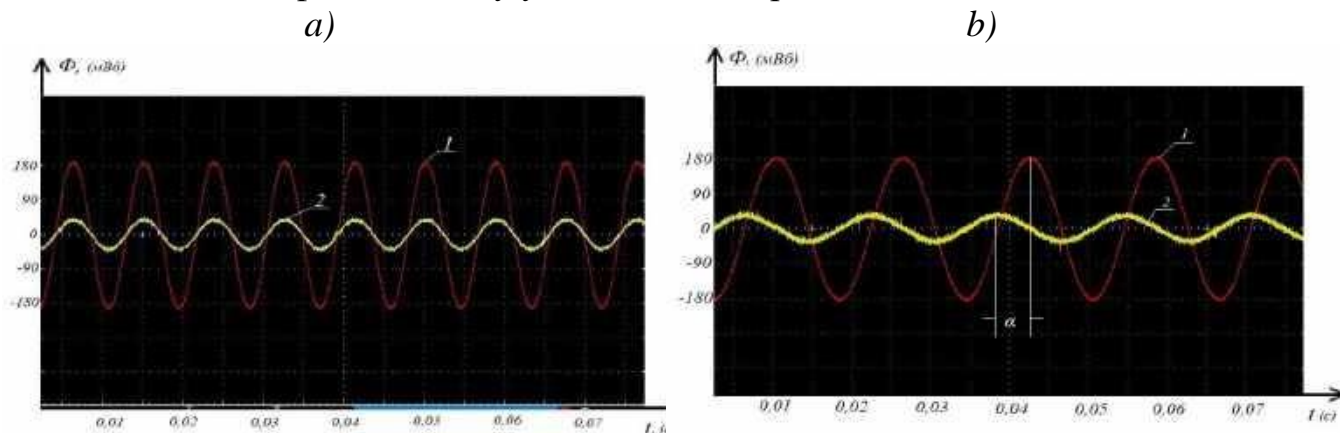


Рисунок 13. Результирующее магнитное поле и её первая гармоника (а) в холостом режиме и результирующее магнитного поля в воздушном зазоре в режиме нагрузки и его основной гармонике (б)

При работе асинхронной машины под нагрузкой результирующее магнитное поле деформируется, в результате чего электродвижущая сила (1) прямоугольной рамки (датчика) 1 также деформируется, в результате чего электродвижущая сила (2) первой гармоникой магнитного поля, измеренная синусоидальной рамкой (датчиком) 2, смещается относительно электродвижущей силы (1) прямоугольной рамки (датчика) 1 на угол $\alpha=41,70$ (рис. 11). На рис. 13 представлена осциллограмма угла сдвига фазы между результирующим магнитным полем в воздушном пространстве и его первой гармоникой в режиме нагрузки асинхронного двигателя. Таким образом, с помощью этого устройства

непосредственно измеряется результирующее магнитное поле в воздушном пространстве асинхронного двигателя и угол сдвига фазы между его основной гармоникой, а также конструкция этого устройства очень проста.

Заключение

В результате проведенных исследований по диссертации доктора философии (PhD) на тему "Улучшение эксплуатационных показателей тяговых асинхронных двигателей электровозов" представлены следующие выводы:

1. Из анализа литературы стало известно, что большую роль в улучшении эксплуатационных показателей тяговых асинхронных двигателей играет близость формы магнитного поля в воздушном зазоре к синусоиде, а также установлено, что очень важно создание устройств, определяющих величину и форму магнитного поля в воздушном зазоре, влияющих на эксплуатационные показатели тяговых асинхронных двигателей.

2. С помощью программы "Ansys Maxwell" разработана математическая модель для расчета магнитного поля в воздушном зазоре, влияющего на эксплуатационные показатели тягового асинхронного двигателя электровозов. В результате коэффициент полезного действия ТАД увеличился на 1% по сравнению с коэффициентом полезного действия двигателя со стандартными пазами, а коэффициент мощности - на 1,06%.

