

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

ANDIJON MASHINASOZLIK INSTITUTI

XAYDAROV XUMOYUN MUXTOR O‘G‘LI

**NASOS QURILMASINING ISH REJIMLARINI TASHQI TA’SIRLAR VA
ENERGIYA SAMARADORLIGINI HISOBGA OLGAN HOLDA
CHASTOTALI ELEKTR YURITMA ORQALI ROSTLASH**

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

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

Toshkent–2025

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

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

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

Xaydarov Xumoyun Muxtor o‘g‘li

Nasos qurilmasining ish rejimlarini tashqi ta’sirlar va energiya samaradorligini hisobga olgan holda chastotali elektr yuritma orqali rostdash 3

Хайдаров Хумоюн Мухтор угли

Регулировка режимов работы насосного устройства с помощью частотного электрического привода с учетом внешних воздействий и энергоэффективности 21

Khaydarov Khumoyun Mukhtor ugli

Adjustment of the operating modes of the pumping device using a frequency electric drive, taking into account external influences and energy efficiency 41

E‘lon qilingan ishlar ro‘uxati

Список опубликованных работ
List of published works 45

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

ANDIJON MASHINASOZLIK INSTITUTI

XAYDAROV XUMOYUN MUXTOR O‘G‘LI

**NASOS QURILMASINING ISH REJIMLARINI TASHQI TA’SIRLAR VA
ENERGIYA SAMARADORLIGINI HISOBGA OLGAN HOLDA
CHASTOTALI ELEKTR YURITMA ORQALI ROSTLASH**

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

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

Toshkent–2025

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O‘zbekiston Respublikasi Oliy ta’lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2022.4.PhD/T3326 raqam bilan ro‘yxatga olingan.

Dissertatsiya Andijon mashinasozlik institutida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o‘zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasi (www.tstu.uz) va «Ziyonet» axborot-ta’lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar: **Ishnazarov Oybek Xayrilayevich**
texnika fanlari doktori, professor

Rasmiy opponentlar: **Kolesnikov Igor Konstantinovich**
texnika fanlari doktori, professor

Abidov Qudrat G‘ayratovich
texnika fanlari doktori, professor

Yetakchi tashkilot: **Farg‘ona politexnika instituti**

Dissertatsiya himoyasi Toshkent davlat transport universiteti huzuridagi DSc.15/31.08.2022.T.73.07 raqamli Ilmiy kengashning 2025 yil «25» aprel soat 14⁰⁰ dagi majlisida bo‘lib o‘tadi. (Manzil: 100167, Toshkent sh., Temiryo‘lchilar ko‘chasi, 1-uy. Tel.: (99871) 299-00-01; faks: (99871) 293-57-54; e-mail: rektorat@tstu.uz.

Dissertatsiya bilan Toshkent davlat transport universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (236 raqami bilan ro‘yxatga olingan). (100167, Toshkent sh., Temiryo‘lchilar ko‘chasi, 1-uy. Tel.: (99871) 299-00-01; faks: (99871) 293-57-54.

Dissertatsiya avtoreferati 2025 yil « 10 » aprel kuni tarqatildi.
(2025 yil « 1 » aprel dagi № 026 raqamli reyestr bayonnomasi).

R.V. Raximov
Ilmiy darajalar beruvchi
Ilmiy kengash raisi,
t.f.d., professor

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

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

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda energiya tejamkorlik muhim mavzularga aylangan, bu ayniqsa elektr energiyasini iste'molida tejamkorlikning dolzarbligi ortib bormoqda. Energiyadan barqaror va samarali foydalanish zaruriyati butun dunyoda elektr energiyasiga bo'lgan talabning ortib borishi bilan bog'liq. Cheklangan energiya resurslar davrida ishlab chiqarilgan elektr energiyadan tejamkor foydalanish zamon talabiga aylandi. Dunyo bo'yicha ishlab chiqarilgan elektr energiyaning qariyb 65% ulushi asinxron motorlarda iste'mol qilinadi, shulardan 95% rostanmaydigan asinxron motorlarga hissasiga to'g'ri keladi. Nasos agregatlarida qo'llaniladigan asinxron motorlar ulushi esa qariyb 33% ni tashkil etadi. Shuni hisobga olgan holda, nasos agregatlarida qo'llaniluvchi asinxron motorlarda erishilgan energiya tejamkorlikning umumiy ta'siri sezilarli bo'lib, katta miqdorda elektr enegiyasi, shu bilan birga tabiiy gaz singari birlamchi energiya resurslar sarfini ham kamaytiradi. Shu sababli, nasos agregatlarida qo'llaniluvchi asinxron motorlarda energiya tejamkorlik va energiya samaradorlik bo'yicha qator ilmiy izlanishlar butun dunyo bo'yicha keng olib borilmoqda.

Jahonda sanoat korxonalarida texnologik suv ta'minot tizimlarida qo'llaniluvchi nasos qurilmalarining energiya samaradorligini oshirish uchun energiya tejamkor ish rejimlarini o'rganish, nasos agregatlarini chastota o'zgartirgichlar orqali boshqarishni joriy etish, texnologik jarayonda mavjud tashqi omillarning o'zgarishiga moslashgan holda nasos ish rejimlarini boshqarish, ishga tushirish va ishchi rejimlarida asinxron elektr yuritmaning elektromexanik tavsiflarini tadqiq qilish, nasos agregatining tashqi omillarga moslashgan holda boshqariladigan samarali ish rejimlarini o'rganish, shuningdek elektr energiya iste'molini boshqarish jarayonida texnik omillarning kompleks ta'sirini aniqlash masalalariga qaratilgan tadqiqotlar olib borilmoqda. Ushbu yo'nalishda jumladan, energiya tejamkorlikni ta'minlashga imkon beruvchi zamonaviy usullar, ya'ni tashqi omillarni o'zgarishini inobatga olgan holda nasosning chastotali rostanuvchi elektr yuritmasi asosida nasos agregatlarining energiya tejamkor ish rejimlarini ishlab chiqish dolzarb vazifalardan hisoblanadi.

Respublikamizda nasos agregatlarida qo'llaniluvchi uch fazali asinxron motorlarda energiya tejamkorlik chora-tadbirlari keng miqyosda amalga oshirilmoqda. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning Taraqqiyot strategiyasidagi "Sanoat tarmoqlarida yo'qotishlarni kamaytirish va resurslarni ishlatish samaradorligini oshirish bo'yicha "Yashil iqtisodiyot"ga o'tish va energiya tejamkorligini ta'minlash dasturi" vazifalarini amalga oshirish belgilangan¹, 2024-yil 14-iyul PQ-222-son Qaroriga asosan respublikamizning barcha viloyat va shaharlarida ishlab chiqarish sohalarida hududlar miqyosida joylashishidan kelib chiqqan holda, elektr energiya sarfini 10% ga kamaytirish² chora tadbirlari to'g'risidagi, keltirilgan vazifalarni bajarishda nasos

¹ O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023 yil 11-sentyabrdagi PF-158-son "O'zbekiston 2030-Strategiyasi to'g'risida" gi Farmoni.

² 2024-yil 14-iyul PQ-222-son Qaroriga asosan respublikamizning barcha viloyat va shaharlarida hududlar miqyosida elektr energiya sarfini 10% ga kamaytirish

agregatlarida qo‘llaniluvchi uch fazali asinxron motorlarda energiya tejamkorlikka erishish muhim masalalardan hisoblanadi.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-2030-yillarga mo‘ljallangan Harakatlar Strategiyasining PF-158-son 52-iqtisodiyot va sanoat tarmoqlarini uzluksiz energiya bilan ta‘minlash, 57-raqamli texnologiyalarni joriy etish, O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 27-martdagi PQ-4249-sonli “O‘zbekiston Respublikasida elektr energetika tarmog‘ini yanada rivojlantirish va isloh qilish strategiyasi to‘g‘risida” gi va 2019-yil 22-avgustdagi PQ-4422-son “Iqtisodiyot tarmoqlari va ijtimoiy sohaning energiya samaradorligini oshirish, energiya tejoychi texnologiyalarni joriy etish va qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirishning tezkor chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi Qarorlari ijrosini ta‘minlashda va mazkur faoliyatga tegishli boshqa me‘yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining II. «Energetika, energiya va resurslar tejamkorligi» ustuvor yo‘nalishi doirasida bajarilgan.

Muammoning o‘rganilganlik darajasi. Nasos agregatlarida uch fazali asinxron motorlar energiya tejamkorlik masalalari asinxron motorning statik va dinamik ish rejimlari, rostlanmaydigan va rostlanuvchan asinxron motorlari ish rejimlari, ularning matematik modellari, chastota o‘zgartgich qo‘llashdagi asinxron motor ish rejimlari va xarakteristikalarini o‘zgarishlari, tashqi ta‘sirlar va energiya samaradorlikni turli xil holatlarida nasos agregati ish unumdorligi hamda uch fazali asinxron motorning ish samaradorligiga ta‘siri o‘rganishni talab etadi. Shu maqsadda nasos agregatlarida qo‘llaniluvchi uch fazali asinxron motorlarda chastota o‘zgartkichlar qo‘llash orqali energiya tejamkorlikka erishish ustida ilmiy va amaliy tadqiqotlar o‘tkazilmoqda.

Nasos agregatlarida qo‘llaniluvchi uch fazali asinxron motorlarda chastota o‘zgartgich qo‘llash orqali rostlash va shu bilan energiya tejamkorlikka erishishga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar jahonning yetakchi ilmiy markazlari va ko‘pgina oliy o‘quv yurtlari jumladan, «MEI» Milliy tadqiqot universiteti (Rossiya), Dresden University of Technology (Germaniya), University of Michigan (AQSh), University of Waterloo (Kanada), Tokyo technology institute (Yaponiya), Polytechnic University of Milan (Italiya), «O‘zbekenergo» AJ Ilmiy-texnika markazi MChJ, O‘zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasining Energetika muammolarini instituti, Toshkent davlat transport univesiteti, Andijon mashinasozlik instituti va boshqa oliy ta‘lim muassasalarida keng qamrovli ilmiy tadqiqot ishlari olib borilmoqda.

Rostlanuvchi elektr yuritma vositalari yordamida energiya tejamkorlikka erishish masalalariga T.M. Ferreira, G.R. Siemon, J. Otterpol, B.S. Ilinskiy, V.V. Moskalenko, G.B. Onishenko, I.Ya. Braslavskiy, B.S. Leznov, Howard E. Jordan, Ali Emadi, Thomas H. Durkin, L. Benny, Kincaid va boshqa olimlarning ishlari bag‘ishlangan.

