

**ISLAM KARIMOV NOMIDAGI TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA
UNIVERSITETI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.03/10.12.2019.T.03.03 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

**ISLOM KARIMOV NOMIDAGI
TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

SHAMIYEV MURAT FIXRATOVICH

**UZLUKSIZ VA DAVRIY HARAKATLANUVCHI MEXANIZMLAR
UCHUN ENERGIYA SAMARALI ASINXRON ELEKTR YURITMALAR**

**05.05.02 – Elektrotexnika. Elektr energiya stansiyalari, tizimlari. Elektrotexnik
majmualar va qurilmalar.**

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

Toshkent – 2025

**Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (Phd) dissertatsiyasi
avtoreferati mundarijasi**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)
по техническим наукам**

**Content of the dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD) on
technical sciences**

Shamiyev Murat Fixratovich

Uzluksiz va davriy harakatlanuvchi mexanizmlar uchun energiya samarali
asinxron elektr yuritmalari..... 3

Шамиев Мурат Фихратович

Энергоэффективный асинхронный электропривод для механизмов
непрерывного и циклического действия..... 21

Shamiyev Murat Fixratovich

Energy-efficient asynchronous electric drive for continuous and cyclic
mechanisms 39

E‘lon qilingan ishlar ro‘yxati

Список опубликованных работ
List of published works 43

**ISLOM KARIMOV NOMIDAGI TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA
UNIVERSITETI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.03/10.12.2019.T.03.03 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

**ISLOM KARIMOV NOMIDAGI
TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

SHAMIYEV MURAT FIXRATOVICH

**UZLUKSIZ VA DAVRIY HARAKATLANUVCHI MEXANIZMLAR
UCHUN ENERGIA SAMARALI ASINXRON ELEKTR YURITMALAR**

**05.05.02 – Elektrotexnika. Elektr energiya stansiyalari, tizimlari. Elektrotexnik
majmualar va qurilmalar.**

**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 B2022.3.PhD/T3147 raqami bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsia ishi Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universitetida bajarilgan.
Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasi (www.tdtu.uz) hamda "ZiyoNet" Axborot-ta'lim portalida (www.ziynet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar: **Pulatov Abror Obidovich**
texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori
(PhD), dotsent

Rasmiy opponentlar: **Bobojanov Maxsud Qalandarovich**
texnika fanlari doktori, professor

Ishnazarov Oybek Xayrilayevich
texnika fanlari doktori, professor

Yetakchi tashkilot: **Toshkent davlat transport universiteti**

Dissertatsiya himoyasi Toshkent davlat texnika universiteti huzuridagi DSc.03/10.12.2019.T.03.03 raqamli Ilmiy kengashning 2025 yil «___»_____ soat_____ dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100095, Toshkent shahri, Universitet ko'chasi, 2. Tel.: (99871) 246-46-00; faks: (99871) 227-10-32; e-mail: tstuinfo@edu.uz).

Dissertatsiya bilan Toshkent davlat texnika universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (_____ raqam bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100095, Toshkent shahri, Universitet ko'chasi., 2. Tel.: (99871) 207-14-70).

Dissertatsiya avtoreferati 2025 yil «___»_____ kuni tarqatildi.
(2025 yil "___" _____ dagi _____ raqamli reyestr bayonnomasi).

K.R.Allayev
Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash raisi,
texnika fanlari doktori, professor, akademik

I.U.Raxmonov
Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash ilmiy kotibi,
texnika fanlari doktori, professor

T.Sh.Gayibov
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy
kengash qoshidagi ilmiy seminar raisi,
texnika fanlari doktori, professor

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasining annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va ahamiyati. Jahonda sanoat korxonalarining uzluksiz va davriy harakatlanuvchi mexanizmlari uchun energosamarador avtomatlashtirilgan elektr yuritma (AEY) ning energo-resurs samaradorligini oshirish dolzarb yo'nalishlardan biri bo'lib, nasoslar, ventilyatorlar, kompressorlar va boshqa sanoat mexanizmlarini silliq ishga tushirish va to'xtatish, dinamik zarblar va tokning sakrinishini chegaralashga alohida e'tibor qaratilmoqda. Hozirgi kunda ko'pgina rivojlangan mamlakatlarda "...so'nggi o'n yil ichida G'arbiy Evropa mamlakatlari va Yaponiyada sanoatning energiya sig'imi 1,6-1,8 baravarga, AQSh da esa yarmidan ko'proqqa kamaydi, xalqaro energetika agentliklarining so'nggi ma'lumotlariga ko'ra, energiya tejavchi texnologiyalarni joriy etish G'arbiy Evropa mamlakatlarida 2030 yilgacha sanoatning energiya sig'imini 35 % ga, AQSh da 2035 yilga kelib - 25% ga kamaytirishi kutilmoqda..."¹. Bu borada TKR - AD sxemasi bo'yicha elektr yuritmalarini boshqarishning yopiq tizimlarini yaratish, dinamik ob'yektlarning holatini baholash uchun TKR - AD ning matematik modeli xususiyatlarini o'rganish, ishga tushirish vaqtida va uzoq muddat ish rejimida tarmoqdan elektr energiyasini minimal iste'mol qiladigan algoritm ishlab chiqishga alohida e'tibor qaratilmoqda.

Jahonda uzluksiz va davriy harakatlanuvchi mexanizmlardagi asinxron elektr yuritmalarga berilayotgan kuchlanishning optimal qiymatini ta'minlash hisobiga aktiv quvvat iste'molini kamaytirish, energiya va resurs tejash imkonini beruvchi energiya samarador asinxron elektr yuritma ishlab chiqishga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Ushbu yo'nalishda, jumladan, kuchlanishning turli shakllari va qiymatlarida asinxron elektr yuritmaning dinamik rejimlarini tadqiq qilish imkonini beruvchi matematik model ishga tushirish vaqti va toki bo'yicha chegaraviy shartlarni kiritish asosi bo'yicha tadqiqotlar ustuvor hisoblanmoqda. Shu bilan birga, asinxron elektr yuritmani ishga tushirish tokini o'zgarishi sharoitida aktiv quvvat sarfi minimalligini ta'minlashni hisobga olib, genetik algoritm yordamida boshqarish usullari va algoritmlari hamda asinxron elektr yuritma validagi statik yuklamani inobatga olgan holda foydali ish koeffitsiyentini yuqori qiymatlarini ta'minlaydigan avtomatlashtirilgan boshqarish tizimini ishlab chiqish dolzarb vazifalardan hisoblanmoqda.

Respublikamizda yangi texnik va texnologik echimlarni yaratish bo'yicha uslublar va innovasion ishlanmalarni takomillashtirish va joriy etish, ishlab chiqarilayotgan mahsulotlar tannarxini pasaytirish maqsadida energiya resurslaridan foydalanish samaradorligini oshirish bo'yicha amaliy chora-tadbirlar amalga oshirilmoqda. 2030-yillarda O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha harakatlar strategiyasida vazifalar, shu jumladan "...iqtisodiyot tarmoqlarining energiya samaradorligini 2 barobar oshirish; energiyani tejaydigan qurilmalarni o'rnatish, nasos stansiyalarini modernizatsiya qilish, ularning yillik elektr energiyasi iste'molini 30 foizga kamaytirish..."²

¹ <https://led-e.ru/applications/industrial/energoberezhnie>

² <https://www.lex.uz/ru/docs/6600404> O'zbekiston Respublikasi Prezidentining Farmoni, 11.09.2023 yildagi PF-158-son

ko`zda tutilgan. Ushbu vazifalarni bajarishda, korxonada tomonidan mahsulot ishlab chiqarishda iste'mol qilinadigan elektr energiyasi ulushini kamaytirish va texnologik jarayonni yaxshilash uchun algoritmlar va energiya samarador qurilmalarni ishlab chiqish bo'yicha ilmiy-tadqiqot ishlarini olib borish muhim hisoblanadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 - yil 28 - yanvardagi PF-60-son "2022-2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi Farmoni, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023 - yil 11 - sentyabrdagi "O'zbekiston – 2030" strategiyasi to'g'risida PF №158-sonli, "O'zbekiston Respublikasi suv xo'jaligini rivojlantirishning 2020-2030 yillarga mo'ljallangan konsepsiyasini tasdiqlash to'g'risida" 2020 - yil 10 - iyuldagi PF №6024 –sonli; "Kichik quvvatli energiyani tejaydigan texnologiyalarni joriy etish va qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirishga doir qo'shimcha chora-tadbirlar to'grisida" 2022 - yil 09 - sentyabrdagi PF 220-son farmonlari, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023 - yil 16 - fevraldagi "2023-yilda "Qayta tiklanuvchi energiya manbalari va energiya tejoychi texnologiyalarni joriy etishni jadallashtirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi PQ-57-son qarori va ushbu sohada qabul qilingan boshqa normativ-huquqiy hujjatlarida belgilangan vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertasiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga muvofiqligi. Dissertasiya ishi bo'yicha tadqiqotlar O'zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalari rivojlanishining II. "Energetika, energiya va resurs tejamkorligi" ustuvor yo'nalishiga mos keladi.

Muammoning o'rganganlik darajasi. Asinxron elektr motorlarini ishga tushirishni optimallashtirish va motorning turg'un ish rejimini optimallashtirish masalalari hal qilishda bir qator taniqli xorijiy olimlar katta hissa qo'shganlar, jumladan I.Y. Braslavskiy, A.A. Bulgakov, N.F. Ilyinskiy, A.M. Zyuzev, M.G. Chilikin, G.B. Onishchenko, I.A. Syromyatnikov, U. Beckert, W. Shepard, D. Merphi, S. Yamada va boshqalar.

Sanoat mexanizmlari orqali elektr energiyasini samarali iste'mol qilish masalalari, shuningdek, resurslar va energiyani tejashning maqbul echimlari va usullarini ishlab chiqish kabi ilmiy muammolarni hal qilishga O'zbekistonning taniqli olimlarini ilmiy ishlari bag'ishlangan. Bulardan M.Z. Hamudxonov, K.R. Allayev, T.S. Kamalov, A.N. Anximyuk, N.X. Bozorov, A.A. Xoshimov, M.M. Hamudxonov, X.G. Karimov, M.Q. Bobojonov, A.T. Imomnazarov, N.N. Aripov, A.U. Mirisayev, K.G. Abidov, O.X. Ishnazarov, N.B. Pirmatov, O.Z. Toirov va boshqalar. Olib borilgan ilmiy tadqiqotlar natijasida sanoat mexanizmlarida elektr energiyasining ishlatilish samaradorligini oshirish masalalarini yechishda salmoqli natijalarga erishildi.

Sezilarli muvaffaqiyatlarga qaramay, uzluksiz va davriy harakatlanuvchi mexanizmlar uchun energiya samarali asinxron elektr yuritmalar elektr yenergiyasi iste'molini kamaytirish bilan bog'liq ilmiy muammolar yetarli darajada o'rganilmagan. Mazkur dissertasiya ishida asinxron elektryuritmaning elektr energiyasi iste'molini tahlil qilish, baholash, modellashtirish va elektr

energiyasidan oqilona foydalanish usullarini ishlab chiqish va ular asosida energiya iste'molini boshqarish imkonini beruvchi maxsus uskuna va dasturiy maxsulot yaratish hamda energiya harajatlarini kamaytirish usullarini taklif etilgan.

Dissertasiya tadqiqotining dissertasiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi.

Dissertasiya tadqiqoti ilmiy-tadqiqot ishlari rejasiga muvofiq, Toshkent davlat texnika universiteti va Navoiy kon-metallurgiya kombinati aksiyadorlik jamiyati o'rtasidagi "55 kVt (2 dona), 90 kVt (1 dona), 132 kVt (2 dona) va 315 kVt (5 dona) quvvatli elektr yuritmasi uchun energiyani tejaydigan silliq ishga tushiruvchi resurs tejoychi qurilmasini (SITRTQ) yaratish va joriy yetish" mavzusidagi 19.03.2017 14/17-sonli kontrakt doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi ishga tushirish va boshqarishning genetik algoritmi asosida uzluksiz va davriy harakatlanuvchi mexanizmlar uchun energiya samarador asinxron elektr yuritmani ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

TKR-AD sxemasi bo'yicha elektr yuritmalarini boshqarishning yopiq tizimlarini qurish muammosini tahlil qilish;

dinamik ob'ektlarning holatini baholash uchun TKR-AD ning matematik modelini yaratish xususiyatlarini o'rganish;

ishga tushirish vaqtida va turg'un ishlash rejimida tarmoqdan elektr energiyasini minimal iste'mol qiladigan algoritm ishlab chiqish;

ob'ektlar va ishlab chiqarish maydonlarida TKR-AD sxemasi bo'yicha ishlab chiqilgan energiya tejamkor asinxron elektr yuritmaning ish qobiliyatini tekshirish.

Tadqiqotning ob'ekti sifatida Jizzax akkumulyator zavodi aksiyadorlik jamiyati, "Shovot-1" nasos stansiyasi va Navoiy kon-metallurgiya kombinatining ob'ektlari olingan.

Tadqiqotning predmeti motorga beriladigan fazaviy kuchlanish miqdorining maxsus algoritm bo'yicha rostdash jarayonida, ishga tushirish va uzoq vaqt ishlashida, tarmoqdan iste'mol qilinadigan asinxron elektr yuritma quvvatining o'zgarishi tashkil qiladi.

Tadqiqotning usullari. Tadqiqot jarayonida elektr mashinalari va elektr yuritma nazariyasi, sun'iy intellekt usullari genetik algoritm, matematik statistika, eng kichik kvadratlar, faktorli tahlil, asosiy komponentlar, sun'iy neyron tarmoqlar, qiyosiy tahlil hamda ma'lumotlarni qayta ishlashda zamonaviy usullardan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi:

asinxron elektr yuritmaga berilayotgan kuchlanishning optimal qiymatini ta'minlash hisobiga aktiv quvvat iste'molini kamaytirish, energiya va resurs tejash imkonini beruvchi energiya samarador asinxron elektr yuritma ishlab chiqilgan;

asinxron elektr yuritmani ishga tushirish tokini o'zgarishi sharoitida aktiv quvvat sarfi minimalligini ta'minlashni hisobga olib, genetik algoritm yordamida stator toki va chiqish kuchlanishini boshqarish usuli va algoritmi ishlab chiqilgan;

ishga tushirish vaqti va toki bo'yicha chegaraviy shartlarni kiritish asosida kuchlanishning turli shakllari va qiymatlarida asinxron elektr yuritmaning dinamik rejimlarini tadqiq qilish imkonini beruvchi matematik model takomillashtirilgan;

asinxron elektr yuritma yuklamasining o'zgarishiga mos bo'lgan kuchlanishni samarali rostdash asosida foydali ish koeffitsientini yuqori qiymatlarini ta'minlaydigan avtomatlashtirilgan boshqarish tizimi ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

tadqiqotlar natijalariga ko'ra elektr energiyasining minimal iste'moli bilan mexanizmi silliq ishga tushirishni ta'minlaydigan TKR - AD sxemasi bo'yicha energiya samarador asinxron elektr yuritmasini ishlab chiqarishni tashkil etish imkonini bergan bir qator yechimlar aniqlandi;

Matlab Simulink dasturiy muhitida TKR - AD sxemasi bo'yicha yopiq asinxron elektr yuritmasi va uning elementlarining simulyasiya modellari yaratilgan bo'lib, ulardan silliq ishga tushirish qurilmasi (SITQ) ishining namunaviy rejimlarida laboratoriya va amaliy ishlarni amalga oshirishda foydalanish mumkin;