3. Моделирован тяговый асинхронный двигатель в пакете "Matlab Simulink" и получены осциллограммы напряжения статора, тока статора, скорости ротора, электромагнитных моментов ТАД при номинальной нагрузке, которые отличаются от значений, полученных в результате эксперимента, в среднем на 4,8%.

4. Моделированы рабочие характеристики и механические характеристики тягового асинхронного двигателя с учетом коэффициента насыщения в пакете программ "Ansys Maxwell," а также усовершенствован алгоритм расчета максимального момента асинхронного двигателя;

5. Разработано устройство с простой конструкцией и высокой точностью, которое определяет форму и измеряет значение результирующего магнитного поля в воздушном пространстве, влияющего на эксплуатационные показатели ТАД. На данное устройство получен патент на полезную модель No FAP 02254 от Агентства по интеллектуальной собственности Министерства юстиции Республики Узбекистан.

6. Разработано устройство с простой структурой и высокой точностью, определяющее форму и измеряющее значение первой гармоники магнитного поля обмотки статора, влияющей на эксплуатационные показатели ТАД в электроподвижном составе. На данное устройство получен патент на полезную модель No FAP 02255 от Агентства по интеллектуальной собственности Министерства юстиции Республики Узбекистан.

7. Разработано устройство с простой конструкцией и высокой точностью, измеряющее рассеянное магнитное поле в коленчатой части обмотки статора, влияющее на эксплуатационные показатели ТАД в электроподвижном составе. На

данное устройство получен патент на полезную модель No FAP 02159 от Агентства по интеллектуальной собственности Министерства юстиции Республики Узбекистан.

8. Разработано устройство, измеряющее угол сдвига между результирующим магнитным полем в воздушном зазоре асинхронной машины и его первой гармоникой, с простой конструкцией и высокой точностью. На данное устройство получен патент на полезную модель No FAP 02215 от Агентства по интеллектуальной собственности Министерства юстиции Республики Узбекистан.

9. Результаты научных исследований, проведенных в рамках диссертационной работы, были внедрены в УП "Узтемирйулмаштаъмир" при АО "Узбекистон темир йуллари," и годовая экономическая эффективность составила 113 000 000 сумов.

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

TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY

BERDIYOROV ULMASBEK NURALI O'G'LI

**IMPROVING THE PERFORMANCE OF ASYNCHRONOUS TRACTION
MOTORS OF ELECTRIC ROLLING STOCK**

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

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

Tashkent-2025

The topic of the Doctor of Philosophy (PhD) dissertation in technical sciences is registered with the Higher Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under number B2022.T4. PhD/T2947.

The dissertation was prepared in Tashkent State Transport University.

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

Scientific supervisor:

Berdiyev Usan Turdiyevich

doctor of technical sciences, professor

Official opponents:

Xamidov Otabek Rustamovich

doctor of technical sciences, professor

Yusupov Dilmurod Turdaliyevich

Philosophy of doctor in technical sciences, senior researcher

Leading organization:

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

The doctoral (PhD) dissertation can be reviewed at the Information-resource centre of the Tashkent state transport university (Registered number N.__). (Address: 100167, Tashkent, Temiryulchilar str. 1, phone: (99871) 299-00-01; fax: (99871) 293-57-54; e-mail: rektorat@tstu.uz.)

Abstract of the dissertation was distributed on “__” _____ 2025 year.
(mailing report N __ on “__” _____ 2025 year).

R.V. Rahimov

Chairman of the Scientific council
for awarding academic degrees,
doctor of technical sciences, professor

Ya.O. Ruzmetov

Scientific secretary of the Scientific council
on awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor

R.M. Mirsaatov

Chairman of the scientific seminar under Scientific council
on awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of the dissertation for the degree PhD)

The aim of the research is improving the performance characteristics of asynchronous motors of electric locomotives by changing the geometric dimensions of the rotor slots.