Chastotaviy boshqariluvchi elektr yuritmalar asosida nasos agregatlari energiya tejamkor ish rejimlarini ishlab chiqish va joriy qilish, elektr dvigatellarning ish rejimlarini optimallashtirish va energetik samaradorligini oshirishga M.Z. Xamudxanov, T.S. Kamalov, R.A. Zaxidov, A.A. Xoshimov, O.Ya. Glovaskiy, N.M. Aripov,

F.A. Xoshimov, Q.G'. Abidov, O.X. Ishnazarov, O.Z. Toirov, A.A. Shavazov kabi mahalliy olimlar katta hissa qo'shdilar. Ushbu tadqiqotlar chastotaviy rostlanuvchi elektr yuritmalar asosida nasos agregatlarini ishga tushirish, melioratsiya va tog'-kon sanoati nasos qurilmalarida ishchi g'ildirak tezligini rostlash hisobiga energiya tejash, nasos stansiyalarining talab qilingan suvni grafik bo'yicha ko'tarib berishni mukammallashtirish bilan bog'liq. Biroq, sezilarli muvaffaqiyatlarga qaramay, nasos qurilmasining ish rejimlarini tashqi ta'sirlar va energiya samaradorligini hisobga olgan holda chastotali elektr yuritma orqali rostlash holatlari yetarli darajada o'rganilmagan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Andijon mashinasozlik institutining quyidagi xo'jalik korxonalari bilan tuzilgan "Korxonalarda energoaudit tekshiruvlarni olib borish" shartnomalari bo'yicha № 2017-19 "SING LIDA" MCHJ portlandsement ishlab chiqarish korxonasi, № 2019-19 "EVRO EKFIN" MCHJ sutni qayta ishlash korxonasi, № 2020-19 "Andijon Biokimyo Zavodi" AJ larda ilmiy-tadqiqot ishlari doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi: sanoat korxonalari texnologik jarayonlarida qo'llaniluvchi chastotali rostlanadigan nasos qurilmasini samaradorligini oshirish maqsadida tashqi ta'sirlarni inobatga olgan holda boshqarish algoritmlarini ishlab chiqish va usullarini takomillashtirishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

- sanoat korxonalari texnologik jarayonlarida qo'llaniladigan chastota o'zgartgichli asinxron elektr yuritmalari nasos qurilmalarida energiya samaradorlik va energiya tejamkorlik bo'yicha olib borilgan ilmiy-tadqiqot ishlarining adabiyotlar sharhi va tahlilini o'tkazish;

- nasos qurilmasining tashqi ta'sirlar, ish rejimining o'zgaruvchanligi va energiya samaradorligini hisobga oluvchi matematik modelini takomillashtirish asosida nazariy tadqiqotlar o'tkazish;

- nasos qurilmasining ish rejimi ko'rsatkichlarini tashqi ta'sirlar va tizimning o'zgarishiga moslashuvchan holda boshqarish algoritmini ishlab chiqish;

- nasos qurilmasining ish rejimlarini optimallashtirish va rezervuaridagi suv sathini samarali boshqarishga qaratilgan usulni takomillashtirish;

- texnologiya jarayonining talablarini hisobga olgan holda "chastota o'zgartgich-asinxron motor-nasos-quvur-rezervuar" tizimining imitatsion modelini ishlab chiqish hamda tajriba-sinov modeli asosida eksperimentlar o'tkazish.

Tadqiqotning obyekti sifatida tashqi ta'sirlar va energiya samaradorligini hisobga olgan holda chastota o'zgartgich orqali boshqariladigan asinxron elektr yuritmalari nasos qurilmasi.

Tadqiqotning predmeti chastota o'zgartgichli asinxron elektr yuritmalari nasos qurilmasining ish rejimlarini tashqi ta'sirlar va energiya samaradorligini maqbullashtirish sharoitida boshqarish usuli va algoritmi.

Tadqiqotning usullari. Tadqiqot jarayonida uch fazali asinxron motorlarning elektr yuritma nazariyasining va ularni boshqarishning zamonaviy usullari, ularda sodir bo'ladigan statik va dinamik xarakteristikalar, matematik modellashtirishning zamonaviy usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

texnologik jarayonda mavjud bo'lgan tashqi ta'sirlar va ish rejimining o'zgaruvchanligini hisobga olgan holda chastotali rostlanadigan nasos qurilmasini energiya samarador boshqarishga imkon beruvchi matematik model takomillashtirilgan;

chastotali rostlanadigan nasos qurilmasiga tashqi ta'sirlarning omillar analizini olib borish evaziga asosiy tashqi ta'sirlar aniqlanib, ularning o'zgarishiga moslashgan energiya samarador boshqarish algoritmi ishlab chiqilgan;

tashqi ta'sirlar o'zgarishini inobatga olgan holda nasos qurilmasining ish rejimini chastotali rostlash asosida rezervardagi suv sathini boshqarishda energiya tejashni ta'minlashga asoslangan usul takomillashtirilgan;

sanoat korxonasi texnologik jarayonida mavjud tashqi ta'sirlar o'zgaruvchanligini hisobga olgan holda energiya samarodlikni baholashni imkonini beruvchi "chastota o'zgartgich-asinxron motor-nasos-quvur-rezervuar" tizimining imitatsion modeli ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

nasos agregatlaridagi rostlanadigan uch fazali asinxron motorlarning elektr energiyani va suv iste'molini samarali boshqarish uchun tashqi ta'sirlar omillar analizi natijisida 3 ta asosiy ta'sirlar aniqlangan;

suv rezervuaridagi suv balandligiga mos holatda chastota o'zgartgichning rostlash mezonini takomillashtirilgan;

"tashqi ta'sirlarni inobatga olgan holda chastotali rostlanadigan asinxron elektr yuritmalni nasos qurilmasi" tizimi dasturiy ta'minoti yaratilgan;

"tashqi ta'sirlarni inobatga olgan holda chastotali rostlanadigan asinxron elektr yuritmalni nasos qurilmasi" tizimining strukturaviy sxemasi tuzilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchligi. Tadqiqot natijalarining ishonchligi chastota o'zgartgich bilan rostlanuvchi uch fazali asinxron motorlar ishlab chiqilgan matematik modellarni qo'llash, nazariy va eksperimental tadqiqot modellari, statik, dinamik va texnik tavsiflari asosida olingan nazariy va amaliy tadqiqotlar natijalari umumqabul qilingan mezonlar asosida qiyosiy solishtirish orqali izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati nasos stansiyalarini chastotaviy rostlanuvchi elektr yuritmal asosida "tashqi ta'sirlarni inobatga olgan holda chastotali rostlanadigan asinxron elektr yuritmalni nasos qurilmasi" tizimini ishlab chiqish, taklif etilayotgan tizimda kechadigan statik va dinamik tavsiflarni olish hamda tizimning boshqaruv usulini yaratish bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati energiya tejamkorlik va energiya samaradorlikni oshirish uchun nasos agregatlarida "tashqi ta'sirlarni inobatga olgan holda chastotali rostlanadigan asinxron elektr yuritmalni nasos qurilmasi" tizimi asosida unumdorligini hamda elektr energiyani iste'molini samarali boshqarish bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Tashqi ta'sirlarni inobatga olgan holda chastotali rostlanadigan asinxron elektr yuritmalni nasos qurilmasi qo'llanilgan holda boshqariladigan nasos agregatlaridagi uch fazali asinxron motorlarni energiya tejamkor ish rejimlari bo'yicha ilmiy-tadqiqot ishlarining natijalari asosida:

tashqi ta'sirlarni inobatga olgan holda chastotali rostlanadigan asinxron elektr yuritmalari nasos qurilmasi tizimini qo'llanilgan holda boshqariladigan nasos agregatlaridagi uch fazali asinxron motorlarni energiya tejamkor ish rejimlari tizimi "Andijon Biokimyo Zavodi" AJ va EVEREST ASBEST" MChJlarda joriy etilgan (Energetika vazirligining 2024 yil 17 maydagi 04-11-3407–son ma'lumotnomasi). Natijada, texnologik jarayonda qo'llaniladigan nasos qurilmalarini foydalanishda 3 ta tashqi ta'sirni inobatga olgan holda rostlash evaziga chastota o'zgartgich orqali optimal boshqarish imkoniyati yaratilgan;

nasos qurilmasining ish rejimini chastotali rostlash asosida rezervuardagi suv sathini boshqarishda energiya tejashni ta'minlaydigan takomillashtirilgan usul "Andijon Biokimyo Zavodi" AJ va EVEREST ASBEST" MChJlarda joriy etilgan (Energetika vazirligining 2024 yil 17 maydagi 04-11-3407–son ma'lumotnomasi). Natijada, rezervuardagi suv sathini nazorat qilishda tavsiya etilgan 6 ta maqbul diapazonga mos holdagi chastota va kuchlanish orqali asinxron elektr yuritmalari nasos qurilmalarini elektr energiya bilan ta'minlashda korxonalaridagi 110 kW va 45 kWlik nasos agregatlarida energiya tejamkor ish rejimlari qo'llangan holatda yillik samaradorlik ko'rsatkichi 3,1% bo'lib, 153,2 mln.so'm iqtisod qilingan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Dissertatsiya tadqiqotining asosiy natijalari 5 ta xalqaro konferensiyalarda, shundan 2 ta Scopus bazasiga kiritilgan, 5 ta respublika miqyosidagi ilmiy–amaliy konferensiyalarida muhokamadan o'tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Tadqiqot mavzusi bo'yicha jami 8 ta ilmiy ishlar, ulardan 6 ta maqolalar O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi tomonidan tavsiya etilgan jurnallarda, shu jumladan 3 ta xorijiy jurnallarda chop etilgan. 2 ta EHM uchun yaratilgan dasturiy vositalarga O'zR Intelektual mulk agentligi tomonidan qayd qilinganlik guvohnomalari olingan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya kirish, to'rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 119 betni tashkil qiladi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati, tadqiqot maqsadi va vazifalari aniqlangan, tadqiqot ob'yekti va predmeti yoritilgan, tadqiqotning Respublika fan va texnologiyalar taraqqiyotining ustuvor yo'nalishlarga mosligi ko'rsatilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon etilgan, tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ishonchliligi asoslangan, ilmiy tadqiqotlar natijalarining ishlab chiqarishga joriy etish ma'lumotlari olingan, tadqiqot ishining aprobatsiya natijalari, e'loni qilingan ishlar bo'yicha ma'lumotlar va dissertatsiyaning tuzilishi bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan.