Python muhitida amaliy dasturiy ta'minot, shuningdek, asinxron elektr yuritmasini ishga tushirish trayektoriyasi va turli rejimlarda ishlashini aniqlash imkonini beruvchi laboratoriya stendi ishlab chiqildi;

silliq ishga tushiriladigan asinxron motorni boshqarish qurilmalarining bir qator variantlari ishlab chiqilgan bo'lib, ularning yangiligi va ustuvorligi № IAP 7649 ixtiro patenti bilan tasdiqlangan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqot natijalarining ishonchliligi olingan natijalar ishlab chiqarishga joriy etilganligi bilan asoslanadi, shuningdek nazariy va hisob-kitob-eksperimental natijalarning o'xshashligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati asinxron elektr yuritmani ishga tushirish rejimidagi yuklamaga va uning uzoq muddat ishlashiga qarab elektr yenergiyasi iste'moli parametrlarini o'zgarish qonuniyatlarini o'rganishdan iborat.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati Navoiy kon-metallurgiya kombinati, Olmaliq kon-metallurgiya kombinati, Jizzax akkumulyator zavodi va O'zbekiston Respublikasi Suv xo'jaligi vazirligi ob'ektlarida taklif etilayotgan qurilmalarni sinash va joriy etishdan energiya samaradorligini oshirish bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Uzluksiz va davriy harakatlanuvchi mexanizmlari uchun energiya samarador asinxron elektr yuritmalar bo'yicha olingan ilmiy natijalar asosida quyidagi natijalarga erishildi:

energiya samarador asinxron elektr yuritma uchun O'zbekiston Respublikasi Intellektual mulk markazining ixtiro patenti olingan (Asinxron elektr yuritma, IAP 7649, 19.03.2024 yil). Natijada, asinxron elektr yuritmada aktiv quvvat iste'molini yillik 12% ga kamaytirish va umumiy energo-resurs samaradorligini 6-8% ga oshirish imkoniyati yaratilgan;

foydali ish koeffitsientini yuqori qiymatlarini ta'minlaydigan avtomatlashtirilgan boshqarish tizimi "Shovot-1" nasos stansiyasidagi umumiy quvvati 320 kVt bo'lgan nasos agregatida joriy qilingan (O'zbekiston Respublikasi Suv xo'jaligi vazirligi 2025-yil 8- yanvardagi 02/07-101 sonli ma'lumotnomasi). Natijada, nasos stanitsiyasi va energiya tejovchi elektr motorlarning silliq ishga tushirilishi hamda ta'mirlash ishlarisiz, uzluksiz ishlashini ta'minlash davomida, elektr energiyasi isroflarini kamaytirish va elektr yuritmalarni ishlash muddatini oshirish hisobiga bir yillik iqtisodiy samaradorlik 200 600 000 ming so'mni tashkil etgan;

stator toki va chiqish kuchlanishini boshqarish usuli va algoritmi "Jizzax akkumulyator zavodi" AJ da o'rnatilgan 160 kVt quvvatli kompressor qurilmasida joriy qilingan ("Jizzax akkumulyator zavodi" AJ ning 2024-yil 14-dekabrda №19-07/283 ma'lumotnomasi). Natijada, ishga tushirish tokini 13-15% ga kamaytirish hisobiga 195 800 000 so'm iqtisodiy samaradorlikka erishish imkoniyati yaratilgan.

Tadqiqot natijalarini aprobatsiyasi. Tadqiqot natijalari 3 ta xalqaro va 3 ta respublika ilmiy-texnik va ilmiy-amaliy konferensiyalarida, shuningdek, Toshkent davlat texnika universiteti "Elektr mashinalari va yuritmalari muhandisligi" kafedrasining seminarlarida sinovdan o'tkazildi.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinishi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha 19 ta ilmiy ish chop etilgan bo'lib, ulardan 8 tasi O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi tomonidan falsafa doktori (PhD) dissertatsiyalarining asosiy ilmiy natijalarini e'lon qilish uchun tavsiya yetilgan ilmiy nashrlarda, shu jumladan 6 tasi respublika va 2 tasi Scopus ma'lumotlar bazasiga kiruvchi xorijiy jurnallarda, 2 ta patent va 3 ta EHM dasturlari uchun guvohnoma olingan.

Dissertatsiyaning hajmi va tuzulishi. Dissertatsiya kirish, to'rt bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiya hajmi 120 betdan iborat.

DISSERTASINING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida ilmiy tadqiqotning dolzarbligi va zarurligi, maqsad va vazifalari asoslangan, tadqiqot ob'ekti va predmeti tavsiflangan, fan va texnologiya rivojlanishining ustuvor yo'nalishlarga muvofiqligi ko'rsatilgan, ilmiy yangilik va amaliy natijalar tavsifi, ilmiy tadqiqotning ilmiy va amaliy natijalari ochib berilgan, ishning amaliy ahamiyati, tadqiqot natijalarini amaliyotga tadbqiq etish to'g'risida ma'lumot berilgan, nashr etilgan ishlar va dissertatsiya tuzilishi haqida ma'lumot keltirilgan.

Dissertatsiyaning **"Uzluksiz va davriy harakatlanuvchi mexanizmlarning asinxron elektr yuritmalarini boshqarishning zamonaviy texnologiyalari tahlili va xususiyatlari"** birinchi bobida asinxron elektr yuritmalarni boshqarish texnologiyasining hozirgi holati va boshqaruv usullarini tahlil qilingan. Asinxron elektr yuritmalarni boshqarishning mavjud usullarini tahlil qilish uchun ABB, Ansaldo, Aucom, Siemens, Schnieder va boshqalar kabi asinxron elektr yuritmalarning jahonga taniqli ishlab chiqaruvchilari tanlangan.

Uzluksiz va davriy harakatlanuvchi mexanizmlarni boshqarishdagi farqlar berilgan. Mavjud elektr yuritmalarning afzalliklari va kamchiliklari ko'rsatilgan. ChO'-AD tizimi va TKR-AD tizimlaridan foydalangan holda asinxron elektr yuritmalarni boshqarish variantlari ko'rib chiqildi va texnologiya tomonidan tezlikni nazorat qilish talab qilinmaydigan mexanizmlar uchun silliq ishga tushirish tizimlaridan foydalanish bo'yicha tavsiyalar berildi. Asinxron motorni boshqarishning yuqoridagi usullarini hisobga olgan holda, asinxron elektr yuritmada energiyani tejash yo'llari ishlab chiqilgan bo'lib, ular o'rnatilgan motor quvvatini oqilona tanlash, elektr yuritma boshqarish algoritmlarini takomillashtirish va zamonaviy elementlar bazasidan foydalanish bilan bog'liq. Asinxron elektr yuritmalarda energiya tejamkorligini oshirish va elektr energiyasi sarfini kamaytirishning asosiy yo'llari avtomatlashtirilgan elektr yuritmadan foydalanishni va texnologik jarayonni takomillashtirishni birlashtirish, zamonaviy energiya tejamkor motorlardan foydalanish va boshqarish algoritmlarini takomillashtirish iborat.

Dissertatsiyaning **“Statik va dinamik rejimlarda asinxron elektr yuritmalarni energiyani tejovchi boshqarish algoritmlarini matematik modellashtirish va shakllantirish”** ikkinchi bobi asinxron elektr yuritmaning matematik modeli va karakteristikasiga bag'ishlangan. Asinxron elektr yuritmaning ish rejimlariga qarab energiya ko'rsatkichlarining bog'liqligi ko'rib chiqildi.

Barqaror holat uchun, asosiy energiya ko'rsatkichlari sifatida elektr energiyasini mexanik energiyaga aylantirish samaradorligini belgilovchi foydali ish ko'effitsienti η va tarmoqdan elektr energiyasini tejamkor iste'mol qilish ko'rsatkichi sifatida quvvat ko'effitsienti $K_m(\cos\varphi)$ dan foydalanish mumkin.

$$K_m = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + T^2 + H^2}}, \quad (1)$$

bu erda P va S tarmoqdan iste'mol qilinadigan aktiv va to'liq quvvat; Q - reaktiv quvvat; T - sinusoidal bo'lmagan davriy tokda yuqori garmoniklarning mavjudligi bilan bog'liq quvvatni buzilishi; H - fazalarning notekis yuklanishi tufayli, qo'shimcha energiya yo'qotishlarini hisobga olgan holda, simmetrik bo'lmagan quvvat.

O'tish rejimlarda, elektr yuritmaning samaradorligi ko'rsatkichi sifatida o'tkinchi jarayonda energiya yo'qotish qiymatidan foydalanamiz.

Umumiy holatda

$$\Delta W_{o\cdot j} = \int_0^{t_{o\cdot j}} \Delta P_{motor} dt, \quad (2)$$

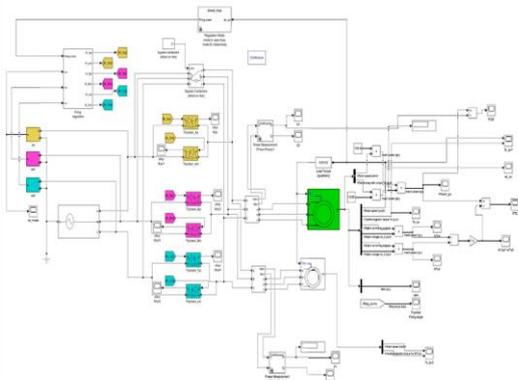
Bu erda $t_{o\cdot j}$ - o'tish jarayonining vaqti; ΔP_{motor} - motordagi umumiy quvvat yo'qotishlari:

$$\Delta P_{motor} = \Delta P_{1m} + \Delta P_{2m} + \Delta P_{1p} + \Delta P_{2p} + \Delta P_q + \Delta P_{mex}, \quad (3)$$

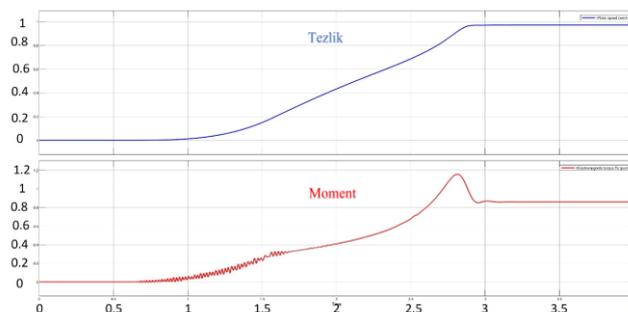
Tahlil qilinadigan asinxron elektr yuritma turiga qarab, (3) formuladagi yo'qotishlarning tarkibiy qismlari umumiy yo'qotish balansida ahamiyatsiz bo'lishi mumkin va ular aniqlashda hisobga olinmaydi. Ba'zi hollarda, asinxron yuritma quvvatlanadigan yarimo'tkazgich o'zgartgichidagi yo'qotishlar sezilarli bo'lishi mumkin va aniqlashda e'tiborga olish kerak bo'ladi, ya'ni.

$$\Delta W_{o'.j} = \int_0^{t_{o'.j}} (\Delta P_{motor} + \Delta P_{o'.zg}) dt = \int_0^{t_{o'.j}} \Delta P_e dt, \quad (4)$$

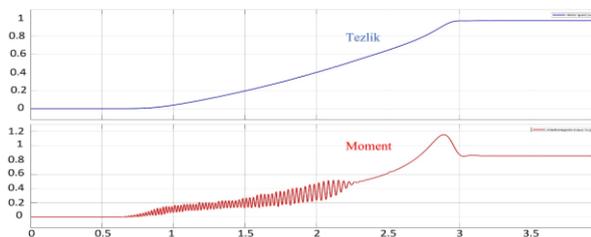
Bu erda $\Delta P_{o'.zg} dt$ - o'zgartgichdagi yo'qotishlar; $\Delta P_e dt$ - elektr yuritmadagi



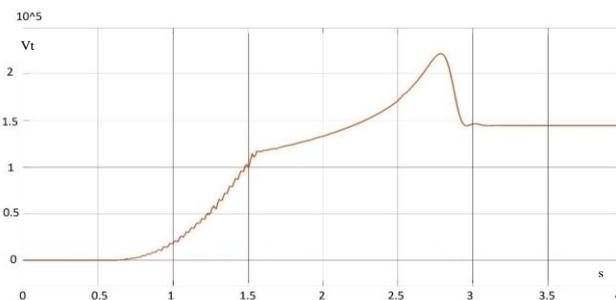
1-rasm. Shavot - 1 nasos stantsiyasidagi nasosning asinxron elektr yuritmasining simulyatsiya modeli



2-rasm. Motorning chiziqli intensivlik vazifalovchi bilan ishga tushirilishining o'tkinchi jarayoni



3-rasm. Motorning s - shaklidagi intensivlik vazifalovchi bilan ishga tushirilishining o'tkinchi jarayoni



4-rasm. Chiziqli intensivlik vazifalovchi bilan motorning ishga tushirilishining aktiv quvvat sarfi

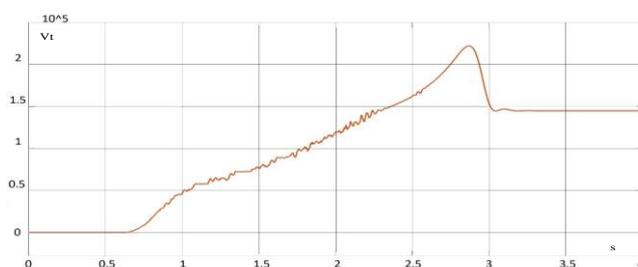
yo'qotishlar.

Statik va dinamik modellar yordamida, mexanik, elektromexanik va o'tkinchi jarayonlar, Shovot-1 nasos stantsiyasining nasos agregatining asinxron motori 5AI355SY2 misolida hisoblab chiqilgan. 1-jadvalda motorning asosiy ma'lumotlar varaqlari ko'rsatilgan.

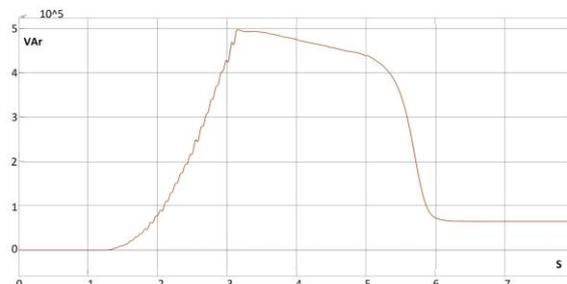
1-jadval. Motorning nominal parametrlari.

Rusumi	n_o , ayl/min	U_{1n} , V	P_{2n} , kVt	Nominal yuklanishda			J_m , $kg \cdot m^2$
				s_n , %	$\cos \varphi_n$	η_n , %	
5AI355SY2	1000	380/660	160	1,3	0,9	93,5	8,1
$m_{start} = M_{start}/M_{nom}$		$m_M = M_{min}/M_{nom}$		$m_K = M_{max}/M_{nom}$		$K_i = I_{start}/I_{nom}$	
0,9		1,4		2,2		7	

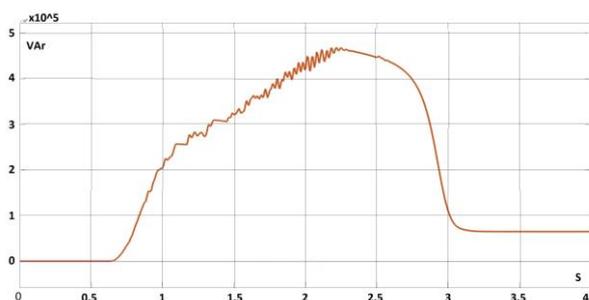
Tiristorli kuchlanish rostlagichi bilan asinxron elektr yuritma simulyatsiya modelidan foydalangan holda (1-rasmga qarang), asinxron elektr yuritmani ishga tushirishning turli usullari ko'rib chiqildi. Har xil intensivlik vazifalovchi uchun asinxron elektr yuritmaning turli tavsiflari berilgan (2-7 rasmlarga qarang).