The tasks of the research are:

analysis of modern methods for improving the performance of traction asynchronous motors of electric locomotives;

creation of a computer model for calculating the electromagnetic field and operational parameters of an asynchronous traction motor in the Ansys Maxwell software package;

an improved simulation model has been developed, allowing for the study of operating modes, taking into account the saturation coefficient of the traction asynchronous motor of an electric locomotive;

improvement of the algorithm for calculating the maximum torque of a traction asynchronous motor, taking into account the saturation coefficient;

development of a device for measuring the shape and magnitude of the resulting magnetic field in an air gap and its first harmonic, affecting the performance of traction asynchronous motors of electric locomotives, a device for measuring the scattered magnetic field of the crankshaft of the stator winding and measuring the angle of shift between the resulting magnetic field and its first harmonic, necessary for constructing a vector diagram of the engine;

experimental substantiation of the developed theory for improving the performance of traction asynchronous motors of electric locomotives.

The object of the research is an asynchronous traction motor of the 1TV2624-0GA02 brand of the O'zbekiston Yo'lovchi electric locomotive.

The scientific novelty of the research consists of following:

a mathematical model has been created for calculating the magnetic field and its operating parameters at nominal voltage values of asynchronous traction motors of electric rolling stock;

a simulation model has been improved, allowing for the study of the operating modes of the traction asynchronous motor of an electric locomotive, taking into account the saturation factor;

an algorithm for calculating the maximum torque of the traction asynchronous motor has been improved, taking into account the saturation factor;

a device has been developed for measuring the shape and magnitude of the resulting magnetic field in the air gap and its first harmonic, which affect the operating characteristics of the traction asynchronous motors of an electric locomotive.

Implementation of research results. Based on the obtained results concerning the justification of design parameters and operating modes of traction asynchronous motors of electric locomotives, with the aim of improving their performance characteristics:

obtained to improve the electromagnetic parameters of asynchronous traction motors, devices for measuring the resultant magnetic field, the first harmonic resultant magnetic field, frontal scattering of the stator winding of the magnetic field of asynchronous traction motors were introduced in the electric machine shop of JSC

O'ztemiryo'lmashta'mir, this allowed to increase the operational reliability of electric motors during operation by (reference from 14 September 2023);

a patent for a utility model was obtained from the Agency for Intellectual Property of the Republic of Uzbekistan for a device for measuring the resulting magnetic field of the stator winding of an asynchronous machine (№ FAP 02254, 2023);

a patent for a utility model was obtained from the Agency for Intellectual Property of the Republic of Uzbekistan for a device for measuring the first harmonic magnetic field of the stator winding of an asynchronous traction motor of an electric rolling stock (№ FAP 02255, 2023);

a patent for a utility model was obtained from the Agency for Intellectual Property of the Republic of Uzbekistan for a device for measuring the frontal scattering of the magnetic field of the stator winding of an asynchronous machine (№ FAP 02159, 2022).

a patent was obtained for a utility model of the Agency for Intellectual Property of the Republic of Uzbekistan for a device for measuring the angle of shift between the resulting magnetic field in the air gap of an asynchronous machine and its first harmonic (№ FAP 2022 0020, 2022). As a result, it was possible to create a measuring device with high accuracy;

the developed devices were introduced in the joint-stock company "O'ztemiryo'lmashta'mir" (certificate dated December 4, 2023 of the joint-stock company "Uzbekiston temir yullari"). As a result, the expected economic efficiency is 113 million soums due to improved performance of the traction asynchronous motor.

The publication of the results of the study. A total of 21 scientific papers have been published on the topic of the dissertation, including 5 articles in scientific publications recommended by the Higher Attestation Commission for the publication of the main scientific results of doctoral dissertations, including 2 in national and 3 in foreign scientific journals, as well as 4 utility model patents and 2 certificates for computer programs from the Agency. intellectual Property under the Ministry of Justice of the Republic of Uzbekistan.

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 117 pages.

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

I bo'lim (I часть; I part)

1. Foydali modelga patent O'zR (UZ) № FAP 02254. Asinxron mashina statori chulg'aming yig'indi magnit maydonini o'lchash qurilmasi / Pirmatov N.B., Berdiyev U.T., Usmonov K.K., Berdiyev O'N. //Rasmiy axborotnoma – 2023. - №2.