"Ishlab chiqarish korxonalarida suv resurslari bilan ta'minlash tizimi va ularda nasos agregatlaridan foydalanish holati" nomli birinchi bobda so'nggi yillarda nasos stansiyalari bo'yicha ilmiy ishlarda amalga oshirilgan tadqiqotlarning tahlillari olib borilgan. Tahlillar natijasida, korxonalarda chastota o'zgartgichli elektr yuritmalarda sezilarli energiya tejamkorlikka erishiladi, lekin buning uchun past chastotalarda ishlashini ta'minlash kerak. Korxonada suv ta'minot tizimida uning

boshqarilishi ma'lum bir qonuniyatiga amal qilish murakkab bo'lib ko'p sonli tashqi ta'sirlar evaziga sodir bo'ladi. Bu o'z o'rnida chastotali boshqaruvning nazariy asosida berilgan tejamkorlik darajasiga erishishga to'sqinlik qiladi. Bu orqali moslashuvchan parametrlar orqali chastota o'zgartgichga buyruq berish orqali optimal boshqarish nuqtasi va chegaralarini aniqlash mumkin.

Ushbu tadqiqot ishida korxonalarda xo'jalik shartnomalari bo'yicha olib borilgan enegretik tekshiruvlarida aniqlangan muammolar asosida nasos agregatlaridagi asinxron motorlarning energiya tejamkor ish rejimlarida foydalanish ilmiy-amaliy yechimlari taklif etilgan. Energetik tekshiruvlari "SING LIDA" MCHJ – portlandsement ishlab chiqarish korxonasi, "Andijon Biokimyo Zavodi" AJ – etil spirt ishlab chiqarish korxonasi, "EVRO EKFIN" MCHJ – sut mahsulotlari ishlab chiqarish korxonasi, "KHAN TEX GROUP" MCHJ –tekstil va trikotaj mahsulotlari ishlab chiqaruvchi klasteri korxonalarida 2017-2023- yillar davomida olib borilgan.

Sanoat korxonalarida olib borilgan tadqiqotlardan ma'lum bo'ldiki, suv tizimlarida energiya tejamkorlikni ta'minlash uchun asinxron elektr yuritmalari nasos qurilmalarida o'rnatilgan chastota o'zgartgich qurilmalari kutilgan tejamkorlik natijalarini bermagan. Buning sabablari o'rganilganda esa quyidagilar ma'lum bo'ldi:

- chastota o'zgartgich orqali boshqarish qo'l yordamida amalga oshirilishi;
- iste'molga bog'langan holda kerakli tezlikni rostlanmasligi;
- asosan silliq ishga tushirish uchungina foydalanish;
- talab kam bo'lgan vaqtda ham chastotali rostlanuvchi asinxron elektr yuritmani yuqori chastotalarda foydalanish;
- nasos qurilmasi ish rejimida teskari aloqaning mavjud emasligi;
- nasos qurilmalari ish rejimiga tashqi ta'sirlarni inobatga olmagan holda sozlanishi.

Mazkur bobning davomida aniq tadqiqot olib borilgan joy sifatida "Andijon Biokimyo Zavodi" AJ ning suv ta'minot tizimi tanlab olingan bo'lib, mazkur sanoat korxonasida mahsulot ishlab chiqarishda suv resurslaridan foydalanishning rejimi hamda suv ta'minot tizimida o'rnatilgan nasos agregatlarining texnik parametrlari keltirilgan.

Bobning davomida nasos qurilmalarini boshqarishda keng qo'llaniladigan usullar, ularning afzalliklari va kamchiliklari haqida so'z yuritilgan bo'lib, sanoat korxonalarida suv ta'minotining o'ziga xos jihati hisoblangan statik bosim haqida va uning mazkur boshqarish usullariga ta'siri bayon etilgan. Bob davomida suv tarmoqlari tizimlarida keng qo'llaniladigan boshqarish usullardan nasosning bosim tarmog'ini drossellash, bosim tarmog'idan so'rish tarmog'iga oqimning bir qismini yo'naltirish va markazdan qochma nasos ishchi g'ildiragining aylanish tezligining o'zgartirish kabi turlari atroflicha o'rganilgan holda sanoat korxonalarining suv ta'minoti tizimlari uchun nasos uskunalari ish rejimlarini tartibga solishning optimal usuli chastotali boshqariladigan elektr yuritma orqali ishchi g'ildirakning tezligini o'zgartirishdir, degan xulosaga kelingan.

Katta va kichik nasoslar bilan tajriba o'tkazish natijasida, $Q-H$ bosim xarakteristikalarini olganda, past tezlikda $n \leq (0,1 \div 0,15) n_{nom}$ da nasos suv oqimi va bosimi o'rtasidagi aniq bog'liqlik yo'qolishini va buning o'rniga parabolik egri chiziqning $Q-H$ maydonida nuqtalarning tasodifiy tarqalishi paydo bo'ladi, bu nasos

bosimining uning ta'minotiga bog'liqligini tavsiflay olmaydi. Bu tezlikning nominal qiymatidan juda katta og'ishi bilan ishlaydigan va nominal tezlikda ishlaydigan bir xil nasosning ish rejimlarining gidravlik o'xshashligi sezilarli darajada buzilganligi bilan bog'liq.

Nasos xarakteristikasi hisoblangan $Q-H$ koordinatalarida uning ish nuqtalarining geometrik joyi quvur liniyasining ish xarakteristikasida yotadigan nasosning aylanish tezligini saqlab turish maqsadga muvofiqdir. Nasos va quvur liniyasining aylanish chastotasiga nisbatan bosim xarakteristikasi tenglamasining yechimini birlashtirgan hamda quyidagi ifoda olinadi

$$n = n_{nom} \sqrt{\frac{H_{st}}{H_t} + \left(1 - \frac{H_{st}}{H_t}\right) \left(\frac{Q}{Q_k}\right)^2}, \quad (1)$$

bu yerda H_{st} – bosimning statik tashkil etuvchisi; H_t – nol suv bosimidagi suv ko'tarishning taxminiy balandligi; Q_k – tizim uchun eng katta nasos suv uzatishi; Q – nominal suv uzatishi; n_{nom} – nominal aylanish tezligi.

Bob yakunida hozirda energiya tejamkorligi boshqa usullarga qaraganda yuqori bo'lgan chastota o'zgartgich orqali rostlashda tashqi ta'sirlarni inobatga olmaslik holatida suv ta'minot tizimlarda yetarlicha energiya tejamkorlikka erishib bo'lmashligi ma'lum bo'ldi.

“Tashqi ta'sirlarni inobatga olgan holda chastotali rostlanadigan asinxron elektr yuritmalari nasos qurilmasi tizimini nazariy asoslari” nomli ikkinchi bobning avvalida nasos qurilmalarda qo'llaniladigan chastota o'zgartgichlarga qo'yiladigan talablar o'rganilgan.

Unga ko'ra suv rezervuarlarida suv darajasini avtomatik rostlashda chastota o'zgartgichli asinxron elektr yuritmalarni qo'llash muhim ahamiyatga ega. Bu texnologiya nafaqat nasoslarning samarali ishlashini ta'minlaydi, balki energiya tejamkorligini oshirishga ham xizmat qiladi.

Chastota o'zgartgichlardan esa odatda oddiy suv ta'minoti tizimlari uchun skalyar boshqaruvli yuritmalar afzal ko'riladi. Bobning birinchi qismi ushbu xulosalar olingan bo'lib, unga ko'ra nasos qurilmalarida foydalanish uchun skalyar boshqaruv turi maqbul hisoblanadi va tadqiqotning davomida ushbu boshqaruv usuli tanlagan holda yechim berilgan.

Ushbu tadqiqot chastotali yuritmalarni tanlash va ulardan foydalanish bo'yicha texnik-tashkiliy yechimlarni o'z ichiga oladi, bu esa suv ta'minoti tizimlarining energiya samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

Mazkur bobning keyingi qismlarida chastota o'zgartgich va asinxron motorning matematik modellari keltirilgan bo'lib, unga ko'ra, chastota o'zgartgich va asinxron motor tizimining matematik modelini tuzishda avvalo ushbu chastota o'zgartgich qurilmasini ta'minlaydigan uch fazali elektr tarmog'ini mansub matematik ifodalar keltiriladi.

Keyingi o'rinlarda chastotani o'zgartirgichning matematik modeli tenglamalarini, ya'ni uch fazali to'g'rilagich, to'g'rilangan kuchlanishni filtrlash va uch fazali inverter bitta A faza uchun o'zgaruvchan kuchlanishni hosil qilinishi jarayonining matematik ifodalari keltirib o'tilgan.

Ikkinchi paragraf davomida qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorning dq koordinatalarida tuzilgan matematik tavsifi, aylanuvchi elektromagnit maydon, rotorning aylanish tezliklari burchak tezliklarga bog‘liq holda aniqlash ifodalari keltirib o‘tilgan. So‘ngra sirpanishni hisobga olgan holda asinxron motor hosil qilayotgan elektromagnit moment va aylanish tezliklarini markazdan qochma nasosga ta’siri va unda hosil bo‘luvchi balandlik va unumdorlikning to‘liq matematik ifodalari keltirib o‘tilgan. Keyingi o‘rinlarda ushbu birliklar bilan bir tizimda joy olgan suv rezervuaridagi suv balandligini rostdash masalasi ko‘rib chiqilgan.

Suv darajasini rostdash modeli — har bir suv bakining suv darajasi o‘zgarishi quyidagi tenglama orqali ifodalangan:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{A}, \quad (2)$$

bu yerda h - bakdagi suv darajasi; Q_{in} - nasosdan kirayotgan suv miqdori; Q_{out} - bakdan chiqayotgan suv miqdori (ishlab chiqarish uchun olinadigan suv); A - bakning kesim maydoni.

Daraja datchiklari har bir bak uchun darajani o‘lchab, SCADA yoki PID tizimga signal beradi. Tizim PID orqali nasos tezligini rostdashga imkon beradi.

Tashqi ta’sirlar modeli — ishlab chiqarish jarayonida suv sarfi va kerakli baklarning to‘liq bo‘lishini talab qiladigan o‘zgaruvchilar ham kiradi:

$$Q_{out}(t) = k \cdot D, \quad (3)$$

bu yerda k — ishlab chiqarish jarayonidagi suv sarfi o‘zgarishini ifodalovchi koeffitsiyent; D — ishlab chiqarish davri yoki rejimi.

Suv rezervuari (baki) va suv darajasi datchiklari.

Har bir rezervuar suv darajasini o‘lchaydigan datchiklar bilan jihozlangan bo‘lib, bu datchiklar foiz ko‘rinishida suv miqdorini ko‘rsatadi. Suv darajasi h quyidagicha ifodalanadi:

$$h(t) = \frac{V_{rez}(t)}{V_{rez. max}}, \quad (4)$$

bu yerda $V_{rez}(t)$ - rezervuardagi haqiqiy suv hajmi; $V_{rez. max}$ - rezervuarining maksimal hajmi.