5-rasm. S-shaklidagi intensivlik vazifalovchi bilan motorning ishga tushirilishining aktiv quvvat sarfi



6-rasm. Chiziqli intensivlik vazifalovchi bilan ishga tushirishda reaktiv quvvat sarfi



7-rasm. S-shaklidagi intensivlik vazifalovchi bilan ishga tushirishda reaktiv quvvat sarfi



8-rasm. Energiyani tejaydigan asinxron elektr yuritma

“Maksimal quvvat koeffitsenti” va “maksimal FIK” hisoblash mezonlarini topish uchun qidiruv tizimidan foydalangan holda, va “minimal stator toki” mezonlari bo'yicha asinxron elektr yuritmaning energiya samaradorligini oshirish tamoyillar keltirildi.

“TKR-AD asosida uzluksiz va davriy harakatlanuvchi mexanizmlar uchun energiya samarali asinxron elektr yuritmani ishlab chiqish va joriy etish” dissertatsiyaning uchinchi bobi konstruktsiya va sxema dizaynini tanlash, asinxron elektr yuritma boshqarish algoritmini ishlab chiqish va energiyani tejovchi algoritmlar bilan motorni energetik tavsiflarini tahlil qilishga bag'ishlangan.

Energiyani tejaydigan asinxron elektr yuritmaning dizayni va sxemasini tanlashda ishlab chiqilayotgan qurilma elektr yuritmaga qo'yiladigan umumiy talablarga javob berishi kerak. Ya'ni:

Elektr yuritma ishonchliligi - elektr yuritmaning ma'lum vaqt oralig'ida belgilangan funktsiyalarni bajarish va ayni paytda ekspluatatsion xususiyatlarini saqlab turish qobiliyati;

Aniqligi - elektr yuritmaning aniq harakatini amalga oshirishi;

Dinamik jarayonlarning tezligi va sifati - bunda texnologik jarayonlar talablariga javob beradigan elektr yuritma ishi amalga oshiriladi;

Energiya samaradorligi - texnologik jarayonlarni bajarishda elektr

energiyasini samarali iste'mol qilishga qo'yiladigan talablar;

Elektr yuritmaning elektr tarmog'i va axborot tizimi bilan mosligi - elektr tarmoqlari va axborot tizimlariga minimal ta'siri, elektr tarmog'ining sifatiga ta'sir qiluvchi yuqori garmonik komponentlarini kamaytirish;

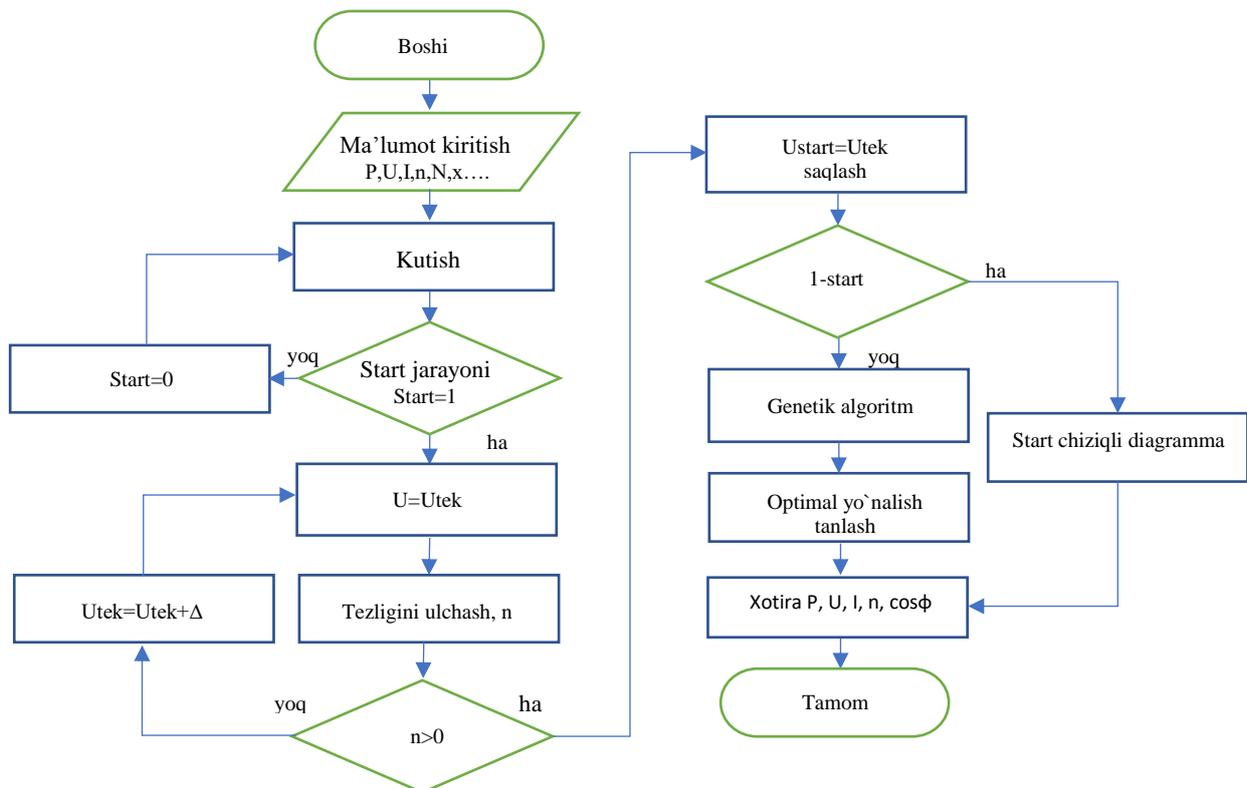
Resurs zichligi - ishlab chiqarish, o'rnatish, ishga tushirish, foydalanish va ta'mirlash paytida moddiy zichlik, mehnat zichligi.

Elektr yuritmaga qo'yiladigan asosiy talablardan tashqari, texnik talablar ham mavjud. Bularga quyidagilar kiradi:

- standartlar va texnik shartlar talablariga javob berish;
- kuchlanish og'ishlarida ishlashi $\pm 10\%$ gacha;
- ta'minot manbai chastotasi og'ishida ishlashi $\pm 2,5\%$ gacha;
- atrof-muhit haroratiga bardosh berish va hokazo.

Energiya tejamkor asinxron elektr yuritma (keyingi o'rinlarda "qurilma" deb yuritiladi) konstruktsiyasini tanlashda asosiy mezonlar, shuningdek, qurilmani loyihalashda hisobga olingan tegishli omillar quyidagilardir:

- qurilmaning tashqi ko'rinishi;
- saqlash va tashish qulayligi;
- qurilmani oson o'rnatish va ishlatish;
- tashqi muhitdan himoya qilish (chang, suv va boshqalar).
- to'liq to'plam va ishga tayyorligi.

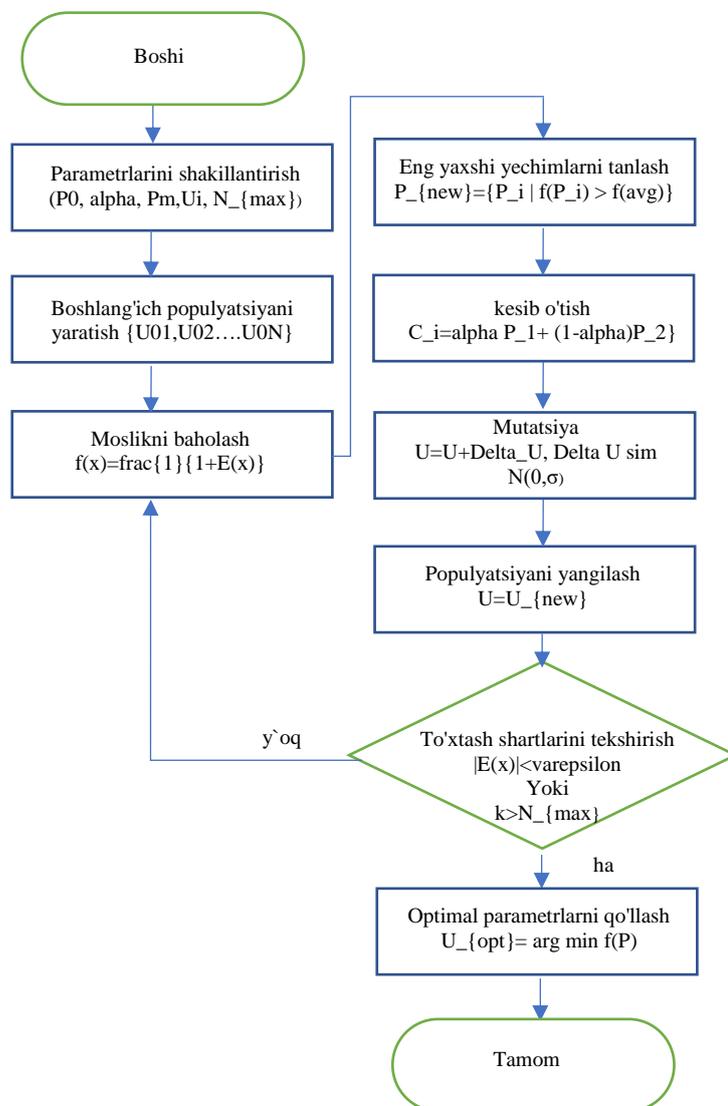


9-rasm. Asinxron elektr motorini ishga tushirish algoritmi

Ushbu mezonlarga javob berish uchun, energiya tejoychi asinxron elektr yuritma loyihalashdagi echimlardan biri, 110 kVt va undan yuqori quvvatlar uchun metall korpus ko'rinishidagi polga o'rnatiladigan va 0,75 dan 90 kVt gacha qurilmalar uchun devorga o'rnatiladigan shkaf konstruktsiyani qabul qilindi.

Energiyani tejaydigan asinxron elektr yuritmaning kuch qismi klassik TKR-AD sxemasida qurilgan. Qurilmaning ko'rinishi. 8- rasmda ko'rsatilgan.

Boshqarish algoritmining asosida genetik algoritm olingan. Klassik algoritmdan farqi shundaki, motor ixtiyoriy traektoriyalar bo'ylab emas, balki chiziqli bog'liqlik bo'yicha ishga tushadi.



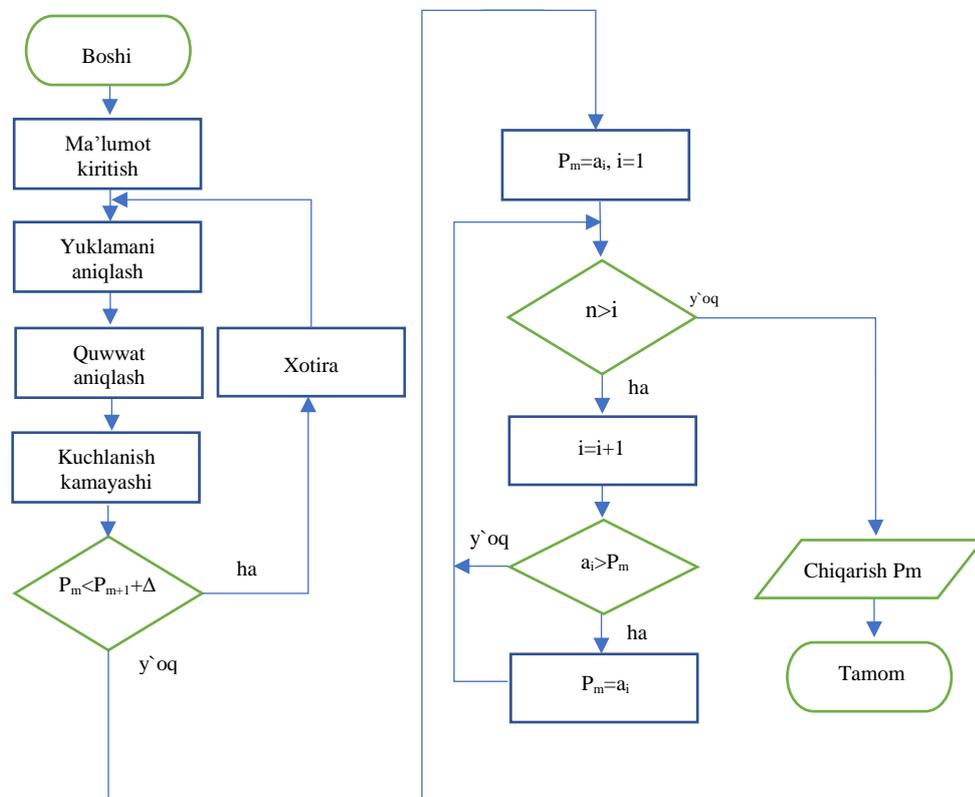
10-rasm. “Minimal quvvat sarfi” genetik algoritmi

Asinxron elektr motorini ishga tushirish algoritmi 9 va 10 rasmlarda ko'rsatilgan. 11-rasmda “Minimal quvvat sarfi” mezonini amalga oshirish algoritmining blok – sxemasi keltirilgan. Motor parametrlarini ishga tushirish – motorni boshlang'ich ma'lumotlarini kiritish: quvvat, nominal tok, kuchlanish, tezlik. Birinchi ishga tushirishda, motorga berilgan kuchlanish chiziqli bog'liqlikka ko'ra shaklanadi. Birinchi marta ishga tushirilganda, motorning boshlang'ich kuchlanishini yoki motorni qo'zgalish kuchlanishi aniqlash kerak. Bunday holda, qo'zgalish kuchlanishi mikrokontroller xotirasida saqlanadi va motorni ishga tushirishning o'tkinchi jarayoni tugaguniga qadar chiziqli xarakteristikaga muvofiq kuchlanishning silliq o'zgarishi sodir bo'ladi. Motor tezligi nominal (ishlash) tezligiga yetganda, tezlashuv vaqti yoki o'tkinchi jarayonning tugash vaqti belgilanadi. Motor tezlashishi paytida toklarning,

kuchlanishlarning va motor quvvat sarfining oniy qiymatlari hisoblanadi.

Qayta ishga tushirilganda, motorning qo'zgalish momentini qidirishning hojati yo'q, chunki bu birinchi ishga tushirish vaqtida amalga oshirildi. Algoritmning blok-sxemasiga ko'ra, tartib genetik algoritmi bo'yicha ishga tushirish traektoriyasini optimallashtirish blokiga o'tkaziladi. Ishga tushirish traektoriyasini yaratish 0-tstart vaqt oralig'ida dasturiy kod bilan yaratiladi. Oniy quvvat sarfini hisoblash birinchi ishga tushirishda iste'mol qilinadigan quvvat bilan taqqoslanadi. Minimal quvvat iste'moli mezonidan o'ziga xos og'ishlar mavjud bo'lsa, dastur motorni ishga tushirish traektoriyaga tuzatishlar kiritiladi.

Shunday qilib, har bir ishga tushirishda, iste'mol qilingan oniy quvvat qiymatlarining ishga tushirishda olingan qiymatlari taqqoslanadi va tahlil qilinadi. Minimal quvvat mezoniga javob beradigan parametrlar saqlanadi, boshqalari sozlanadi.

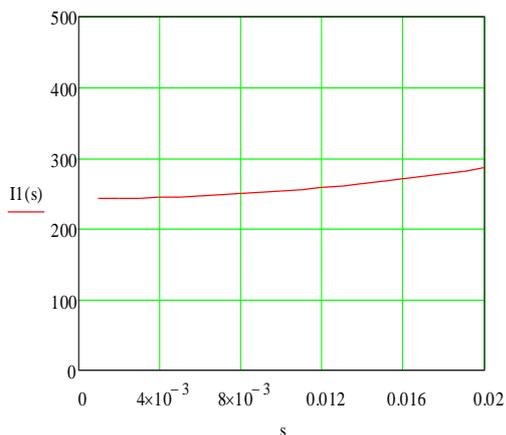


11-rasm. “Minimal quvvat sarfi” mezonini amalga

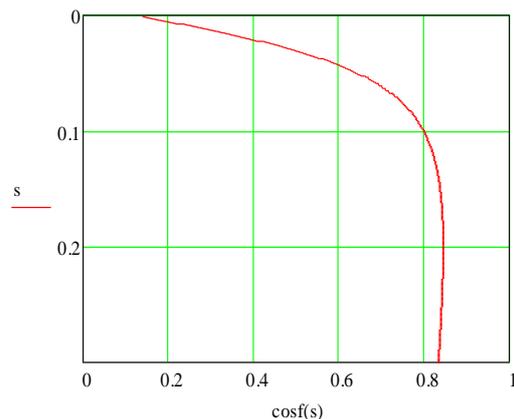
Uzluksiz rejimda energiya tejovchi asinxron elektr yuritma 13-rasmda keltirilgan algoritimga muvofiq “minimal aktiv quvvat sarfi” rejimida ishlaydi.