2. Foydali modelga patent O'zR (UZ) № FAP 02255. Elektr harakat tarkibidagi tortish asinxron motori stator chulg'aming magnit maydoni birinchi garmonikasini o'lchash qurilmasi / Pirmatov N.B., Berdiyev U.T., Usmonov K.K., Berdiyev O'N. // Rasmiy axborotnoma – 2023. - №2.

3. Foydali modelga patent O'zR (UZ) № FAP 02159. Asinxron mashina statori chulg'aming old qismidagi tarqoq magnit maydonini o'lchash uchun qurilma / Pirmatov N.B., Berdiyev U.T., Usmonov K.K., Berdiyev O'N., Burxonxodjayev O.M., Iksar Y.V. //Rasmiy axborotnoma – 2022. - №3.

4. Foydali modelga patent O'zR (UZ) № FAP 02357. Asinxron motorning tashqi sohilma magnit maydonini o'lchash qurilmasi / Pirmatov N.B., Berdiyev O'N., Nizamov J.A, Ergashov Sh.O. //Rasmiy axborotnoma – 2023. - №

5. Пирматов Н.Б., Бердиев У.Т., Иксар Е.В., Усмонов К.К., Ў.Н.Бердиев. Энергетическая эффективность рекуперативного торможения пассажирских электровозов переменного тока // Машиностроение и новые технологии журналы – Andijon, 2022.– №4. .111-117 б (ОАК Rayosatining 2021 yil 30 dekabrdaqi 310/10-son qarori).

6. Pirmatov N.B., Berdiyev U.T., Usmonov K.K., Berdiyev O'N. A device for measuring the first harmonic magnetic field of the stator winding of a traction asynchronous electric motor of an electric rolling stock // Материалы Третьей Международной научно-технической конференции «Железнодорожный подвижной состав: проблемы, решения, перспективы». – Т.: ТГТУ, 2024. Р .305-310. ((05.00.00; ОАК Rayosatining 2024 yil 6 apreldaqi 353/3-son qarori).

7. Пирматов Н.Б., Бердиев У.Т., Иксар Е.В., Усмонов К.К., Ў.Н.Бердиев. Улучшение электромагнитных параметров асинхронных тяговых электродвигателей электроподвижного состава на основе композиционных материалов // Материалы Третьей Международной научно-технической конференции «Железнодорожный подвижной состав: проблемы, решения, перспективы». – Т.: ТГТУ, 2024. С .310-316 (05.00.00; ОАК Rayosatining 2024 yil 6 apreldaqi 353/3-son qarori).

8. Пирматов Н.Б., Бердиев У.Т., Иксар Е.В., Усмонов К.К., Ў.Н.Бердиев. Улучшение электромагнитных параметров асинхронных тяговых двигателей электроподвижного состава // The scientific journal vehicles and roads, – Ташкент, 2024. № 1. – С.45-51 (ОАК Rayosatining 2020 yil 30 iyuldaqi 01-10/1103-son qarori).

Il bo'lim (Част II; Part II)