Suv oqimiga qarab, rezervuardagi suv darajasining o‘zgarishi quyidagi tenglama orqali ifodalanadi:

$$\frac{dV_{rez}(t)}{dt} = Q_{in}(t) - Q_{out}(t), \quad (5)$$

bu yerda $Q_{in}(t)$ – rezervuarga kelayotgan suv oqimi; $Q_{out}(t)$ – ishlab chiqarish jarayoniga ketayotgan suv oqimi.

Matematik ifodani funksiyasini chastota o‘zgartgichli elektr yuritma bilan bog‘lash uchun nasosning quvvat iste’molini va suv darajasidagi xatolarni kamaytirishga asoslangan matematik ifodani tuzish mumkin. Quyidagi matematik model misolida chastotali o‘zgartgich orqali boshqariladigan parametrlar asosida energiya samaradorligini oshirishga e’tibor qaratiladi:

$$W = \int_0^M \left(w_1 P(f(t)) + w_2 ((H_i - H_{st}) - H(t))^2 + w_3 (Q_i - Q(t))^2 + w_4 \left(\frac{df(t)}{dt} \right)^2 \right) dt, \quad (6)$$

bu yerda w_1, w_2, w_3, w_4 – mos ravishda quvvat, balandlik, suv uzatish va chastota o‘zgartgichning tajribaviy koeffitsiyentlari; H_i va Q_i – mos ravishda talab etilgan balandlik va suv uzatish qiymatlari; $H(t)$ va $Q(t)$ – mos ravishda t vaqt momentidagi hosil qilinayotgan balandlik va bosim; H_{st} – statik bosim.

$P(f(t)) = M(f(t)) \cdot \omega(f(t))$ - quvvat chastotaga bog‘liq holda hisoblanadi, chunki chastota o‘zgartgich orqali chastota o‘zgartirilganda nasosning momenti $M(f(t))$ va burchak tezligi $\omega(f(t))$ o‘zgaradi.

$\frac{df(t)}{dt}$ – chastotaning o‘zgarish tezligi tashqi ta’sirlarni minimallashtirish uchun matematik modelga qo‘shilgan.

Ushbu tenglamalar tashqi ta’sirlarni inobatga olgan holda chastota o‘zgartgich orqali nasos qurilmasi asinxron elektr yuritmasini matematik tarzda tavsiflash imkonini beradi, bu suv tizimini samarali boshqarishning asosiy jihati hisoblanadi.

Bob yakuni bo‘yicha quyidagicha xulosalar olingan bo‘lib, ular:

Nasos qurilmalarida qo‘llaniladigan chastota o‘zgartgich qurilmasiga qo‘yiladigan talablarni aniqlashtirish davomida faqatgina asinxron motor va nasos qurilmasi texnik parametrlarini hisobga olish bilan cheklanib qolmay, ushbu tizimda mavjud tashqi ta’sirlar va energiya samaradorlik asosidagi ish rejimlarga ham muvofiqligi inobatga olinishi zarurligi aniqlandi;

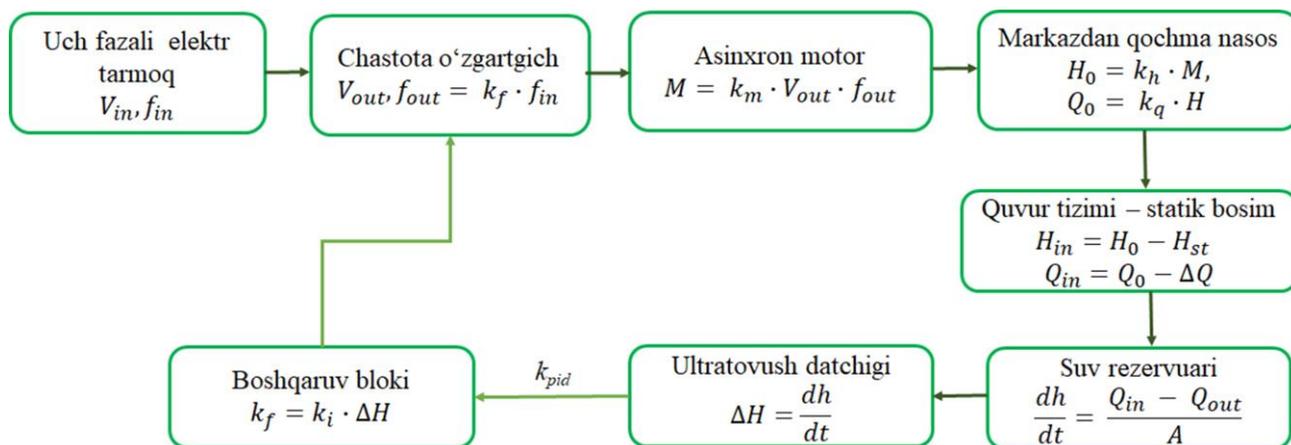
Sanoat korxonalari suv ta’minot tizimlaridagi nasos qurilmalar ish rejimlariga va uning energiya samaradorligiga ta’sir etuvchi tashqi ta’sirlar–ishlab chiqarish jarayonida suv resursiga bo‘lgan talabning o‘zgarishi ekanligi aniqlanib, bunda ushbu o‘zgarishlar vaqtida chastotali rostlanuvchi asinxron elektr yuritmada energiya iste’molini minimallashtirish evaziga suv ta’minotini boshqarish usulining matematik ifodalari taklif etildi;

Tashqi ta’sirlar va energiya samaradorligini hisobga olgan holda chastotali elektr yuritma orqali rostlashda mavjud chastota o‘zgartgich, asinxron motor, nasos qurilmasi kabi suv ta’minot tizimlarining mavjud matematik modellari ushbu qurilmalar joylashgan suv ta’minot tizimining tashqi ta’sirlarini uning ish rejimiga bog‘liqligi va undagi energiya tejankorlikni ta’minlash mezonini asosida takomillashtirildi.

“Tashqi ta’sirlarni inobatga olgan holda chastotali rostlanadigan asinxron elektr yuritmalari nasos qurilmasi tizimini amaliy asoslash” nomli uchinchi bobda mazkur tizimni funksional va strukturaviy sxemalari, boshqarish va rostlash algoritmlari, boshqarish metodi va statik ish rejimlari tadqiq etilgan.

Nasos agregatida “tashqi ta’sirlarni inobatga olgan holda chastotali rostlanadigan asinxron elektr yuritmalari nasos qurilmasi” tizimi energiya samarali boshqaruvni ta’minlashda axborot-o‘lchov qurilmalarining o‘rni muhim bo‘lib, ularning ishlashi va bog‘liklarini tavsiflash zarur. Bunda asosiy o‘zgarishlar va ma’lumot olish ultratovushli datchikda amalga oshirilgan. Shuning uchun quyida mazkur qurilmalarning strukturaviy sxemalari va o‘tkazish funksiyalarini ko‘rib chiqilgan.

Ushbu umumiy strukturaviy sxemada asosiy bog‘liqliklar inobatga olingan holda ishlab chiqilgan hamda tashqi ta’sirlarni inobatga olgan holda chastotali rostlanadigan asinxron elektr yuritmalari nasos qurilmasi tizimining algoritmi va avtomatik boshqaruv tizimini yaratishda asos bo‘lib xizmat qiladi.



1-rasm. Tashqi ta'sirlarni inobatga olgan holda chastotali rostlanadigan asinxron elektr yuritmalni nasos qurilmasi tizimining strukturaviy sxemasi

Tashqi ta'sirlarni inobatga olgan holda chastotali rostlanadigan asinxron elektr yuritmalni nasos qurilmasi tizimining algoritmini yaratishdan maqsadni aniq belgilab olish zarur bo'lib, mazkur algoritm – suv rezervuaridagi suv darajasini kerakli balandlikda ushlab turish bilan birga energiya sarfini minimallashtirish talablariga javob berishi kerak. Bu algoritm energiya, balandlik farqi va chastotaning o'zgarish tezligini hisobga oladigan qiymat funksiyasiga asoslanadi.

Algoritmning afzalliklari quyidagicha:

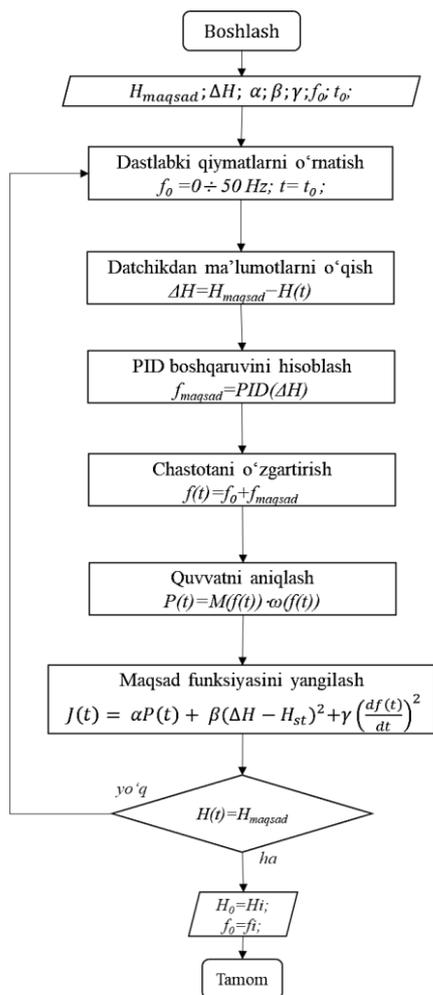
- Energiya samaradorligi: $W(t)$ ni minimallashtirish orqali quvvat sarfi kamaytiriladi;
- Barqaror boshqaruv: PID boshqaruv yordamida suv darajasi aniq boshqariladi;
- Silliq ishlash: Chastotani asta-sekin o'zgartirish mexanik qismlarga zarar yetkazmasdan ishlashni ta'minlaydi;
- Dinamik moslashuv: Suv talabiga mos ravishda chastota o'zgartiriladi va ortiqcha energiya sarfi paydo bo'lishiga yo'l qo'yilmaydi.

Algoritm asosida suv balandligiga mos holatda energiya tejamkor ish rejimi ta'minlanadi.