“Stator tokini minimallashtirish” mezonlarini amalga oshirish variantlari ko'rib chiqiladi:

$$I_1 = U_1 \sqrt{\frac{(L_\mu + L_2)^2 \omega_1^2 s^2 + R_2^2}{[\omega_1 s R_1 (L_2 + L_\mu) + \omega_1 R_1 (L_1 + L_\mu)]^2 + [\omega_1 s (L_1 L_2 + L_1 L_\mu + L_2 L_\mu) - R_1 R_2]^2}}, \quad (5)$$



12-rasm. Stator tokining sirpanishga bog'liqligi



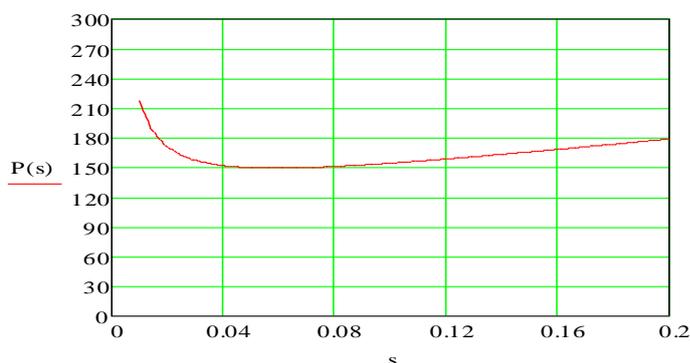
13-rasm. $\cos\varphi$ sirpanishga bog'liqlik

“Maksimal quvvat koeffitsenti” mezonlari:

$$\cos \phi'_m = \cos \phi_n \left[\frac{m_{start}}{(1 - s_n)k_i} + \gamma k_i (1 - \eta_n) \right], \quad (6)$$

“Minimal aktiv quvvat iste'moli” mezonlari:

$$P(s) = 3M_{el} \frac{L_\mu^2 \omega_1^2 s R_2 + (L_\mu + L_2)^2 \omega_1^2 s^2 R_1 + R_1 R_2^2}{p L_\mu^2 \omega_1 s R_2}, \quad (7)$$



14-rasm. Quvvat iste'molining sirpanishga bog'liqligi

Asinxron elektr motorining energiya xususiyatlari energiya samaradorligini oshirish uchun turli xil algoritmlar yordamida o'rganildi. Energiya iste'moli va mexanizmlarning turlari bo'yicha eng mos bo'lganlar aniqlangan. Ko'rib chiqilayotgan motor uchun “minimal stator toki” mezonlari 1538 Nm nominal momentda va 103,35 rad/s nominal tezlikda aniqlandi, $s = 0,13$ ga teng sirpanish bilan $\cos\varphi = 0,845$ ga teng “maksimal quvvat koeffitsenti” aniqlandi va minimal aktiv quvvat iste'moli rejimda aniq belgilangan ekstremal nuqta bo'lib, bu erda aktivl komponentning iste'moli 139,46 kVtni tashkil qiladi.

“TKR-AD sxemasi bo'yicha elektr yuritmani ishlab chiqish, sanoat va eksperimental tadqiqotlar” dissertatsiyaning to'rtinchi bobida TKR-AD tizimidagi energetik ko'rsatkichlarini o'zgartirish masalalari ko'rib chiqildi. Motorni ishga tushirishda elektr energiyasining yo'qotishlari hisoblab chiqildi.

Tarmoqdagi energiya iste'moli:

$$W_s = \int_0^{T_{tv}} P_{tarmoq} dt \quad (8)$$

bu yerda T_{tv} - texnologik jarayonning aylanish vaqti.

Energiya yo'qotilishi:

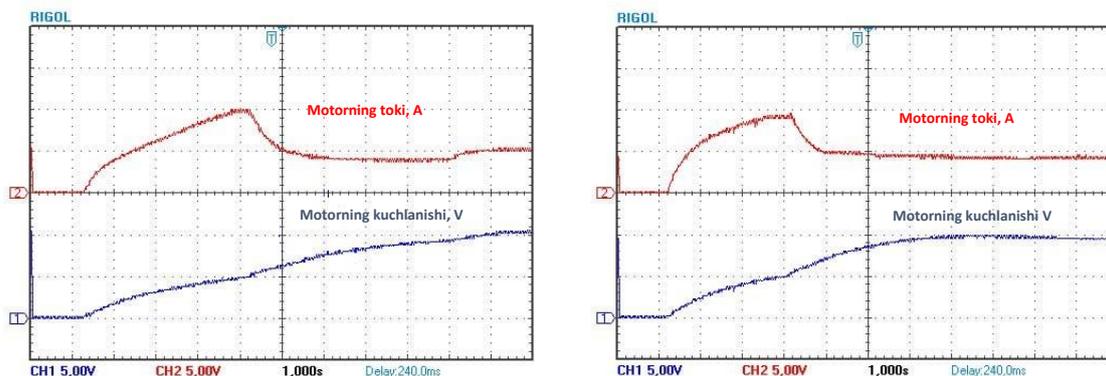
$$\Delta W = \int_0^{T_{tv}} (P_{tarmoq} - P_{mex}) dt, \quad (9)$$

Chiziqli boshqaruvchi va energiya samarali boshqaruvchi ikkita ishga tushirish rejimi uchun olingan qiyosiy hisoblangan ma'lumotlar 2-jadvalda jamlangan.

2-jadval. Algoritm turlari.

Algoritm turi	P1, Vt	P2, Vt	Q1, VAr	Cosφ	FIK
Chiziqli	155 215	88 178	242 149	0,514	0,56
Genetic	118 921	73 906	241 053	0,500	0,63

2-jadval shuni ko'rsatadiki, motor tezlashuvining intensivligini boshqarishning turli xil algoritmlari bilan quvvat sarfi, mexanik yo'qotishlar va elektr yo'qotishlarida turli qiymatlar hosil bo'ladi. Elektr motori tomonidan iste'mol qilinadigan quvvatdagi farq turli miqdorda tok cheklovi va kuchlanishning ko'tarilishi bilan bog'liq. Shuning uchun, kuchlanishning chiziqli o'sishi energiya iste'moli nuqtai nazaridan optimal emas.



15-rasm. Shovot-1 nasos stantsiyasi motorini modernizatsiya qilishdan oldin va modernizatsiyadan keyin tezlashuv egri chiziqlari

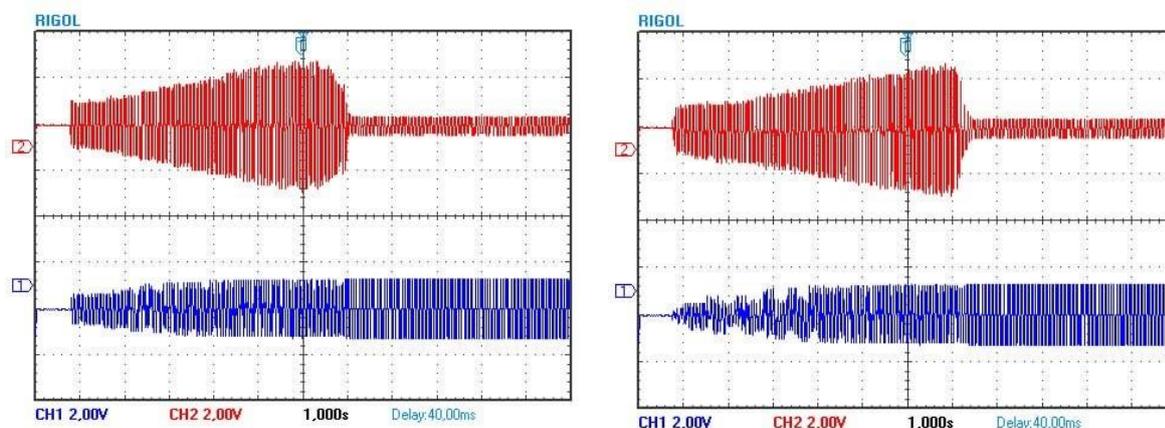
Boshqaruv sxemasi ATMEL ATmega 16(32) mikrokontrolleri asosida ishlab chiqilgan. Unga o'rnatilgan dastur barcha boshqaruv mantiqini amalga oshiradi. Sxemaning barcha boshqa elementlari yordamchi hisoblanadi. Ular mikrokontrollerning chiqishlariga signallarni (diskret yoki analog) hosil qiladi yoki uning chiqishlaridan signallarni qayta ishlaydi.

Ishlab chiqilgan energiya tejamkor asinxron elektr yuritma bir qator ob'ektlarda sinovdan o'tkazildi va O'zbekiston Respublikasi Suv xo'jaligi vazirligi korxonalarida Xatirchi tumanidagi Shovot-1 nasos stansiyasida muvaffaqiyatli joriy etildi, nasos agregati umumiy o'rnatilgan quvvati $2 \cdot 160$ kVt ega, "Jizzax akkumulyator zavodi" AJ ishlab chiqarish maydonchasida havo yetkazib beruvchi kompressor blokida sinovdan o'tkazilgan va joriy qilingan,

kompressor stansiyasining o'rnatilgan quvvati 160 kVt, shuningdek, Navoiy kon-metallurgiya kombinati ishlab chiqarish maydonlarida ham sinovlar o'tkazildi, asinxron elektr yuritmaning quvvati 55 kVt dan 315 kVt gacha;

Shovot-1 nasos stansiyasi geografik jihatdan Navoiy viloyatining Xatirchi tumanida joylashgan. 1967 yilda ishga tushirilgan. Nasos stansiyasiga sug'orish mavsumiy. Nasos agregatlari "Suv mash" AJ tomonidan ishlab chiqarilgan. 3 va 4-jadvallarda energiya tejamkor asinxron elektr yuritmani joriy etishda olingan natijalar keltirilgan.

Nasos agregatini ishga tushirishning qiyosiy tahlili asinxron elektr motor uchun turli xil silliq ishga tushirish algoritmlari bilan nasos agregatini ishga tushirishda quvvat sarfi farqini ko'rsatadi. Kompaniya Delixi tomonidan ishlab chiqarilgan CDR qurilmasidan silliq ishga tushirish bilan ishga tushirish toki va quvvat sarfi UMP qurilmasidan silliq ishga tushirishdan 16% farq qiladi. 4-jadvalda raqamli ekvivalentlardagi farqlar ko'rsatilgan.



16-rasm. DAZ AJ kompressor stansiyasini modernizatsiya qilishdan oldin va modernizatsiya qilingandan keyin motorning tezlashishi egri chiziqlari

3-jadval. Ikkita qurilmaning qiyosiy tahlili.

Sxema turi	Altistart	UMP-2
Ishga tushirish vaqti, c	12	9
Ishga tushirish toki, A	980	820
Ishga tushirishdagi quvvat sarfi, kVt	283,9	239,6
Farqi		15 %
Cosφ	0,82-0,84	0,86-0,89
P1, kVt uzluksiz rejim	107-113	96-100
Farqi		11-12%

4-jadval. Ikkita qurilmaning qiyosiy tahlili.

Sxema turi	Ishga tushirish vaqti, c	Ishga tushirish toki, A	Ishga tushirishdagi quvvat sarfi, kVt	Cosφ, Ishga tushirish vaqtida o'rtacha	Uzluksiz rejimdagi iste'mol, kVt,
CDR	5,3	501	143,6	0,55	143,5
UMP	4,1	470	121,2	0,62	132,3

“Jizzax akkumulyator zavodi” AJ ishlab chiqarish maydonchasida quvvati 160 kVt bo'lgan, nominal parametrlari $P=7$ atm, oqim tezligi $Q=30$ m³/min bo'lgan, SSR-EP kompressorini boshqarish uchun, ishdan chiqqan Altistar 46C32 silliq ishga tushirish qurilmani, mahalliy 160 kVt quvvatga ega UMP turidagi silliq ishga tushirish qurilmaniga almashtirildi.

Joriy etilgan UMP qurilmasi (silliq ishga tushirish qurilmasi) 160 kVt ga ega asinxron elektr motorini maksimal FIK rejimida ishga tushiradi. Ishga tushirishning o'ziga xos xususiyati - asinxron motorning zarbasiz silliq ishga tushirish, ishga tushirish toki Altistar 46 ga nisbatan 13-15% ga kamaydi va 820 A ni tashkil etdi. Ishga tushirish vaqti 3,1 soniyaga qisqardi.

XULOSA

“Uzluksiz va davriy harakatlanuvchi mexanizmlar uchun energiya samarali asinxron elektr yuritmalar” mavzusidagi falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar natijasida quyidagi xulosalar taqdim etiladi:

1. Asinxron elektr yuritmalarning ish rejimlarini o'rganish, xorijiy analoglar ishini tahlil qilish va xorijiy adabiyotlarni o'rganish asosida elektr yuritmalarni boshqarish tizimlarini takomillashtirish zarurligi asoslandi.

2. Asinxron elektr yuritmalarni elektr motorini ishga tushirishda, “tarmoqdan aktiv elektr energiyasini minimal iste'mol qilish” rejimida eng yaxshi traektoriyani topish uchun, boshqarish algoritmlari genetik algoritm asosida ishlab chiqilgan. Ushbu genetik nazorat algoritmidan foydalanish tufayli motorni ishga tushirishda tarmoqdan elektr energiyasi iste'molini 15-16% ga kamaytirishga erishildi.

3. “Tarmoqdan aktiv elektr energiyasini minimal iste'mol qilish” mezoni bo'yicha uzluksiz rejimda asinxron elektr motorining kuchlanishini aniqlash metodologiyasi va algoritmi takomillashtirildi, bu esa elektr energiyasi sarfini 7,8-12 % ga kamaytirish imkonini beradi

4. 2013-yildan buyon va 2017-yil 19-martdagi 14/17-sonli loyiha doirasida Toshkent davlat texnika universiteti va Navoiy kon-metallurgiya kombinati, shuningdek, 2013-yildan buyon o'tkazilgan energiya tejamkor silliq ishga tushirish va boshqarish moslamasining sanoat sinovlari hamda 2016 yil 7 iyundagi 02-1800yur (Toshkent davlat texnika universiteti va Olmaliq kon-metallurgiya kombinati) loyiha doirasida uning ishlashi va texnologiya talablariga muvofiqligi va uzluksiz va davriy harakatlanuvchi mexanizmlar bo'yicha sanoat sharoitida ishlashni tasdiqladi. O'zbekiston Respublikasi Ts 23421885-002:2018 texnik standarti asosida asinxron elektr yuritmalar uchun energiya tejamkor silliq ishga tushirish qurilmalari ishlab chiqarishga seriyali sertifikat olindi.

5. Energiya ko'rsatkichlari yaxshilangan asinxron elektr yuritmalarni shu kabi qurilmalarga nisbatan nazorat qilish sxemasi ishlab chiqildi va O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi Intellektual mulk agentligidan ixtirolarga patent shaklida huquqiy himoya olindi (IAP No 7649).