9. Пирматов Н.Б., Бердиев У.Т., Иксар Е.В., Усмонов К.К., Ў.Н.Бердиев. Перспективы использования композиционных материалов в сердечниках статора и ротора асинхронных тяговых двигателей электроподвижного состава.// The scientific journal of vehicles and roads, 2024. – №2. С.214-220 (ОАК Rayosatining 2020 yil 30 iyuldagi 01-10/1103-son qarori).
10. Pirmatov N.B., Berdiyev U.T., Usmonov K.K., Nazirhonov T.M., Berdiyev U.N. Optimal parameter determination asynchronous traction engine to improve operating performance // Proceeding of the 11th international conference on applied innovations in IT, (ICAИТ), – Koethen, 2023. – P.131-136.
11. Pirmatov N.B., Berdiyev U.T., Usmonov K.K., Nazirhonov T.M., Berdiyev U.N. Device for measuring the magnetic scattering field of the frontal part of the stator winding of a traction asynchronous electric motor of an electric rolling stock // E3S Web of Conferences CONMECHYDRO, – Tashkent, 2023. – P. 1-6.
12. Назирхонов Т.М., Усмонов К.К., Юлдашев Д. Компьютерная имитационная модель автономного инвертора напряжения электровоза серии “O‘zbekiston” // Universum Технические науки, – Москва, 2023. № 4. – С.23-28.
13. Berdiyev U.T., Burkhanhodzhaev A, Tychieva M., Iksar E.V., Usmonov K.K. Investigation of energy indicators with asymmetry of the voltage of the power source of mainline electric locomotives of alternating current // AIP Conference Proceedings 2552, 030018, – Volzhsky, 2023. – P. 030018-1- 030018-6.
14. Пирматов Н.Б., Усмонов К.К., Бердиев У.Т., Бердиев Ў.Н. Способ измерения магнитного поля рассеяния лобовой части обмотки статора тяговых асинхронных электродвигателей // The multidisciplinary journal of science and technology, – India, 2024. Vol.4, Iss.4. P 46-48.
15. Пирматов Н.Б., Бердиев У.Т., Усмонов К.К., Бердиев Ў.Н. Исследование механической характеристики тягового асинхронного двигателя электровоза “O‘zbekiston Yo‘lovchi”// “Первая научная техническая конференция “Железнодорожный подвижной состав, проблемы, решения, перспективы” xalqaro ilmiy anjumani, Toshkent 2022, – С.96-98.
16. Пирматов Н.Б., Усмонов К.К. Магнитное поле лобовой части обмотки статора асинхронного тягового двигателя электроподвижного состава //“Ёшлар кўллаб-қувватлаш ва аҳоли саломатлигини мустаҳкамлаш йили”га бағишланган тезислар тўплами, Бухоро 2021, – С.181.
17. Pirmatov N.B., Berdiyev U.T., Usmonov K.K., Berdiyev O'.N, Zafarov D.Sh. Rotor aylanishlar sonining qisqa tutashgan rotorli elektr harakatlanuvchi tarkibining tortish dvigatelining momentiga bog‘liqligini hisoblash dasturi // EHM uchun dasturiy ta‘minot. Dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risida gunohnoma № DGU 15673 25.04.2022.
18. Pirmatov N.B., Berdiyev U.T., Usmonov K.K., Berdiyev O'.N., Zafarov D.Sh., Nigmatov O.B. Qisqa tutashgan rotorli elektr harakatlanuvchi tarkibning asinxron tortish dvigatelining mexanik xususiyatlarini hisoblash dasturi // EHM uchun dasturiy ta‘minot. Dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risida guvohnoma № DGU 15672 25.04.2022.

19. Подвижной состав с бесколлекторными тяговыми электродвигателями. Бердиев У.Т., Бердиёров У.Н. Актуальные проблемы энергетики в условиях цифровизации экономики. -292-295, 2022г.

20. Elektrovozlarda qo'llaniladigan tortish asinxron motorlari. / Berdiyurov O'.N. Zamonaviy tadqiqotlar, innovatsiyalar, texnika va texnologiyalarning dolzarb muammolari va rivojlanish tendensiyalari. -136, 2021-yil.

21. Электр ҳаракат таркибида қўлланиладиган тортиш асинхрон моторлари./ Бердиёров У.Н. // Ishlab chiqarishning texnik, muhandislik va texnologik muammolarining innovatsion yechimlari mavzusidagi xalqaro miqyosdagi ilmiy-texnik anjumani materiallari to'plami . -669-671, 2022-yil.

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

Qo‘oz bichimi 84/60-1/16. Rizograf bosma usuli Times New Roman garniturasida.
Shartli bosma tabog‘i 2.7 b.t. Adadi: 70 nusxa. Buyurtma 43-4/2025.
Nashrga ruxsat etildi: 09.04.2025 y.

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