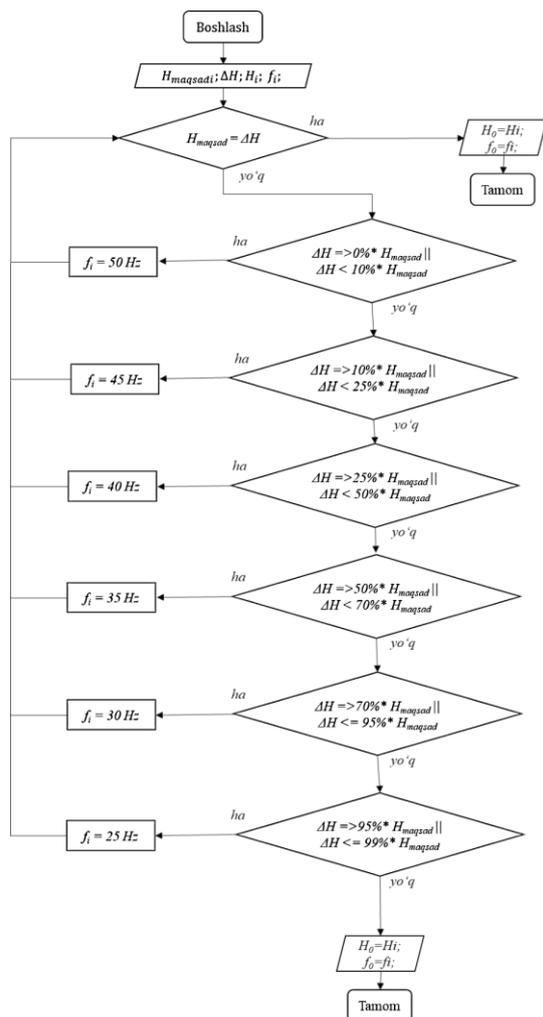
Quyida suv datchikdan olingan axborotni boshqaruv blokiga uzatilib, mos ravishda maqsadli bosimni ta'minlash uchun amallar ketma-ketligini ifodalovchi algoritmni tuzilgan.

Ushbu algoritm suv rezervuaridagi suv balandligini aniqlash va suv sathiga qarab chastotani avtomatik ravishda boshqarish vazifasini bajaradi. Bu maqsadda suv balandligini kuzatish uchun ultratovushli datchik, boshqaruv signalini uzatish uchun PID nazorat va nasos dvigatelinig aylanish tezligini moslashtirish uchun chastota o'zgartirgich ishlatiladi.

Algoritmning ishlash tizimi – algoritm suv rezervuaridagi amaldagi suv sathini kuzatib boradi va suv sathi kerakli qiymatdan og'ishiga qarab nasos tezligini moslashtiradi.



2-rasm. Tashqi ta'sirlarni inobatga olgan holda chastotali rostlanadigan asinxron elektr yuritmalni nasos qurilmasi tizimining algoritmi



3-rasm. Suv balandligiga mos holda chastota o'zgartirishda kerakli chastotani tanlash algoritmi

Chastotalar oralig'i va maqsadlari quyidagi tartibda amalga oshiriladi.

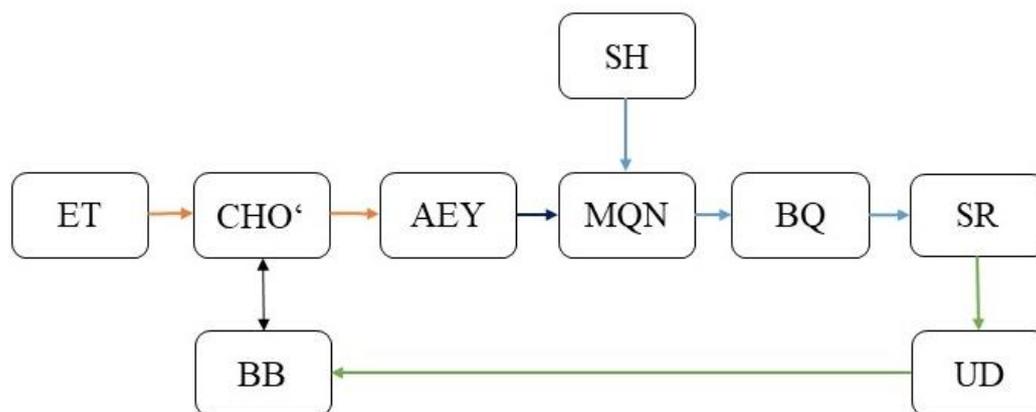
Har bir chastota oralig'i suv sathining aniq chegaralariga moslashtirilgan bo'lib, quyidagi maqsadlarga erishishni ta'minlaydi:

- maksimal samaradorlik – har bir suv sathida nasosning optimal ishlash tezligi tanlanadi;
- energiyani tejash – suv talabiga mos ravishda chastota pasaytirilib, energiya sarfi kamaytiriladi.
- ortib qolish xavfini oldini olish – rezervuar to'lishini aniq nazorat qilib, suvning isrof bo'lishiga yo'l qo'yilmaydi.

Ikki algoritm birgalikda taklif etilayotgan tizimning boshqarish tizimini loyihalashga asos bo'lib xizmat qiladi va keltirilgan algoritmlar asosida kelgusi bo'limlarda boshqaruv sxemasi, tajriba-sinov va imitatsion modellari tuzilgan.

Asinxron motor tezligini chastotaviy rostdash usulini amalga oshirishda, asinxron motor statoridagi kuchlanishni ham rostdash imkonini beradigan chastota o'zgartkichni qo'llanish zarur bo'ladi.

Chastota o'zgartgich orqali tarmoq kuchlanishi chastotasi o'zgarishi natijasida ham kuchlanish ham chastota o'zgarishi asinxron motorning ham burchak tezligiga, elektromagnit maydon tezligiga va elektromexanik moment o'zgarishiga olib keladi. Shu sababli bu o'zgarishlarni hisobga olgan holda asinxron motorning statik xarakteristikasini tadqiq etish hamda asinxron elektr yuritmaning ish rejimini rostdash mezonlari o'zaro energetik jihatdan mos kelishi zarur.



4-rasm. Tashqi ta'sirlarni inobatga olgan holda chastotali rostdanadigan asinxron elektr yuritmal nasos qurilmasi boshqaruv tizimining blok-sxemasi

ET-elektr tarmoq; CHO'-chastota o'zgartgich; AEY-asinxron elektr yuritma; MQN-markazdan qochma nasos; SH- suv havzasi; BQ-bosim quvuri; SR-suv rezervuari; UD-ultratovushli datchik; BB-boshqarish bloki.

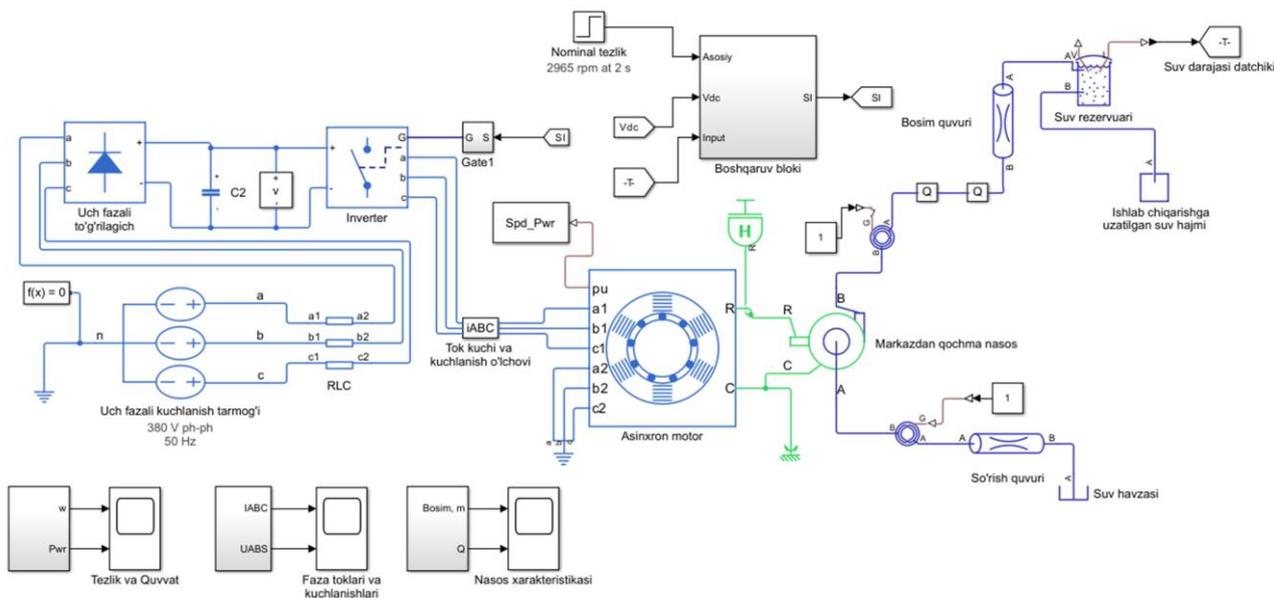
Chastotali rostdanadigan asinxron motorlarning faqatgina moment-tezlik emas, boshqa parametrlarini ham chastota o'zgartirilgan holatdagi statik xarakteristikalarini tadqiq etish muhim bo'lib, moment va tezlik bog'lanishlarini ifodalaydigan $M-\omega$ xarakteristikasi, quvvat-tezlik bog'lanishlarini ifodalaydigan $P-\omega$ xarakteristikasi va elektr toki-tezlik bog'lanishli ifodalaydigan $I-\omega$ xarakteristikalar taqdim etilgan.

“Tashqi ta'sirlarni inobatga olgan holda chastotali rostdanadigan asinxron elektr yuritmal nasos qurilmasi tizimida tajribalar va energiya tejankorlik masalalari” nomli to'rtinchi bobda avvalgi boblarda keltirilgan o'tilgan nazariy tadqiqotlar asosida imitatsion va fizik modellar tuzilgan bo'lib, ularda olingan tadqiqot natijalari grafiklari keltirilgan, bob davomida tajriba natijalari tahlili va mavjud nasos agregatlarining boshqarish usullari bilan solishtirish hamda tashqi ta'sirlarni inobatga olgan holda chastotali rostdanadigan asinxron elektr yuritmal nasos qurilmasi tizimining texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarining amaliy tadqiqotlari natijalari keltirilgan.