6. Suv xo'jaligi vazirligining umumiy quvvati 320 kVt bo'lgan "Shovot-1" nasos stansiyasi ob'ektida energiya tejamkor asinxron elektr yuritmani joriy etish natijasida 200,6 million so'm iqtisodiy samara va "Jizzax akkumulyator zavodi" AJ ishlab chiqarish maydonchasida esa quvvati 160 kVt bo'lgan kompressorning asinxron elektr yuritmasiga 195,8 million so'mlik iqtisodiy samara olindi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ
ДОКТОРА НАУК DSc.03/10.12.2019.Т.03.03 ПРИ ТАШКЕНТСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
ИМЕНИ ИСЛАМА КАРИМОВА**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ИСЛАМА КАРИМОВА**

ШАМИЕВ МУРАТ ФИХРАТОВИЧ

**ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД
ДЛЯ МЕХАНИЗМОВ НЕПРЕРЫВНОГО И ЦИКЛИЧЕСКОГО
ДЕЙСТВИЯ**

**05.05.02 Электротехника, Электроэнергетические станции, системы.
Электротехнические комплексы и установки.**

**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 за B2022.3.PhD/T3147.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете имени Ислама Каримова.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета (www.tdtu.uz) и Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziynet.uz).

Научный руководитель:

Пулатов Абдор Обидович

доктор философии по техническим наукам (PhD), доцент

Официальные оппоненты:

Бобожанов Махсуд Каландарович

доктор технических наук, профессор

Ишназаров Ойбек Хайриллаевич

доктор технических наук, профессор

Ведущая организация:

Ташкентский государственный

транспортный университет

Защита диссертации состоится « ____ » _____ 2025 г. в ____ часов на заседании Научного совета DSc.03/10.12.2019.T.03.03 при Ташкентском государственном техническом университете. Адрес: 100095, г Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32, e-mail: tstu_info@tdtu.uz.

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (регистрационный номер - ____). Адрес: 100095, Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (99871) 207-14-70.

Автореферат диссертации разослан « ____ » _____ 2025 года.

(протокол рассылки № « ____ » от « ____ » _____ 2025 года).

К.Р.Аллаев

председатель научного совета
по присуждению ученых степеней,
доктор технических наук, профессор, академик

И.У.Рахмонов

ученый секретарь научного совета
по присуждению ученых степеней,
доктор технических наук, профессор.

Т.Ш. Гайибов

председатель научного семинара при
научном совете по присуждению
ученых степеней, доктор технических наук, профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и значимость темы диссертации. В мире повышение энергоресурсоэффективности автоматизированного электропривода (АЭП) для механизмов непрерывного и циклического действия на промышленных предприятиях является одним из актуальных направлений в энергетике. При этом особое внимание уделяется плавному пуску и остановке насосов, вентиляторов, компрессоров и других промышленных механизмов, ограничению динамических ударов и скачков тока. В настоящее время во многих развитых странах «...за последнее десятилетие энергоёмкость промышленности в странах Западной Европы и Японии снизилась в 1,6-1,8 раза, а в США - более чем вдвое. По последним данным международных энергетических агентств, внедрение энергосберегающих технологий, как ожидается, позволит снизить энергоёмкость промышленности в странах Западной Европы на 35% к 2030 году, а в США - на 25% к 2035 году...». В связи с этим особое внимание уделяется разработке замкнутых систем управления автоматизированного асинхронного электропривода по схеме ТРН – АД, исследованию особенностей математической модели ТРН-АД для оценки состояния динамических объектов, разработке алгоритма, минимизирующего потребление электроэнергии из сети при пуске и длительной эксплуатации.

В мире ведутся научные исследования по созданию энергоэффективных асинхронных электроприводов, отвечающих за снижение потребления активной мощности и экономию энергии и ресурсов, за счет обеспечения оптимальной величины напряжения, подаваемого на асинхронные электроприводы в механизмах непрерывного и периодического движения. В этом направлении исследования считаются приоритетными, в том числе на основе введения граничных условий по времени пуска и току в математическую модель, позволяющую изучать динамические режимы асинхронного электродвигателя при различных формах и значениях напряжения. При этом актуальной задачей является необходимость обеспечения минимального потребления активной мощности в условиях изменения пускового тока асинхронного электродвигателя в циклических режимах, разработка методов и алгоритмов управления с использованием генетического алгоритма, а также автоматизированной системы управления, обеспечивающей высокие значения коэффициента полезного действия с учетом статической нагрузки на валу асинхронного электродвигателя в продолжительных режимах.

В республике реализуются практические меры по совершенствованию и внедрению методов и инновационных разработок для создания новых технических и технологических решений, повышения эффективности использования энергетических ресурсов в целях снижения себестоимости выпускаемой продукции. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан в 2030-е годы поставлены такие задачи, как «...удвоение энергоэффективности отраслей экономики;

установка энергосберегающих устройств, модернизация насосных станций, снижение их годового потребления электроэнергии на 30 процентов...» . При выполнении этих задач важным является проведение исследований и разработка алгоритмов и энергоэффективных устройств для снижения доли электроэнергии, потребляемой предприятием при производстве продукции, а также совершенствования технологического процесса.

Исследования по теме диссертационной работы в определенной мере служат реализации задач и достижению целей, поставленных Президентом Республики Узбекистан, среди них следует отметить Указ Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № ПФ-60 «О Стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы», Указ Президента Республики Узбекистан от 11 сентября 2023 года № ПФ-158 «О Стратегии «Узбекистан - 2030», Указ Президента Республики Узбекистан от 10 июля 2020 года № ПФ-6024 «Об утверждении Концепции развития водного хозяйства Республики Узбекистан на 2020-2030 годы»; Указы Президента Республики Узбекистан от 09 сентября 2022 года № ПФ-220 «О дополнительных мерах по внедрению малотоннажных энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии»; Постановление Президента Республики Узбекистан от 16 февраля 2023 года № ПП-57 «О мерах по ускоренному внедрению возобновляемых источников энергии и энергосберегающих технологий в 2023 году».

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением науки и технологий Республики Узбекистан II. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение».

Степень изученности проблемы. Значительный вклад в решение проблем оптимизации пуска асинхронных электродвигателей и оптимизации устойчивого режима работы двигателя внесли ряд видных зарубежных ученых, в том числе И.Я. Браславский, А.А. Булгаков, Н.Ф. Ильинский, А.М. Зюзев, М.Г. Чиликин, Г.Б. Онищенко, И.А. Сыромятников, У. Беккерт, У. Шепард, Д. Мерфи, С. Ямада и другие.

Научные работы известных ученых Узбекистана посвящены решению таких научных проблем, как вопросы эффективного потребления электроэнергии промышленными механизмами, а также разработке оптимальных решений и методов экономии ресурсов и энергии. Из них : М.З. Хамудханов, К.Р. Аллаев, Т.С. Камалов, А.Н. Анхимюк, Н.Х. Базоров, А.А. Хошимов, М.М. Хамудханов, Х.Г. Каримов, М.К. Бобожонов, А.Т. Имамназаров, Н.Н. Арипов, А.У. Мирисаев, К.Г. Абидов, О.Х. Ишназаров, Н.Б. Пирматов, О.З. Тоиров и другие. В результате научных исследований достигнуты значительные результаты в решении проблем повышения эффективности использования электрической энергии в промышленных механизмах.

Несмотря на значительные успехи, научные проблемы, связанные с созданием энергоэффективных асинхронных электроприводов для

механизмов непрерывного и периодического движения и снижением расхода электроэнергии, изучены недостаточно. В диссертации предложены методы анализа, оценки и моделирования потребления электроэнергии асинхронными электродвигателями, разработаны методы рационального использования электроэнергии и на основе этих методов создано специальное оборудование и программное обеспечение, позволяющие управлять потреблением электроэнергии и снижать затраты на энергоносители.

Связь темы диссертации с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.

Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских работ и осуществлялось в соответствии с контрактом №14/17 от 19.03.2017 между Ташкентским государственным техническим университетом и АО «Навоийский горно-металлургический комбинат» на тему «Создание и внедрение энергосберегающего ресурсосберегающего устройства плавного пуска (РУПП) для электропривода мощностью 55кВт (2 шт.), 90кВт (1 шт.), 132кВт (2 шт.) и 315 кВт (5 шт.) ».

Целью исследования являются разработка и внедрение энергоэффективного асинхронного электропривода для механизмов с непрерывным и циклическим действием на основе генетического алгоритма запуска и управления.

Задачи исследования:

проведение анализа проблемы построения замкнутых систем управления электроприводов по схеме ТРН–АД;

исследование особенностей создания математической модели АД с ТРН для оценки динамического состояния объектов;

разработка алгоритма с минимальным потреблением электрической энергии из сети во время пуска и в продолжительном режиме;

проведение проверки работоспособности разработанного энергоэффективного асинхронного электропривода по схеме ТРН–АД на объектах и производственных площадках.

Объектом исследования является автоматизированный асинхронный электропривод общепромышленных механизмов по схеме ТРН–АД на производственной площадке АО «Джизакского аккумуляторного завода», Насосной станции «Шават-1» и объектах Навоийского горно-металлургического комбината.

Предметом исследования является изменение потребляемой из сети электрической мощности асинхронным электроприводом при пуске и продолжительной работе в процессе регулирования по специальному алгоритму величины фазного напряжения, подаваемого на двигатель.

Методы исследования. В исследовании использованы современные методы теории электрических машин и электропривода, методы искусственного интеллекта, генетические алгоритмы, математическая статистика, метод наименьших квадратов, факторный анализ, главные

компоненты, искусственные нейронные сети, сравнительный анализ и обработка данных.

Научная новизна исследования:

разработан энергоэффективный асинхронный электропривод, позволяющий снизить потребление активной мощности и экономить электроэнергию и ресурсы за счет обеспечения оптимальной величины напряжения, подаваемого на асинхронный электропривод;

разработаны метод и алгоритм управления с использованием генетического алгоритма, обеспечивающие минимальное потребление активной мощности в условиях изменения пускового тока при пуске асинхронного электродвигателя;

усовершенствована математическая модель, позволяющая исследовать динамические режимы асинхронного электродвигателя при различных формах и значениях напряжения, путем введения граничных условий по времени пуска и току;

разработана автоматизированная система управления, обеспечивающая высокие значения коэффициента полезного действия за счет эффективного регулирования напряжения с учетом статической нагрузки на валу асинхронного электропривода.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

по результатам исследований определен ряд решений, позволивший организовать производство энергоэффективного асинхронного электропривода по схеме ТРН–АД, обеспечивающего плавный пуск механизма с минимумом потребления электрической энергии;

созданы имитационные модели в программной среде Matlab Simulink замкнутого асинхронного электропривода по схеме ТРН–АД и его элементов, которые можно использовать при проведении лабораторных и практических работ при типовых режимах работы устройства плавного пуска (УПП);

разработаны прикладное программное обеспечение в среде Python, а также лабораторный стенд, позволяющие определять траекторию запуска и работу асинхронного электропривода в различных режимах.

разработан ряд вариантов устройств управления асинхронным двигателем с плавным запуском, новизна и приоритетность которых подтверждены патентом на изобретение.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования обосновывается тем, что полученные результаты внедрены в производство, а также подтверждаются идентичностью теоретических и расчетно-экспериментальных результатов.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования заключается в изучении закономерностей изменения параметров потребления электроэнергии асинхронным электроприводом в зависимости от нагрузки в режиме пуска асинхронного электропривода и продолжительной его работе.

Практическая значимость результатов исследования связана с повышением энергоэффективности от испытаний и внедрений предложенных устройств на промышленных объектах Навоийского горно-металлургического комбината, Алмалыкского горно-металлургического комбината, Джизакского аккумуляторного завода и Министерства водного хозяйства Республики Узбекистан.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных научных результатов по созданию энергоэффективного асинхронного электропривода для механизмов непрерывного и циклического действия получены следующие результаты:

получен патент на изобретение Центра интеллектуальной собственности Республики Узбекистан на энергоэффективный асинхронный электропривод (асинхронный электропривод, IAP 7649, 19.03.2024). В результате создается возможность снижения активной электроэнергии асинхронным электроприводом на 12% в год и повышения общей энергоресурсоэффективности на 6-8% ;

автоматизированная система управления, обеспечивающая высокие значения коэффициента полезного действия, внедрена на насосном агрегате насосной станции “Шават-1” общей мощностью 320 кВт (справка Министерства водного хозяйства Республики Узбекистан № 02/07-101 от 8 января 2025 года). В результате обеспечена бесперебойная работа насосной станции и энергосберегающий режим электродвигателей насосных агрегатов, снижение времени ремонтных работ, при этом экономическая эффективность за счет сокращения потерь электроэнергии и увеличения срока службы электрооборудования за год составила 200 600 000 сумов;

метод и алгоритм управления током статора и выходным напряжением внедрены на компрессорной установке мощностью 160 кВт, установленной в АО «Джизакский аккумуляторный завод» (справка АО «Джизакский аккумуляторный завод» от 14 декабря 2024 г. №19-07/283). В результате, за счет снижения пускового тока на 13-15%, удалось достичь экономической эффективности в 195 800 000 сум.

Апробация результатов исследований. Результаты исследования прошли апробацию на 3 международных и 3 республиканских научно-технических и научно-практических конференциях, а также семинарах кафедры «Инженерия электрических машин и приводов» Ташкентского государственного технического университета.

Опубликованность результатов исследований. По теме диссертации опубликованы 19 научных работ, из них в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций доктора философии (PhD) – 8, в том числе 6 – в республиканских и 2 – в зарубежных журналах, входящих в базу данных Scopus, имеются 2 патента и 3 свидетельства на программы для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и

приложений. Объем диссертации составляет 120 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

В **введении** обоснованы актуальность и необходимость научных исследований, цели и задачи, охарактеризованы объект и предмет исследования, показано соответствие развития науки и технологий приоритетным направлениям, описаны научная новизна и практические результаты, раскрыто научное и практическое значение работы, приведены сведения по внедрению результатов исследований в практику, по опубликованным трудам и информация о структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Анализ и особенности современных технологий управления асинхронного электропривода механизмов непрерывного и циклического действия»** проанализированы современное состояние техники управления асинхронными электроприводами и способы управления. Для анализа существующих способов управления асинхронными электроприводами выбраны мировые производители асинхронного электропривода как АВВ, Ansaldo, Aucor, Siemens, Schnieder и др. Приведены различия в управлении механизмами непрерывного и циклического действия. Показаны преимущества и недостатки существующих электрических приводов. Были рассмотрены варианты управления асинхронными электроприводами по системе ПЧ-АД и систем ТРН-АД, и даны рекомендации применения систем плавного пуска для механизмов, где не требуется по требованию технологии регулирование скорости. С учетом приведенных способов управления АД сформулированы пути энергосбережения в асинхронном электроприводе, которые связаны с обоснованным выбором установленной мощности двигателя, совершенствованием алгоритмов управления электроприводом и использованием современной элементной базы. Отмечены основные способы повышения энергоэффективной работы и уменьшения потребления электрической энергии в асинхронных электроприводах, с комбинированием применения автоматизированного электропривода, усовершенствования технологического процесса, применения современных энергоэффективных двигателей и совершенствования алгоритмов управления

Вторая глава диссертации **«Математическое моделирование и формирование энергосберегающих алгоритмов управления асинхронными электроприводами в статических и динамических режимах»** посвящена математической модели и характеристикам асинхронного электропривода. Рассмотрены зависимости энергетических показателей в зависимости от режимов работы асинхронного электропривода.

Для установившегося режима в качестве основных энергетических показателей можно использовать коэффициент полезного действия η , который определяет эффективность преобразования электрической энергии

в механическую, и коэффициент мощности K_m ($\cos\varphi$), как показатель экономичного потребления электрической энергии из сети.

$$K_m = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + T^2 + H^2}}, \quad (1)$$

где P и S – активная и полная мощности, потребляемые от сети; Q – реактивная мощность; T – мощность искажения, связанная присутствием в составе несинусоидального периодического тока высших гармоник; H – мощность не -симметрии, учитывающая дополнительные потери энергии из-за неравномерной загрузки фаз.

В качестве показателя экономичности работы электропривода в переходных режимах используем значение энергии потерь за время переходного процесса .

Очевидно, в общем случае

$$\Delta W_{п.п} = \int_0^{t_{п.п}} \Delta P_{дв} dt, \quad (2)$$

где $t_{п.п}$ – время переходного процесса; $\Delta P_{дв}$ – суммарная мощность потерь в двигателе:

$$\Delta P_{дв} = \Delta P_{1м} + \Delta P_{2м} + \Delta P_{1с} + \Delta P_{2с} + \Delta P_{дон} + \Delta P_{мех}, \quad (3)$$

В зависимости от типа анализируемого асинхронного электропривода отдельные составляющие потерь в формуле (3) могут быть незначительными в общем балансе потерь и их можно не учитывать при определении.

$$\Delta W_{n.n} = \int_0^{t_{n.n}} (\Delta P_{дв} + \Delta P_{пр}) dt = \int_0^{t_{n.n}} \Delta P_{эн} dt, \quad (4)$$

где $\Delta P_{пр} dt$ – потери в преобразователе; $\Delta P_{эн} dt$ – потери в электроприводе.

С помощью статической и динамической моделей были рассчитаны механические, электромеханические и переходные процессы на примере асинхронного двигателя насосного агрегата насосной станции Шават-1 5АИ355SY2. В табл. 1 приведены основные паспортные данные двигателя.

Таблица 1. Номинальные параметры двигателя.

Тип	n ₀ , об/мин	U _{1н} , В	P _{2ном} , кВт	При номинальной нагрузке			J _{дв} , кг·м ²
				s _н , %	cosφ _н	η _н , %	
5АИ355SY2	1000	380/660	160	1,3	0,9	93,5	8,1
m _п =M _{пуск} /M _{ном}		m _м =M _{мин} /M _{ном}		m _к =M _{мах} /M _{ном}		K _i =I _{пуск} /I _{ном}	
0,9		1,4		2,2		7	

С помощью имитационной модели асинхронного электропривода (рис.1) с тиристорным регулятором напряжения рассмотрены различные способы пуска асинхронного электропривода. Приведены различные характеристики асинхронного электропривода при различных задатчиках интенсивности (рис.2-7).

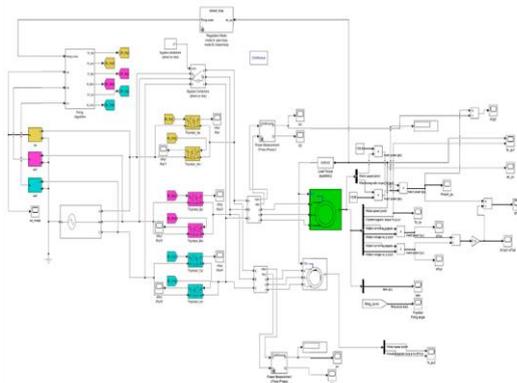


Рис.1. Имитационная модель асинхронного электропривода насоса насосной станции Шават - 1

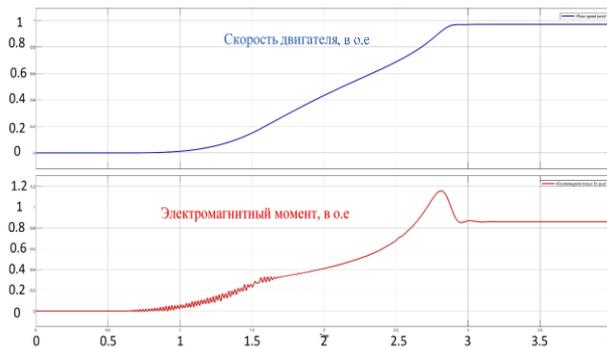


Рис. 2. Переходной процесс пуска двигателя при линейном задатчике интенсивности

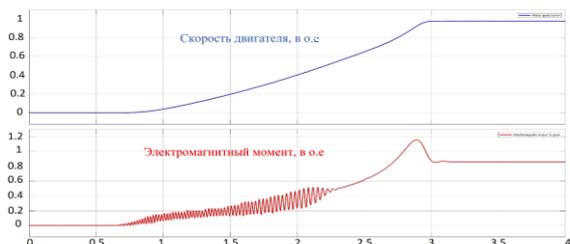


Рис.3. Переходной процесс пуска двигателя при s-образном задатчике интенсивности

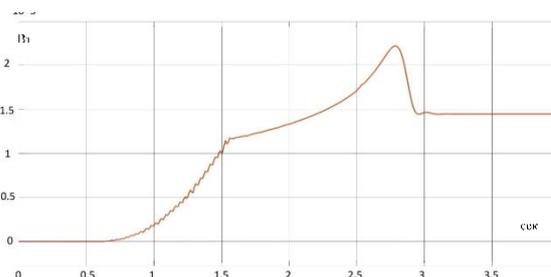


Рис. 4. Зависимость потребляемой активной мощности при пуске с линейным задатчиком интенсивности

Приведены принципы повышения энергоэффективности асинхронного электропривода по критериям «минимум тока статора» с использованием поисковой системы нахождения критерия, и вычислительные критерии «максимум коэффициента мощности» и «максимальный КПД».

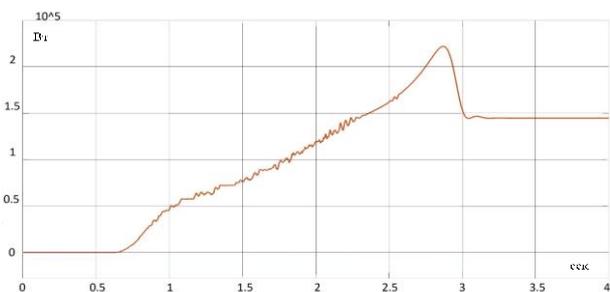


Рис.5. Зависимость потребляемой активной мощности при пуске с s-образным задатчиком интенсивности

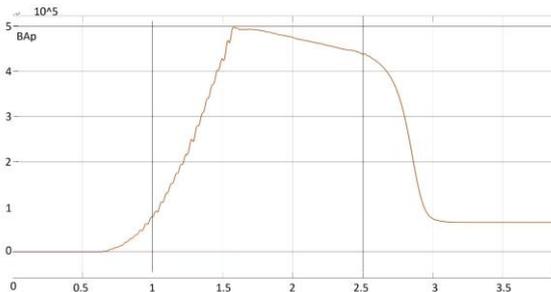


Рис.6. Зависимость потребляемой реактивной мощности при пуске с линейным задатчиком интенсивности

Третья глава диссертации «Разработка и внедрение энергоэффективного асинхронного электропривода для механизмов непрерывного и циклического действия на базе ТРН-АД» посвящена выбору конструкции и схемного решения, разработке алгоритма управления асинхронным электроприводом и анализу энергетических характеристик двигателя при энергосберегающих алгоритмах.

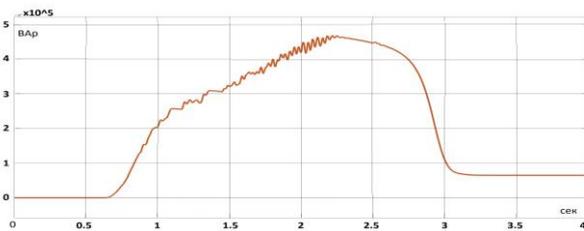


Рис.7. Зависимость потребляемой реактивной мощности при пуске с s-образным задатчиком интенсивности



Рис.8. Энергоэффективный асинхронный электропривод

При выборе конструкции и схемного решения энергоэффективного асинхронного электропривода необходимо, чтобы разрабатываемое устройство отвечало общим требованиям к электроприводу. А именно:

Надежность электропривода - это способность электропривода выполнять заданные функции в течение промежутка времени и при этом сохранять эксплуатационные характеристики;

Точность – осуществление точного движения электропривода;

Быстродействие и качество динамических процессов, при которых выполняется работа электропривода, отвечающего требованиям технологических процессов;

Энергетическая эффективность - требования эффективного потребления электрической энергии при выполнении технологических процессов;

Совместимость электропривода с электрической сетью и информационной системой- минимальное влияние на электрические сети и информационные системы, формирование высших гармонических составляющих, влияющих на качество электрической сети;

Ресурсоёмкость – материалоемкость, трудоемкость при изготовлении, монтаже, наладке, эксплуатации, ремонте.

Кроме основных требований к электроприводу, существуют технические требования. К ним относятся:

- отвечать требованиям стандартов и технических условий;
- работа при отклонениях напряжения $\pm 10\%$;
- работа отклонения частоты питающей сети до $\pm 2,5\%$;
- выдерживать температуры окружающей среды и др.

Основные критерии при выборе конструкции энергоэффективного асинхронного электропривода (далее по тексту «устройство»), а также сопутствующие факторы, которые были учтены при проектировании устройства, следующие:

- внешний вид устройства;
- удобство хранения и перевозки;
- легкий монтаж и эксплуатация устройства;
- защита от внешней среды (пыль, вода и др.)
- полная комплектность и готовность к работе.

Для того чтобы соответствовать этим критериям, одним из решений в

конструкции энергоэффективного асинхронного электропривода стало шкафное исполнение, в виде металлического корпуса, напольной установки для мощностей 110 кВт и выше, и настенного исполнения для устройств от 0,75 до 90кВт.

Силовая часть энергоэффективного асинхронного электропривода построена на классической схеме ТРН-АД. Внешний вид устройства изображен на рис.8.

За основу алгоритма управления взят генетический алгоритм. Отличие от классического алгоритма: пуск двигателя начинается не по произвольным траекториям, а по линейной зависимости. Алгоритм пуска асинхронного электродвигателя приведен на рис. 9 и рис. 10. На рис. 11 приведена блок- схема алгоритма реализации критерия «минимум потребляемой мощности».

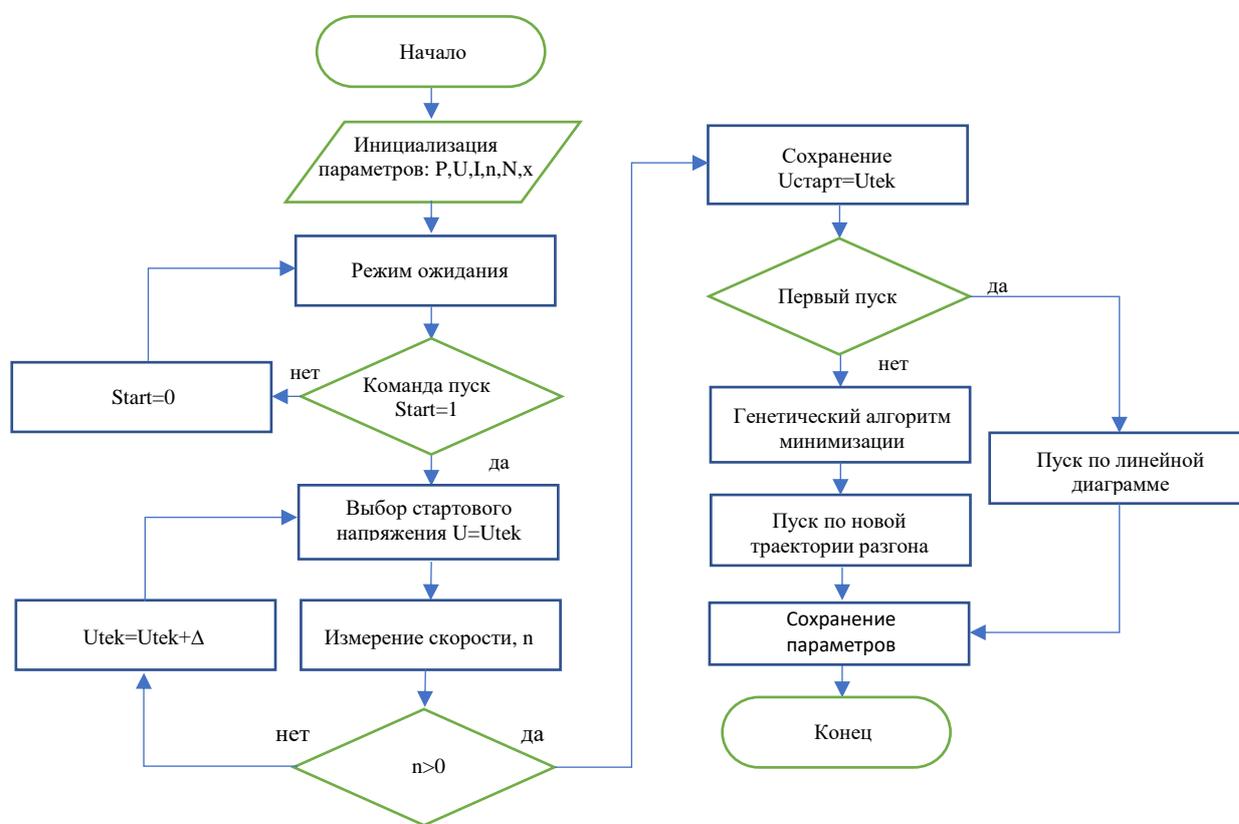


Рис.9. Алгоритм пуска асинхронного электродвигателя

Инициализации параметров двигателя – введение начальных данных двигателя: мощность, номинальный ток, напряжение, скорость. При первом запуске напряжение, подаваемое на двигатель, формируется по линейной зависимости. При первом пуске необходимо определить стартовое напряжение или напряжения стирогания мотора. При этом напряжение стирогания сохраняется в памяти микроконтроллера и по линейной характеристике происходит плавный разворот напряжения до окончания переходного процесса пуска двигателя. Время разгона или время окончания переходного процесса, когда скорость двигателя достигнет номинальной (рабочей), фиксируется. В момент разгона двигателя вычисляются

мгновенные значения токов, напряжения и потребленной мощности двигателя.

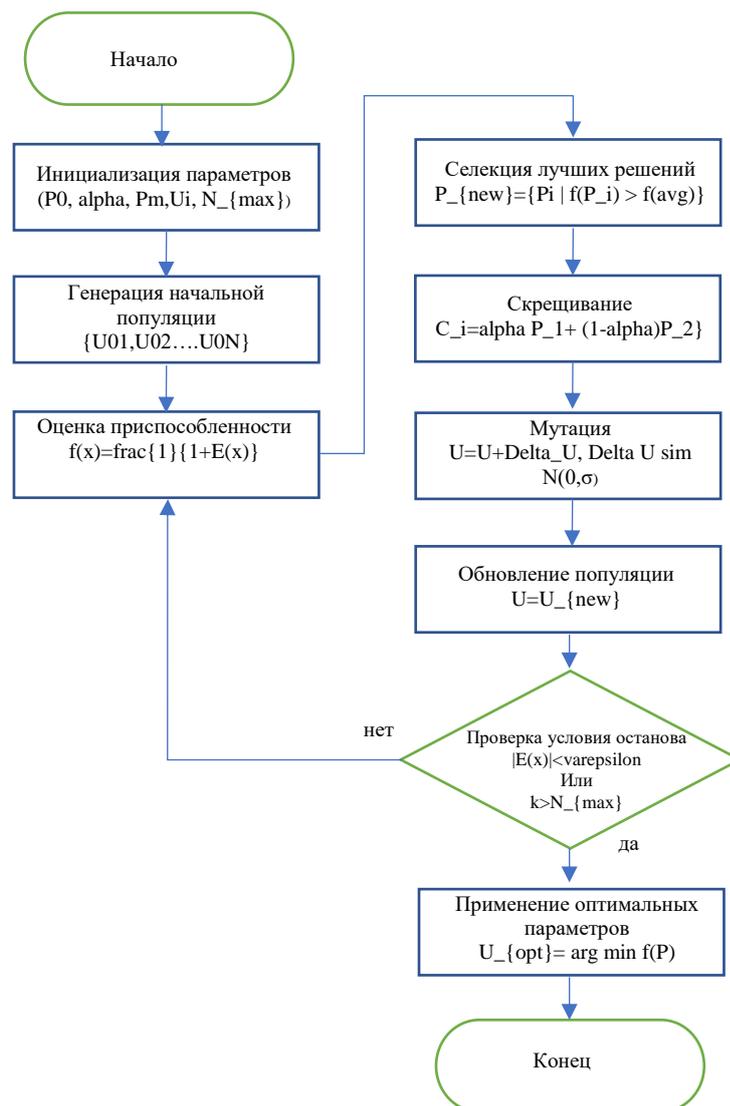


Рис.10. Генетический алгоритм оптимизации по «минимуму потребления активной мощности»

При повторном пуске уже нет необходимости поиска момента строгания двигателя, т.к. это было сделано при первом пуске. Согласно блок - схеме алгоритма процедура передается в блок оптимизации траектории пуска по генетическому алгоритму. Генерация траектории пуска формируется программным кодом в интервале времени $0-t_{start}$. Вычисление потребляемой мгновенной мощности сравнивается с потребленной мощностью при первом пуске. Если есть конкретные отклонения от критерия минимума потребленной мощности, программой вводятся корректировки траектории пуска двигателя. Таким образом, при каждом запуске сравниваются и анализируются полученные величины потребленных мгновенных значений мощности при пуске. Параметры, отвечающие критерию минимума мощности, сохраняются, другие корректируются.