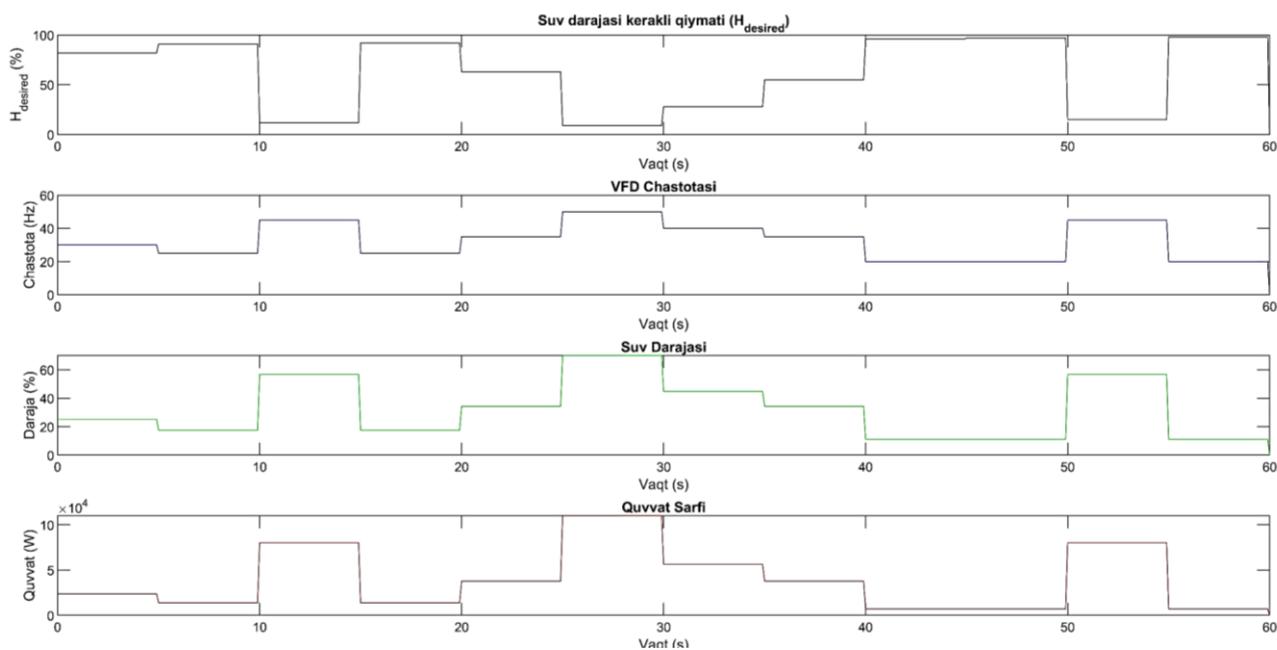
Yuqoridagi boblarda keltirilgan nazariyalar, matematik modellar, boshqaruv algoritmi va usullaridan foydalanilgan holda “tashqi ta'sirlarni inobatga olgan holda chastotali rostdanadigan asinxron elektr yuritmal nasos qurilmasi” tizimining imitatsion modelini tuzilgan. Bunda elektromexanik va gidravlik bog'lanishlarni ilmiy nuqtai nazardan tasvirlash qulay bo'lgan Matlab dasturi Simulink paketidan foydalanilgan.

Boshqaruv bloki suv rezervuaridagi suv balandligidan olingan ma'lumotga asoslangan holda chastota o'zgartgich submodeliga kerakli PWM-modulyatsiyani uzatadi. Bunda tezkorligi yuqori hisoblangan PID boshqaruv usulidan foydalaniladi.

Boshqaruv blokiga datchikdan kirish signallari uchun portlar joylashtiriladi. Kiritilgan algoritimga mos holatda suv darajasini rostlash uchun chastota o'zgartgich blokiga mos PWM-modulyatsiya yuboriladi. Chastota o'zgartgich uchun ham mos ravishda portlar joylashtirib ular chiqish portlari bilan bog'lanadi. Shu tarzda yakuniy imitatsion model tuziladi.



5-rasm. Tashqi ta'sirlarni inobatga olgan holda chastotali rostlanadigan asinxron elektr yuritmalni nasos qurilmasi tizimining imitatsion modeli



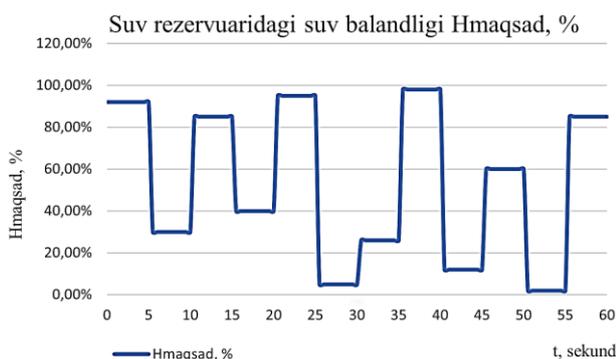
6-rasm. Imitatsion modeldan olingan natijalar

Bloklarning parametr kattaliklari tajriba-sinov stendidagi qo‘llanilgan nasos agregati birliklariniki bir xil tanlanadi va turli rejimlarda tajribalar o‘tkazilgan.

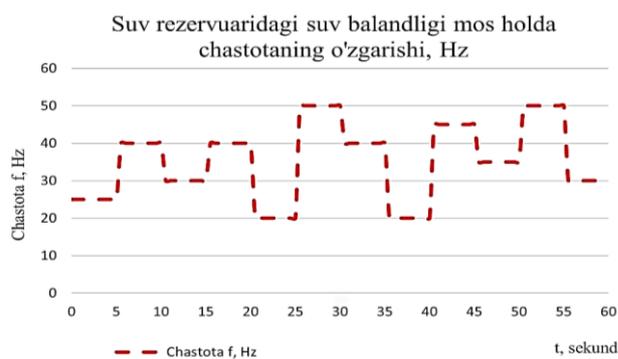
5-rasmda keltirilgan imitatsion modelda o‘tkazilgan tajribalar keyingi paragraflarda fizik modeldagi tajribalar bilan solishtirilgan.

6-rasmda suv darajasining holatiga mos holatda chastotaning o‘zgarishi, buning evaziga esa nasos iste‘mol qilayotgan quvvat o‘zgarishi va hosil qilinayotgan bosim o‘zgarishini kuzatish mumkin.

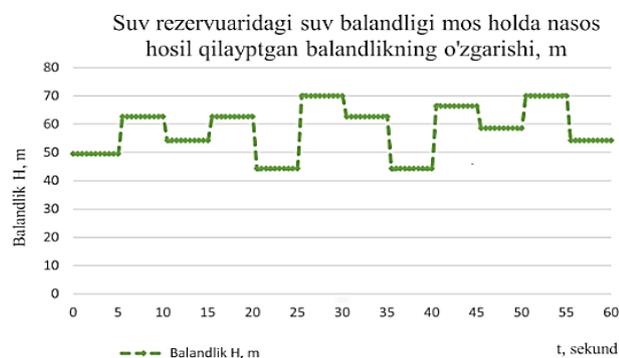
Yuroqida keltirib o‘tilgan barcha qismlarni jamlagan holda “tashqi ta’sirlarni inobatga olgan holda chastotali rostlanadigan asinxron elektr yuritmalni nasos qurilmasi” tizimining fizik modelni yig‘ilgan.



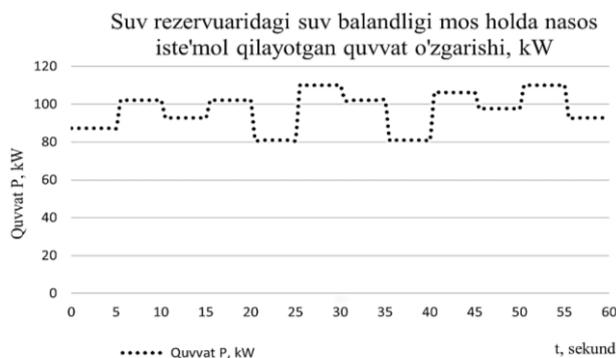
7-rasm. Suv rezervuaridagi suv balandligining o‘zgarish grafiki



8-rasm. Chastota o‘zgartgichning o‘zgarish grafiki



9-rasm. Nasos qurilmasi hosil qilayotgan suv balandligi, m



10-rasm. Iste‘mol qilinayotgan quvvatning o‘zgarishi, kW

Tajriba stendi asosida tadqiqotlar olib borilgan. Tajriba davomida ishlab chiqarish uchun uzatilgan suv hajmi hisobiga suv rezervuaridagi suv balandligi o‘zgarishi hisobiga rezervuar yuqori qismida joylashtirilgan ultratovushli datchikdan olingan ma’lumotlar chastota o‘zgartgich bilan birga joylashtirilgan boshqaruv blokiga uzatiladi. Bu holatda algoritm asosida kiritilgan mezonlar asosida chastota o‘zgartgichga mos holatdagi rostlash parametrlari kiritiladi – bunda boshqaruv chastota o‘zgartgichda joylashgan PID boshqaruv bloki yordamida boshqarilishi ta’minlangan. Quyida suv rezervuarlari o‘zgarishi hisobiga boshqa parametrlarining rostlanishi aks etgan.

7-rasmda ko'rsatilgan qiymatlar ultratovushli datchigidan olingan bo'lib, jurnalga yozib olingan holda elektron jadval asosida grafiklari qurildi. Tajriba 15 marotaba o'tkazildi va natijalar qayd etib borilgan. Jamlangan natijalar regression tahlil asosida quyidagi bog'liqlik grafiklari tuzilgan. 8-rasmda chastotani o'zgartirish PID boshqaruv blokining mos holatda boshqarish mezonni tanlashi hisobiga o'zgartgan qiymatlari hisobiga amalga oshirilgan. 9-rasmda chastota o'zgartgich orqali rostlashda turli chastotalarda nasos qurilmasi hosil qilayotgan suv balandligi o'xshashlik qonuni asosida o'zgarishi aks etgan bo'lib, suv ta'minoti bosim quvuriga o'rnatilgan manometr ko'rsatgan qiymatlar qayd etib borilgan. 10-rasmda chastota o'zgartgich orqali rostlanayotgan asinxron elektr yuritma iste'mol qiliyotgan aktiv quvvatning suv rezervuaridagi suv balandligiga bog'liq o'zgarishi aks etgan.

Yuqorida keltirib o'tilgan paragraflardan olingan modellardagi tajribalar taklif etilyotgan tizimning nechog'lik samarador ekanligi aniqlash uchun natijalarni tahlil qilish hamda amalda mavjud boshqaruv usullari bilan solishtirish zarurligini taqozo etadi.

Taklif etilgan model bo'yicha 1000 m³ suvni nasos orqali ko'tarish uchun drossellash va tashqi ta'sir hisobiga o'zgarmaydigan chastota o'zgartgichli asinxron elektr yuritma boshqaruv holatlarida qancha elektr energiya talab etilishi hisoblangan. Bu hisob-kitobda drossellash boshqaruvi va chastota o'zgartgichli asinxron elektr yuritma orqali boshqarish usullari taqqoslanadi.

Unga ko'ra o'tkazilgan tajriba davomida drossellash boshqaruvi orqali energiya sarfi: 429,7 kW*soat ekanligi aniqlangan bo'lsa, chastota o'zgartgichli asinxron elektr yuritma boshqaruvi orqali energiya sarfi (chastota 40 Hz): 220,21 kW*soat ekanligi aniqlangan.