В продолжительном режиме энергоэффективный асинхронный

электропривод работает в режиме «минимум потребляемой активной мощности» по алгоритму представленному на рис. 11

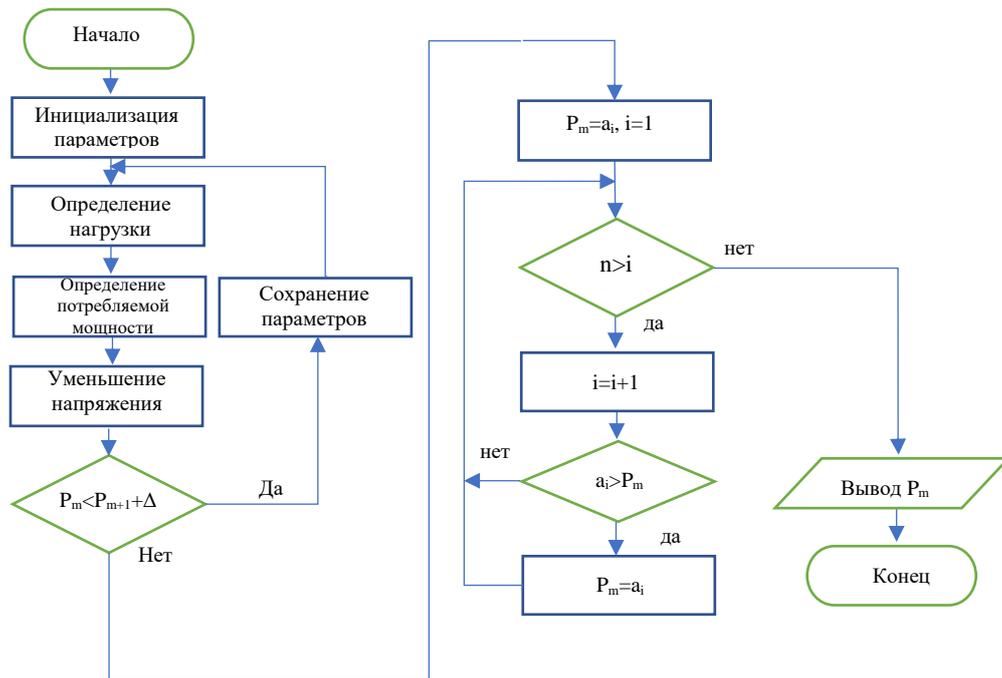


Рис. 11. Блок схема алгоритма реализации критерия «минимум потребляемой мощности»

Рассмотрены варианты реализации критериев «минимизации тока статора»:

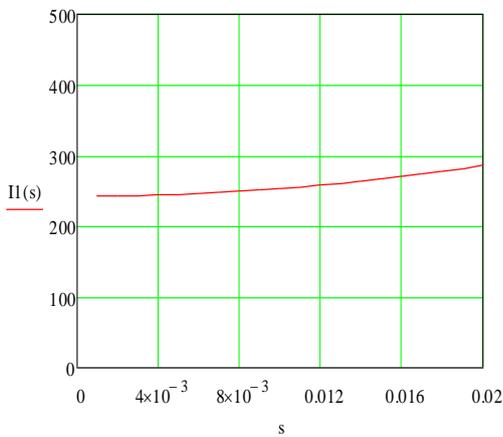


Рис.12. Зависимость тока статора от скольжения

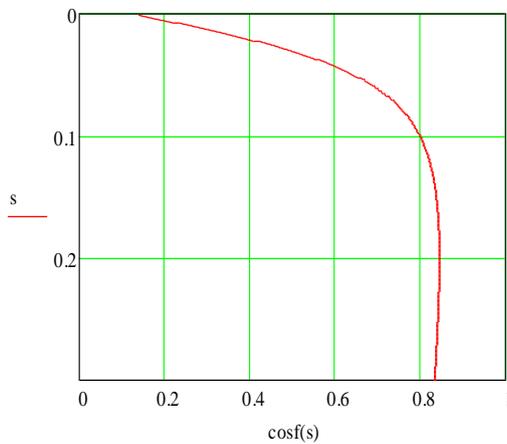


Рис.13. Зависимость cos φ от скольжения

$$I_1 = U_1 \sqrt{\frac{(L_\mu + L_2)^2 \omega_1^2 s^2 + R_2^2}{[\omega_1 s R_1 (L_2 + L_\mu) + \omega_1 R_1 (L_1 + L_\mu)]^2 + [\omega_1 s (L_1 L_2 + L_1 L_\mu) - R_1 R_2]^2}}, \quad (5)$$

Критерий «максимум коэффициента мощности»:

$$\cos \phi'_H = \cos \phi_H \left[\frac{m_\Pi}{(1 - s_H) k_i} + \gamma k_i (1 - \eta_H) \right], \quad (6)$$

Критерий «минимум потребления активной мощности»:

$$P(s) = 3M_{эл} \frac{L_{\mu}^2 \omega_1^2 s R_2 + (L_{\mu} + L_2)^2 \omega_1^2 s^2 R_1 + R_1 R_2^2}{p L_{\mu}^2 \omega_1 s R_2}, \quad (7)$$

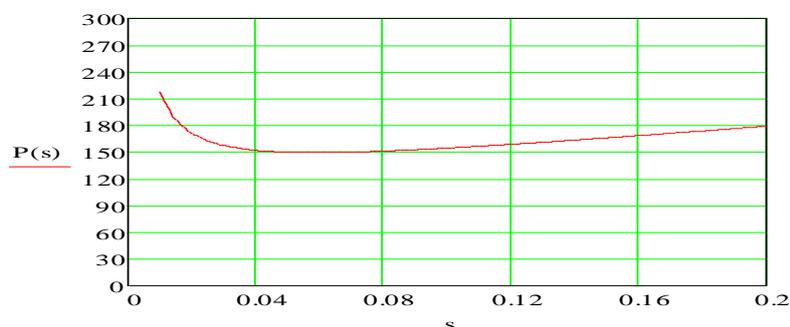


Рис.14. Зависимость потребляемой мощности от скольжения

Исследованы энергетические характеристики асинхронного электродвигателя при различных алгоритмах повышения энергоэффективности. Выявлены наиболее подходящие с точки зрения потребления энергии и видов механизмов. Для рассматриваемого двигателя определены критерии «минимум тока статора» при номинальном моменте 1538 Нм и номинальной скорости 103,35 рад/с, определен «максимум коэффициента мощности», который равен $\cos\varphi = 0.845$ при скольжении равным $s = 0.13$ и в режиме минимум потребления активной мощности есть явно выраженная точка экстремума, где потребление активной составляющей равна 139,46 кВт.

Четвертая глава диссертации «Разработка, промышленное и экспериментальное исследование электропривода по схеме ТРН–АД» посвящена вопросам исследования энергетических показателей в системе ТРН-АД. Рассчитаны потери электрической энергии при пуске двигателя.

Энергия, потребляемая из сети, равна:

$$W_s = \int_0^{T_{ц}} P_{сети} dt \quad (8)$$

где $T_{ц}$ - время цикла технологического процесса.

Энергия потерь определяется:

$$\Delta W = \int_0^{T_{ц}} (P_{сети} - P_{мех}) dt, \quad (9)$$

Сравнительные расчетные данные для режимов пуска с линейным задатчиком и энергоэффективным задатчиком сведены в таблицу 2.

Таблица 2. Сравнительный анализ двух алгоритмов.

Алгоритм	P1, Вт	P2, Вт	Q1, ВАр	Cosφ	КПД
Линейный	155 215	88 178	242 149	0,514	0,56
Генетический	118 921	73 906	241 053	0,500	0,63

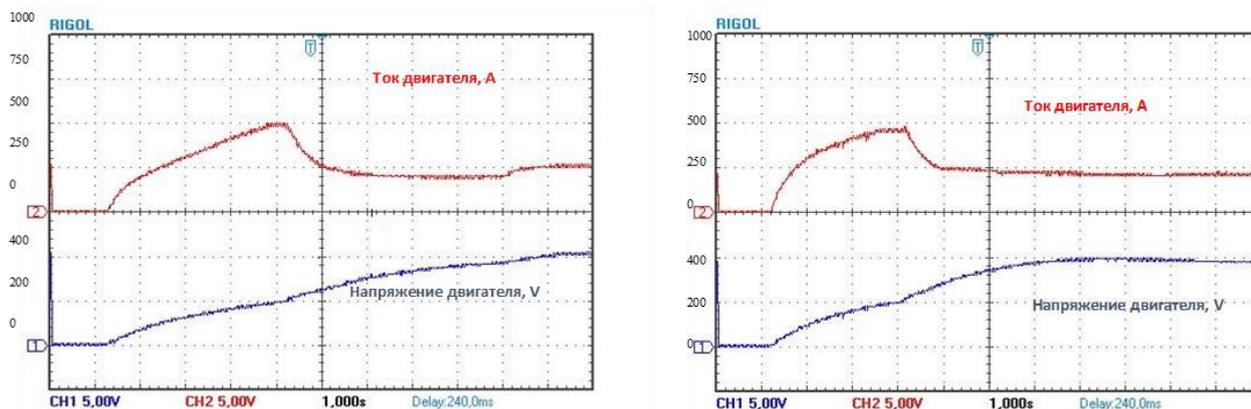


Рис.15. Кривые разгона двигателя до модернизации и после модернизации насосной станции Шават-1

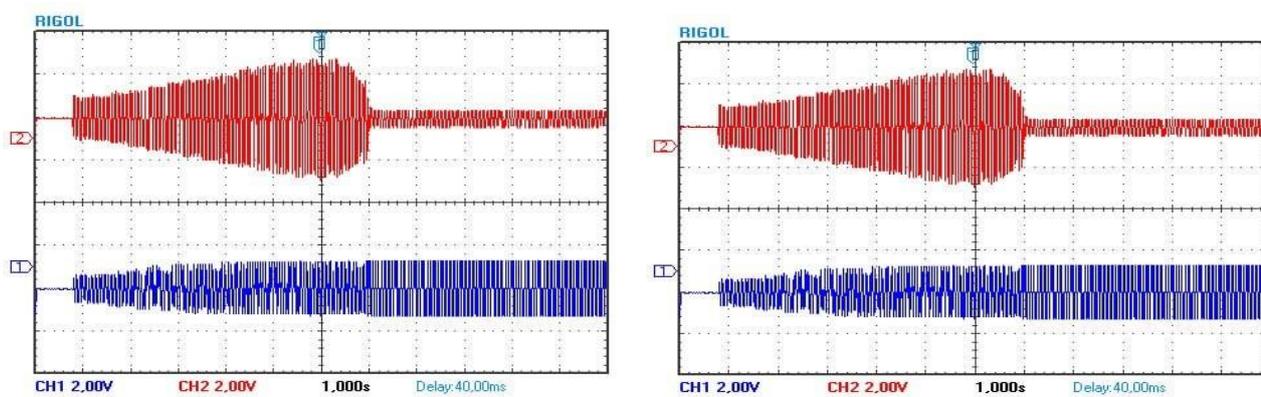


Рис.16. Кривые разгона двигателя до модернизации и после модернизации компрессорной станции АО «ДАЗ»

Из табл. 2 видно, что при различных алгоритмах управления интенсивностью разгона двигателя получаются различные величины в потребляемой мощности, механических и электрических потерях. Различие в потребляемой электродвигателем мощности связано с различной величиной ограничения тока, нарастания напряжения. Следовательно, линейное нарастание напряжения не является оптимальным с точки зрения энергопотребления.

Разработана принципиальная схема управления, основой платы управления является микроконтроллер фирмы ATMEL ATmega 16(32). Заложённая в него программа осуществляет всю логику управления. Все остальные элементы схемы являются вспомогательными. Они либо формируют сигналы (дискретные или аналоговые) на выходы микроконтроллера либо обрабатывают сигналы с его выходов.

Разработанный энергоэффективный асинхронный электропривод прошел испытания на ряде объектов и успешно внедрен на предприятиях Министерства водного хозяйства Республики Узбекистан на насосной станции «Шават-1» Хатирчинского района, общая установленная мощность 2*160 кВт насосных агрегата, прошел испытание и внедрен на производственной площадке АО «Джизакский аккумуляторный завод» на

компрессорной установке подачи воздуха, установленная мощность компрессорной станции 160 кВт, а также проведены испытания на производственных площадках АО «НГМК», мощность асинхронного электропривода колеблется от 55 кВт до 315 кВт.

Насосная станция «Шават-1» территориально находится в Навоийской области в Хатирчинском районе. Введена в эксплуатацию в 1967 году. Относится к оросительной насосной станции, работа сезонная. Насосные агрегаты производства АО «Сувмаш».

Таблица 3. Сравнительная таблица двух устройств.

Схема	Altistart	UMP-2
Время пуска, с	12	9
Пусковой Ток, А	980	820
Потребляемая за пуск мощность, кВт	283,9	239,6
Разница		15 %
$\cos\varphi$	0,82-0,84	0,86-0,89
P1, кВт В продолжительном режиме	107-113	96-100
Разница		11-12%

Таблица 4. Сравнительная таблица двух устройств.

Схема	Время пуска, с	Пусковой тока, А	Потребляемая за пуск мощность, кВт	$\cos\varphi$, Средний за время пуска	Потребление в продолжительном режиме, кВт
CDR	5,3	501	143,6	0,55	143,5
UMP	4,1	470	121,2	0,62	132,3

В табл. 3 и 4 сведены полученные результаты внедрения энергоэффективного асинхронного электропривода.

Сравнительный анализ пуска насосного агрегата показывает различие в потребляемом при пуске насосного агрегата при различных алгоритмах плавного пуска асинхронного электродвигателя. При плавном пуске от устройства CDR производства компании Delixi пусковой ток и потребляемая мощность отличается от плавного пуска от устройства UMP на 16%. В табл. 4 приведены различия в числовых эквивалентах.

На производственной площадке АО «ДАЗ» была произведена замена вышедшего из строя устройства плавного пуска Altistar 46C32 мощностью 160 кВт, для привода компрессора марки SSR-EP с номинальными параметрами P=7 атм, расход Q=30 м³/мин, на отечественное устройство мягкого пуска типа UMP мощностью 160 кВт.

Внедренное устройство UMP (устройство мягкого пуска) осуществляет запуск асинхронного электродвигателя мощностью 160 кВт в режиме максимального КПД. Характерной особенностью запуска является мягкий безударный пуск, пусковой ток асинхронного двигателя уменьшился по сравнению с пуском от Altistar 46 на 13-15%, и составил 820 А. Время пуска сократилось на 3,1 секунды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам проведенных научно–исследовательских работ по диссертационной работе на тему **«Энергоэффективный асинхронный электропривод для механизмов непрерывного и циклического действия»** получены следующие результаты:

1. На основе изучения режимов работы асинхронных электроприводов, анализа работы зарубежных аналогов и изучения зарубежной литературы, обоснована необходимость в усовершенствовании систем управления электроприводами.

2. Разработаны алгоритмы управления асинхронными электроприводами на основе генетического алгоритма поиска наилучшей траектории запуска асинхронного электродвигателя в режиме «минимум потребления активной электрической энергии из сети». Благодаря применению данного генетического алгоритма управления достигнуто уменьшение потребления электрической энергии из сети при пуске двигателя на 15-16 %.

3. Улучшена методика и алгоритм определения напряжения асинхронного электродвигателя в продолжительном режиме по критерию «Минимум потребления активной электрической энергии из сети», позволяющему снизить потребление электрической энергии на 7,8-12 % .

4. Промышленные испытания энергоэффективного устройства плавного пуска и регулирования, проходившие с 2013 года и в рамках проекта №14/17 от 19.03.2017 (Ташкентский государственный технический университет и Навоийский горно-металлургический комбинат), а также №02-1800юр от 7.06.2016 (Ташкентский государственный технический университет и Алмалыкский горно-металлургический комбинат) подтвердили работоспособность и соответствие требованиям технологии и эксплуатации в промышленных условиях на механизмах непрерывного и циклического действия. Получен серийный сертификат на производство энергоэффективных устройств плавного пуска для асинхронных электроприводов на основе технического стандарта Республики Узбекистан Ts 23421885-002:2018.

5. Разработана схема управления асинхронными электроприводами с улучшенными энергетическими показателями, по сравнению с аналогичными устройствами, и получена правовая охрана в виде патента на изобретения со стороны Агентства по интеллектуальной собственности при Министерстве юстиции Республики Узбекистан. (№ IAP 7649).

6. В результате внедрения энергоэффективного асинхронного электропривода на объекте Министерства водного хозяйства насосной станции «Шават-1» общей мощностью 320 кВт, получены экономический эффект на сумму 200,6 млн сум, а на производственной площадке АО «ДАЗ» с экономическим эффектом на сумму 195,8 млн сум для асинхронного электропривода компрессора мощностью 160 кВт.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
DSC.03 /10.12.2019.T.03.03 AT TASHKENT STATE TECHNICAL
UNIVERSITY NAMED AFTER ISLAM KARIMOV**

**TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY
NAMED AFTER ISLAM KARIMOV**

SHAMIYEV MURAT FIXRATOVICH

**ENERGY-EFFICIENT ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE FOR
CONTINUOUS AND CYCLIC MECHANISMS**

**05.05.02- Electrical engineering. Electric power stations, systems.
Electrotechnical complexes and installations**

**ABSTRACT OF THE DISSERTATION FOR THE DEGREE OF
DOCTOR OF PHILOSOPHY (PHD) IN TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent – 2025

The topic of the dissertation for the Degree of Doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences has been registered with the number B2022.3.PhD/T3147 in the Supreme Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science and Innovations.

The dissertation has been prepared at Tashkent State Technical University.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (uzbek, russian and english (resume)) on the website (www.tdtu.uz) and on the website of «ZiyoNet» Information and education portal (www.ziynet.uz).

Scientific supervisor: **Pulatov Abror Obidovich**
Doctor of Philosophy of technical sciences (PhD),
Associate Professor

Official opponents: **Bobojonov Mahsud Kalandarovich**
Doctor of technical sciences, professor

Ishnazarov Oybek Hayrullayevich
Doctor of technical sciences, professor

Leading organization: **Tashkent State Transport University**

The defense of dissertation will take place on "___" _____ 2025 at ___ o'clock at a meeting of the Scientific council No. DSc.03/10.12.2019.T.03.03 under Tashkent State Technical University. Address: 100095, Tashkent, Universitet st., 2. Tel./fax: (99871) 246-46-00; fax: (99871) 227-10-32, e-mail: tstu_info@tdtu.uz.

The doctoral dissertation can be reviewed at the Information-resource center of Tashkent State Technical University (is registered number No___). Address: 100095, Tashkent, Universitet st., 2. Tel.: (99871) 227-03-41.

Abstract of the dissertation sent out on "___" _____ 2025
(Protocol of the delivery No ___ dated "___" _____ 2025)

K.R. Allaev
Chairman of Scientific Council
on awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor Academician

I.U. Rahmonov
Scientific secretary of scientific council
on awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor

T.Sh. Gayibov
Chairman of scientific seminar under scientific council
for awarding scientific degrees
Doctor of Technical Sciences, Professor

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

Relevance and necessity of the dissertation topic. Worldwide, increasing the energy efficiency of automated electric drives for continuous and cyclic mechanisms in industrial enterprises is one of the relevant areas, with special attention being paid to the smooth start and stop of pumps, fans, compressors and other industrial mechanisms, limiting dynamic shocks and current surges. Currently, in many developed countries, "... over the past decade, the energy intensity of industry in Western Europe and Japan has decreased by 1.6-1.8 times, and in the United States - by more than half. According to the latest data from international energy agencies, the introduction of energy-saving technologies is expected to reduce the energy intensity of industry in Western Europe by 35% by 2030, and in the United States by 25% by 2035 ..." In this regard, special attention is being paid to the development of closed-loop control systems for automated asynchronous electric drives according to the TVR scheme – AD (thyristor voltage regulator - asynchronous electric motor), the study of the features of the mathematical model TVR-AD for assessing the state of dynamic objects, the development of an algorithm that minimizes the consumption of electricity from the grid during start-up and long-term operation.

In the world scientific research is underway to create energy-efficient asynchronous electric drives that reduce active power consumption and save energy and resources by ensuring the optimal voltage applied to asynchronous electric drives in continuous and periodic motion mechanisms. Research in this area is considered a priority, including on the basis of introducing boundary conditions for start-up time and current into a mathematical model that makes it possible to study the dynamic modes of an asynchronous electric motor at various voltage shapes and values. At the same time, an urgent task is the need to ensure minimum active power consumption in conditions of changing the starting current of an asynchronous electric motor in cyclic modes, the development of control methods and algorithms using a genetic algorithm, as well as an automated control system that provides high efficiency values taking into account the static load on the shaft of an asynchronous electric motor in continuous modes.

The purpose of the study. Develop and implement an energy-efficient asynchronous electric drive for mechanisms with continuous and cyclic action based on a genetic soft starting and control algorithm.

Research objectives:

analyzing the problem of constructing closed-circuit control systems for electric drives according to the thyristor voltage regulator - asynchronous electric drive scheme;

investigation of the features of creating a mathematical model of an asynchronous electric drive with a thyristor voltage regulator for assessing the dynamic state of objects;

development of an algorithm with minimal consumption of electrical energy from the grid during start-up and in continuous operation;

conducting a health check of the developed energy-efficient asynchronous

electric drive according to the thyristor voltage regulator- asynchronous electric motor scheme at facilities and production sites.

The object is an automated asynchronous electric drive of general industrial mechanisms according to the scheme of a thyristor voltage regulator asynchronous electric motor at the production site of "Jizzakh battery factory" Joint-Stock Company, the Shavat-1 Pumping Station and "Navoi Mining and Metallurgical Company" Joint-Stock Company facilities.

The subject is the change of the electric power consumed from the power station by the asynchronous electric drive during start-up and long-term operation of the control process according to a special algorithm of the value of the phase voltage supplied to the engine.

Research methods. In the research process, the methods of the theory of electric machines and electric drive, differential and integral calculi, artificial intelligence were used. The studies were conducted in Matlab/Simulink, Mathcad software environments.

The scientific novelty of the research is:

an energy-efficient asynchronous electric drive has been developed, which makes it possible to reduce active power consumption and save electricity and resources by ensuring the optimal voltage applied to the asynchronous electric drive;

a control method and algorithm using a genetic algorithm have been developed to ensure minimal active power consumption under conditions of changing inrush current when starting an asynchronous electric motor.;

a mathematical model has been improved that makes it possible to study the dynamic modes of an asynchronous electric motor at various voltage shapes and values by introducing boundary conditions for start-up time and current;

an automated control system has been developed that provides high efficiency values due to effective voltage regulation, taking into account the static load on the shaft of an asynchronous electric drive.

The scope and structure of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of literature used and appendices. The volume of the dissertation is 120 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; I part)

1. Хашимов А.А., Мирисаев А.У., Шамиев М.Ф., Асинхронный электропривод. // Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. Патент на изобретение UZ IAP 03521, 21.10.2004.

2. Пулатов А.О., Мирисаев А.У., Мирсаидов У.М., Шамиев М.Ф., Асинхронный электропривод. Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. Патент на изобретение UZ IAP 7649, 19.03.2024.

3. Хашимов А.А., Шамиев М.Ф. Повышение энергетической эффективности работы насосной установки с микропроцессорным управлением. // Журнал «Вопросы информатики и энергетики в Узбекистане». – Ташкент, 2002.- №3. - С. 70-75. (05.00.00 №5).

4. Хашимов А.А., Мирисаев А.У., Шамиев М.Ф. Asynchronous motor with optimal controlling. // Журнал «Энергия ва ресурс тежаш муаммолари».- Ташкент, 2003. -№3-4. - С. 44-46. (05.00.00 №21).

5. Халиков У.Р., Артыков С.З., Шамиев М.Ф. Оптимизация алгоритмов векторного управления асинхронным двигателем при больших скоростях. // Журнал «Ўзбекистон кончилик хабарномаси».- Ташкент, 2015. -№2(61). - С. 112-115. (05.00.00 №7).

6. Хашимов А.А., Халиков У.Р., Шамиев М.Ф. Энергосберегающее устройство для электропривода высокоинерционного вентиляторного механизма. // Журнал «Ўзбекистон кончилик хабарномаси».- Ташкент, 2018.- №3(74). - С. 96-98. (05.00.00 №7).

7. Пулатов А.О., Мирсаидов У.М., Шамиев М.Ф. Энергоэффективное ресурсосберегающее устройство плавного пуска для асинхронных электроприводов. // Журнал «Проблемы энерго- и ресурсосбережения». Ташкент, 2022. -№41 спец. Выпуск - С. 209-214. (05.00.00 №21).

8. Pulatov A., Mirsaidov U., Shamiyev M. Software for Control, Account and Rational Use of Groundwater Using an Automated Asynchronous Electric Drive for Weep Holes. // European Science Review № 9-10 2022 (ISSN 2310-5577) the article (<https://doi.org/10.29013/ESR-21-9.10-24-28>) 30.11.2022 С. 24-28.

9. Пулатов А.О., Мирисаев А.У., Шамиев М.Ф. Влияние пуска асинхронных двигателей на питающую сеть и его отрицательные последствия. // «Кончилик машиналари ва технологиялари» журналы. - Ташкент, 2023, -№4(6). - С.77-82. (05.00.00 “Кончилик машиналари ва технологиялари” илмий-техник журналы Олий аттестация комиссияси Раёсатининг 2023 йил 3 июндаги № 338/5-сон қарори).

10. Guoping Wang, Hao Chen, Fengyuan Yu, Wenju Yan, Xing Wang, Mohamed Benbouzid, Adriano de A. Bresolin, Miguel Pablo Aguirre, Hossein

Torkaman, , Yokub Tairov, Murat Shamiev «Design, Analysis, and Comparison of a Novel Axial Flux Modular-double-stator Hybrid Excitation SRM»IEEE Transactions on Transportation Electrification, 2024, 10(3), С. 6100–6114.

II бўлим (Часть II; PartII)

11. Abdullabekov I.A.; Mirsaidov M.M.; Shamiyev M.F.; Xudayarov M. B. Umumiy bosim quvuriga ishlovchi nasos agregatlarini quvurdagi bosimni barqarorliginida'minlovchi avtomatik boshqaruv dasturi. //Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство DGU №20172 08.11.2022.

12. Shamiyev M.F., Pulatov A.O., Mirsaidov U.M., Nazarov A.Sh, Программа для мониторинга, контроля и управления асинхронными электрическими приводами. //Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство DGU №20916 08.12.2022.

13. Shamiyev M.F. Компьютерная программа для расчета плавного пуска асинхронного электродвигателя с максимальными коэффициентом полезного действия. //Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство DGU №20091 12.11.2022.

14. Хашимов А.А., Шамиев М.Ф. Исследование режимов работы электропривода насосной установки с микропроцессорным управлением.//Журнал «TEKNICA YULDUZLARI».Ташкент, 2001.- №1.- С.65-69.

15. Хашимов А.А., Мирисаев А.У., Шамиев М.Ф. New energy saving electrical drive. // «Энергия ва ресурсларни тежаш муаммолари», Халқаро илмий –техникавий ва аммалий анжумани, Тезислар туплами. Тошкент, 2003.-№1.- С.154-156.

16. Хашимов А.А., Мирисаев А.У., Шамиев М.Ф. Energy saving technologies on the base of automation ac electrical drives. // «Energy saving technologies and environment» «Энергосберегающие технологии и окружающая среда». Proceedings of the international conference, 29-31 March 2004, Irkutsk. - С.35-39.

17. Хашимов А.А., Мирисаев А.У., Шамиев М.Ф. New energy saving drive systems. // Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion. SPEEDAM June 16-18 2004, Capri, Italy. PP. 540-543.

18. Хашимов А.А., Хуснутдинов А.М., Шамиев М.Ф. Повышение Энергоэффективности промышленных установок и технологических машин. // Андижан, 19-20 апреля 2012. Сборник международной научно-практической конференции «Современные материалы, техника и технологии в машиностроении». - С.169-172.

19. Пулатов А.О., Шамиев М.Ф. Энергосберегающий асинхронный электропривод для механизмов непрерывного и циклического действия. // «Использование новых видов альтернативных источников энергии инновационные решения и энергосбережение при их использовании». Научно-техническая конференция. Андижан, 29 апрель 2022. - С. 475-476.

20. Пулатов А.О., Мирsaidов У.М., Шамиев М.Ф. Энергоэффективное ресурсосберегающее устройство плавного пуска для асинхронных электроприводов. // Международная научно техническая конференция. -

«Актуальные вопросы энергоэффективности автоматизированных электромеханических и электротехнологических систем», Ташкент, 3-4 марта 2022. - С. 85-88.

21. Pulatov A., Shamiev M. Modeling of an energy efficient asynchronous electric drive in the matlab program and implementation of energy efficient technologies in pumping stations in the city water supply system. // VIII Международная конференция по электромеханике и робототехнике. Санкт Петербург, 18–19 апреля 2023. Сборник докладов «Электропривод, электротехнологии и электрооборудовани». - С. 177-181.

22. Jinfu Liu, Hao Chen, Wenju Yan, Ton Duc Do, Yokub Tairov, Murat Shamiyev, Miguel Pablo Aguirre «An Adaptive Electromagnetic Force Distribution Method Based on a Double-sided Switched Reluctance Linear Motor», 22nd International Symposium on Power Electronics (Ee), Novi Sad, Serbia, 2023, PP. 1-6, <https://doi.org/10.1109/Ee59906.2023.10346203>.

23. Pulatov A., Mirsaidov U., Shamiev M. Energy-efficient asynchronous electric drive as a means of increasing the reliability and energy efficiency of pumping plants in the urban water supply system. // E3S Web of Conferences 390, 06039 (2023) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339006039> AGRITECH-VIII 2023.

24. Mirisaev A., Pulatov A., Shamiev M. The Impact of the Operation of Electric Drives on the Reliability and Energy Efficiency of Power Supply Systems of Industrial Enterprises AIP Conference Proceedings, 2024, 3152(1), 030005

Avtoreferat Toshkent davlat texnika universiteti **“TEXNIKA FANLARI VA INNOVATSIYA”** ilmiy jurnali tahririyatida tahrirdan o‘tkazilib, o‘zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlar o‘zaro mavvofiqlashtirildi.