Chastota o'zgartgichli asinxron elektr yuritma boshqaruvi orqali boshqarilganda energiya sarfi drossellash boshqaruviga qaraganda sezilarli darajada kam bo'lib, 220,21 kW*soat ni tashkil etadi. Bu usul suv oqimi va nasos quvvatini optimallashtiradi, shu bilan birga energiya samaradorligini oshiradi.

Korxonada suv ta'minotida mavjud nasos agregatlarini 2022-yilgacha qo'llanib kelingan drossellash yordamida rostlash usuli o'rniga taklif etilayotgan va 2023-yil davomida qo'llanilgan "Tashqi ta'sirlarni inobatga olgan holda chastotali rostlanadigan asinxron elektr yuritmalari nasos qurilmasi" tizimini joriy etish natijasida olingan iqtisodiy samaradorlik yiliga 153,2 mln so'm yoki 3,4% ni tashkil etib, taklif etilayotgan rostlash usuli xarajatlarini qoplash muddati 10 oyga teng. Olingan natijalar bo'yicha xulosa qilinsa, korxonada suv ta'minoti sexidagi nasos agregatlari uzatishini rostlash uchun "Tashqi ta'sirlarni inobatga olgan holda chastotali rostlanadigan asinxron elektr yuritmalari nasos qurilmasi" tizimini joriy etish xarajatlaridan kelib chiqib, mazkur taklif etilayotgan tizimni energiya tejamkorlik bo'yicha o'rta xarajatli tashkiliy-texnik tadbirlar rejasiga kiritishi maqsadga muvofiq bo'ladi.

XULOSALAR

"Nasos qurilmasining ish rejimlarini tashqi ta'sirlar va energiya samaradorligini hisobga olgan holda chastotali elektr yuritma orqali rostlash" mavzusida olib borilgan dissertatsiya tadqiqotlari natijalari asosida quyidagi xulosalar shakllantirildi:

1. Texnologik jarayonda foydalanishdagi nasos agregatlarida tashqi ta'sirlar va ish sharoiti o'zgaruvchanligini hisobga olish asosida "chastota o'zgartgichi-asinxron dvigatel-nasos-rezervuar" tizimining matematik modeli takomillashtirildi. Buning natijasida nasos qurilmasida minimal energiya sarfi ta'minlangan ish rejimlarida suv rezervuaridagi suv balandligi va chastota o'zgartgich parametrlari yordamida 1m^3 suvni ko'tarish uchun $2,7 \text{ kW} \cdot \text{soat}$ elektr energiyasi sarflash imkoni yaratildi;

2. Asinxron elektr yuritmani ishga tushirish va ish rejimlarida nasos agregati parametrlarini ikki omil – tashqi ta'sirlar hamda energiya samaradorlik inobatga olgan holda rostdash algoritmi ishlab chiqildi. Natijada nasos agregatlarini xarakteristikasini boshqarishning 6 ta maqbul diapazonini taklif etildi;

3. Omillar analizi orqali texnologik jarayonda qo'llaniladigan nasos qurilmasining ish rejimini chastotaviy rostdash asosida rezervuardagi suv sathini boshqarishda energiya tejashni ta'minlaydigan usul ishlab chiqildi. Buning evaziga 3 ta asosiy tashqi ta'sirlarga moslashgan holda boshqarish imkoni yaratildi;

4. Suv ta'minot tizimlari uchun tashqi ta'sirlar va energiya samaradorligini hisobga olgan holda chastota o'zgartgich orqali boshqariladigan nasos qurilmasining ish jarayonini baholash uchun imitatsion modeli ishlab chiqildi. Natijada elektrik, elektromexanik va gidravlik jarayonlarni o'zaro bog'lash hisobiga tajriba tahlillarining adekvatligi 4,1% ga erishildi;

5. Nasos qurilmasining ish rejimlarini tashqi ta'sirlar va energiya samaradorligini hisobga olgan holda chastotali elektr yuritma orqali rostdash tizimini "Andijon Biokimyoviy Zavodi" AJ va "Everest Asbest" MCHJ sanoat korxonalarida suv ta'minotida qo'llaniladigan nasos agregatlarida qo'llash orqali yillik elektr energiyasining iste'moli 3,1% gacha tejab qolish hisobiga kutilayotgan yillik iqtisodiy samara 153,2 mln so'mni tashkil etdi.

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

АНДИЖАНСКИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

ХАЙДАРОВ ХУМОЮН МУХТОР УГЛИ

**РЕГУЛИРОВКА РЕЖИМОВ РАБОТЫ НАСОСНОГО УСТРОЙСТВА С
ПОМОЩЬЮ ЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА С
УЧЕТОМ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ**

**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 B2022.4.PhD/T3326.

Диссертация выполнена в Андижанском машиностроительном институте.

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

Научный руководитель: **Ишназаров Ойбек Хайрилаевич**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Колесников Игорь Константинович**
доктор технических наук, профессор

Абидов Кудрат Гайратович
доктор технических наук, профессор

Ведущая организация: **Ферганский политехнический институт**

Защита диссертации состоится «25» апреля 2025 года в 14⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.15/31.08.2022.T.73.07 при Ташкентском государственном транспортном университете (Адрес: 100167, г.Ташкент, ул. Железнодорожников, 1. Тел: (99871) 299-00-01; факс: (99871) 293-57-54; e-mail: rektorat@tstu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного транспортного университета (регистрационный номер № **236**) (Адрес: 100167, г. Ташкент, ул. Железнодорожников, 1. Тел: (99871) 299-01-00; факс: (99871) 293-57-54).

Автореферат диссертации разослан « 10 » апреля 2025 года.

(реестр протокола рассылки № **026** от «**1**» апреля 2025 года).

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

Я.О. Рузметов
Ученый секретарь Научного совета по
присуждению ученых степеней,
д.т.н., профессор

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

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире энергоэффективность стала одной из ключевых тем, особенно в контексте экономии электроэнергии. Необходимость устойчивого и рационального использования энергии обусловлена растущим спросом на электроэнергию во всем мире. В условиях ограниченности энергетических ресурсов эффективное использование произведенной электроэнергии стало насущной потребностью времени. Около 65% производимой в мире электроэнергии потребляется асинхронными двигателями, из которых 95% составляют нерегулируемые асинхронные двигатели. Доля асинхронных двигателей, применяемых в насосных агрегатах, составляет примерно 33%. Учитывая это, общий эффект энергосбережения, достигаемый в асинхронных двигателях насосных агрегатов, является значительным. Это позволяет сократить не только потребление электроэнергии, но и расход первичных энергетических ресурсов, таких как природный газ. Поэтому вопросы энергосбережения и повышения энергоэффективности асинхронных двигателей, используемых в насосных агрегатах, являются предметом активных научных исследований во всем мире.

В мировых промышленных предприятиях ведутся исследования по повышению энергоэффективности насосных станций, используемых в системах технологического водоснабжения. Основное внимание уделяется разработке энергосберегающих режимов работы, внедрению управления насосными агрегатами с использованием частотных преобразователей, а также адаптации режимов работы насосов к изменениям внешних факторов в технологическом процессе. Проводятся исследования электромеханических характеристик асинхронного электропривода в пусковых и рабочих режимах, изучаются эффективные режимы работы насосных агрегатов с учетом внешних воздействий, а также выявляется комплексное влияние технических факторов в процессе управления потреблением электроэнергии. В данном направлении актуальной задачей является разработка энергосберегающих режимов работы насосных агрегатов на основе частотно-регулируемого электропривода, учитывающего изменения внешних факторов, что способствует повышению общей энергоэффективности.

В нашей Республике предпринимаются широкомасштабные меры по обеспечению энергоэффективности трехфазных асинхронных двигателей, используемых в насосных агрегатах. В соответствии с программой “Переход к зеленой экономике и обеспечение энергоэффективности”, предусмотренной Стратегией развития “Новый Узбекистан” на 2022-2026 годы, а также с целью сокращения потерь и повышения эффективности использования ресурсов в промышленности, определено выполнение ряда задач. Согласно постановлению Президента Республики Узбекистан от 14 июля 2024 года № ПП-222, в регионах и городах страны, исходя из местных особенностей, намечено сокращение потребления электроэнергии на 10%. Реализация этих задач включает

достижение энергоэффективности в насосных агрегатах, где применяются трехфазные асинхронные двигатели.

Стратегия действий Республики Узбекистан на 2023-2030 годы, утвержденная Президентом Республики Узбекистан в рамках документа ПП-158, включает задачи по обеспечению непрерывного энергоснабжения экономики и промышленности, а также внедрению технологий с номером 57. Также в Стратегии рассматриваются постановления Президента Республики Узбекистан от 27 марта 2019 года № ПП-4249 “О стратегии дальнейшего развития и реформирования электроэнергетической отрасли Республики Узбекистан” и от 22 августа 2019 года № ПП-4422 “О повышении энергоэффективности в секторах экономики и социальной сфере, внедрении энергоэффективных технологий и быстром развитии возобновляемых источников энергии”. Эти постановления, а также другие нормативно-правовые акты, направлены на выполнение задач, определенных для улучшения энергоэффективности и внедрения зеленых технологий. Данное исследование в значительной мере способствует выполнению указанных задач и инициатив.

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

Степень изученности проблемы. Проблемы энергосбережения в трехфазных асинхронных двигателях насосных агрегатов требуют изучения статических и динамических рабочих режимов асинхронных двигателей, режимов работы нерегулируемых и регулируемых асинхронных двигателей, их математических моделей, изменений характеристик асинхронных двигателей при применении частотных преобразователей, а также влияния внешних воздействий и энергоэффективности на производительность насосных агрегатов и эффективность работы трехфазных асинхронных двигателей в различных режимах. Для этой цели в области насосных агрегатов активно проводятся научные и практические исследования по достижению энергосбережения с использованием частотных преобразователей для трехфазных асинхронных двигателей.

Научные исследования, направленные на использование частотных преобразователей для регулировки работы трехфазных асинхронных двигателей насосных агрегатов с целью достижения энергосбережения, проводятся в ведущих научных центрах мира и многих университетах, таких как Национальный исследовательский университет «МЭИ» (Россия), Технический университет Дрездена (Германия), Университет Мичигана (США), Университет Ватерлоо (Канада), Токийский технологический институт (Япония), Политехнический университет Милана (Италия), Научно-технический центр АО «Узбекэнерго», Институт проблем энергетики при Академии Наук Республики Узбекистан, Ташкентский государственный транспортный университет, Андижанский машиностроительный институт и другие высшие учебные заведения.

Вопросы достижения энергосбережения с помощью регулируемых электрических приводов были посвящены работам таких ученых, как Т.М. Феррейра, Г.Р. Симон, Дж. Оттерпол, Б.С. Илинский, В.В. Москаленко, Г.Б. Онищенко, И.Я. Браславский, Б.С. Лезнов, Ховард Е. Джордан, Али Эмади, Томас Х. Дёркин, Л. Бенни, Кинкейд и других ученых.

Разработка и внедрение энергоэффективных рабочих режимов насосных агрегатов на основе частотного регулирования, оптимизация рабочих режимов электрических двигателей и повышение их энергетической эффективности стали важным вкладом таких местных ученых, как М.З. Хамудханов, Т.С. Камалов, Р.А. Захидов, А.А. Хошимов, О.Я. Гловаский, Ш.Х. Рахимов, Н.М. Арипов, Ф.А. Хошимов, К.Г. Абидов, О.Х. Ишназаров, О.З. Таиров, А.А. Шавазов. Эти исследования связаны с внедрением частотно регулируемых электроприводов для запуска насосных агрегатов, регулировкой скорости рабочих колес в насосных установках для мелиорации и горной промышленности, с целью энергосбережения и совершенствования процесса подачи воды на насосных станциях. Тем не менее, несмотря на значительные успехи, вопросы регулировки рабочих режимов насосных установок с учетом внешних воздействий и энергоэффективности с применением частотных преобразователей ещё не изучены в достаточной мере.

Связь диссертационного исследования с планом научно-исследовательских работ ВУЗа, где выполнена диссертация. Данное исследование выполнено в рамках научно-исследовательской работы, проводимой в Андижанском машиностроительном институте, в соответствии с заключенными договорами на проведение энергоаудита в следующих хозяйственных предприятиях: № 2017-19-цементный завод ООО «SING LIDA», № 2019-19 - молочный завод ООО «EVRO EKFIN», № 2020-19 - АО «Андижанский биохимический завод».

Целью исследования разработка алгоритмов управления и совершенствование методов с учетом внешних воздействий с целью повышения эффективности частотно-регулируемой насосной установки, используемой в технологических процессах промышленных предприятий.

Задачи исследования состоят в:

- проведение обзора литературы и анализа научно-исследовательских работ по энергоэффективности и энергосбережению в насосных установках асинхронных электроустановок с частотным преобразованием, применяемых в технологических процессах промышленных предприятий;

- проведение теоретических исследований на основе совершенствования математической модели насосного устройства, учитывающей внешние воздействия, изменчивость режима работы и энергоэффективность;

- разработка алгоритма управления показателями режима работы насосного агрегата с гибкостью к внешним воздействиям и изменениям системы;

- совершенствование метода, направленного на оптимизацию режимов работы насосного устройства и эффективное управление уровнем воды в резервуаре;

- разработка имитационной модели системы “преобразователь частоты-асинхронный двигатель-насос-труба-резервуар” с учетом требований технологического процесса, а также проведение экспериментов на основе экспериментальной модели.

Объектом исследования является насосная установка с асинхронным электроприводом, управляемая через частотный преобразователь с учетом внешних воздействий и энергоэффективности.

Предметом исследования является метод и алгоритм управления рабочими режимами насосной установки с асинхронным электроприводом и частотным преобразователем в условиях оптимизации внешних воздействий и энергоэффективности.

Методы исследования. В процессе исследования использованы теория электрического привода трехфазных асинхронных двигателей и современные методы их управления, анализ их статических и динамических характеристик, а также современные методы математического моделирования.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

совершенствована математическая модель, обеспечивающая энергоэффективное управление частотно-регулируемой насосной установкой с учетом внешних воздействий и изменчивости режимов работы в технологическом процессе;

проведен анализ факторов внешних воздействий на частотно-регулируемую насосную установку, выявлены основные внешние влияния и разработан алгоритм энергоэффективного управления, адаптированный к их изменениям;

совершенствован метод управления уровнем воды в резервуаре на основе частотного регулирования режима работы насосной установки с учетом изменения внешних воздействий, что обеспечивает энергосбережение;

разработана имитационная модель системы «частотный преобразователь – асинхронный двигатель – насос – трубопровод – резервуар», позволяющая оценивать энергоэффективность с учетом изменчивости внешних факторов в технологическом процессе промышленного предприятия.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

определено три основных влияющих фактора в результате анализа факторов внешних воздействий для эффективного управления потреблением электроэнергии и воды трехфазными асинхронными двигателями насосных агрегатов;

усовершенствован критерий регулирования частотного преобразователя в зависимости от уровня воды в резервуаре;

разработано программное обеспечение системы «насосная установка с частотно-регулируемым асинхронным электроприводом с учетом внешних воздействий»;

составлена структурная схема системы «насосная установка с частотно-регулируемым асинхронным электроприводом с учетом внешних воздействий».

Достоверность результатов исследования. Надежность результатов исследования объясняется применением разработанных математических моделей трехфазных асинхронных двигателей с частотным регулированием, а

также сравнительным анализом теоретических и экспериментальных моделей, статических, динамических и технических характеристик на основе общепринятых критериев.

Научное и практическое значение результатов исследования. Научное значение результатов исследования объясняется разработкой системы «насосная установка с частотно-регулируемым асинхронным электроприводом с учетом внешних воздействий» на основе частотно-регулируемых электроприводов насосных станций, получением статических и динамических характеристик в предлагаемой системе, а также созданием метода управления этой системой.

Практическое значение результатов исследования объясняется повышением энергоэффективности и энергосбережения за счет эффективного управления производительностью и потреблением электроэнергии насосными агрегатами на основе системы «насосная установка с частотно-регулируемым асинхронным электроприводом с учетом внешних воздействий».

Внедрение результатов исследования. На основе результатов научно-исследовательских работ по энергоэффективным режимам работы трехфазных асинхронных двигателей насосных агрегатов, управляемых с применением насосной установки с частотно-регулируемым асинхронным электроприводом с учетом внешних воздействий:

система энергоэффективных режимов работы трехфазных асинхронных двигателей насосных агрегатов, управляемых с применением насосной установки с частотно-регулируемым асинхронным электроприводом с учетом внешних воздействий, была внедрена на АО «Андижан Биокимё Заводи» и ООО «EVEREST ASBEST» (справка Министерства энергетики № 04-11-3407 от 17 мая 2024 года). В результате создана возможность оптимального управления насосными установками в технологическом процессе посредством частотного преобразователя с учетом регулирования по трем основным внешним воздействиям;

усовершенствованный метод управления уровнем воды в резервуаре на основе частотного регулирования режима работы насосной установки, обеспечивающий энергосбережение, был внедрён на АО «Андижан Биокимё Заводи» и ООО «EVEREST ASBEST» (справка Министерства энергетики № 04-11-3407 от 17 мая 2024 года). В результате, при контроле уровня воды в резервуаре путем подачи напряжения и частоты, соответствующих шести оптимальным диапазонам, на насосные установки с асинхронным электроприводом, в насосных агрегатах мощностью 110 кВт и 45 кВт были применены энергоэффективные режимы работы и годовой показатель эффективности составил 3,1%, что позволило сэкономить 153,2 млн сумов.

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертационного исследования были обсуждены на 5 международных конференциях, из которых 2 включены в базу Scopus, а также на 5 республиканских научно-практических конференциях.

Публикация результатов исследования. По теме исследования опубликовано всего 8 научных работ, из которых 6 статей размещены в журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики

Узбекистан, в том числе 3 статьи в зарубежных журналах. Кроме того, на 2 программных средства, созданных для ЭВМ, получены свидетельства о регистрации от Агентства интеллектуальной собственности Республики Узбекистан.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Общий объем диссертации составляет 119 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** диссертации определены актуальность и необходимость темы, цели и задачи исследования, объект и предмет исследования, показана соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики, изложены научная новизна и практическое значение результатов исследования, обоснована научная и практическая надежность результатов исследования, приведены данные о внедрении результатов научных исследований в производство, результаты апробации исследования, информация о опубликованных работах и информация о структуре диссертации.

В первой главе под названием **«Система водоснабжения на производственных предприятиях и использование насосных агрегатов в них»** проведен анализ научных исследований, выполненных в последние годы по насосным станциям. В результате анализа было установлено, что на предприятиях с электрическими приводами с частотными преобразователями можно достичь значительной экономии энергии, однако для этого необходимо обеспечить их работу на низких частотах. В системе водоснабжения предприятия управление осуществляется в соответствии с определенными закономерностями, что делает этот процесс сложным из-за множества внешних воздействий. Это позволит с помощью адаптивных параметров через подачу команд частотному преобразователю определить оптимальную точку управления и её пределы.

В данном исследовании на основе выявленных проблем в ходе энергетических обследований, проведенных по хозяйственным контрактам на предприятиях, предложены научно-практические решения по использованию асинхронных двигателей насосных агрегатов в энергосберегающих рабочих режимах. Энергетические обследования были проведены на предприятиях: ООО «SING LIDA» — завод по производству портландцемента, АО «Андижанский биохимический завод» — завод по производству этилового спирта, ООО «EVRO EKFIN» — завод по производству молочных продуктов, ООО «KHAN TEX GROUP» — кластер по производству текстильных и трикотажных изделий в период с 2017 по 2023 годы.

Исследования, проведенные на промышленных предприятиях, показали, что установленные в насосных установках с асинхронными электроприводами частотные преобразователи не дали ожидаемых результатов по энергосбережению. При анализе причин этого были выявлены следующие факторы:

- управление через частотный преобразователь осуществляется вручную;

- невозможность регулировки необходимой скорости в зависимости от потребления;
- использование только для плавного пуска;
- применение частотного регулируемого асинхронного электропривода на высоких частотах, даже когда потребность невелика;
- отсутствие обратной связи в рабочих режимах насосной установки;
- регулировка рабочих режимов насосных установок без учета внешних воздействий.

В продолжение данной главы в качестве объекта исследования была выбрана система водоснабжения АО «Андижанского биохимического завода», приведены режимы использования водных ресурсов в процессе производства продукции, а также технические параметры насосных агрегатов, установленных в системе водоснабжения этого промышленного предприятия.

В продолжение главы рассмотрены методы управления насосными установками, их преимущества и недостатки, а также особенности статического давления в системе водоснабжения промышленного предприятия и его влияние на применяемые методы управления. В ходе исследования были подробно изучены такие методы управления, широко применяемые в системах водоснабжения, как дросселирование давления насоса, направлением части потока из сети давления в сеть всасывания, а также изменение скорости вращения рабочего колеса центробежного насоса. В результате анализа было сделано заключение, что оптимальным методом регулировки рабочих режимов насосного оборудования для систем водоснабжения промышленного предприятия является изменение скорости рабочего колеса через частотно регулируемый электропривод.

Геометрическое расположение рабочих точек насоса на координатах $Q-H$, которое является характеристикой насоса, должно соответствовать рабочей характеристике трубопроводной линии при поддержании постоянной скорости вращения насоса. Решение уравнения для характеристик давления насоса и трубопроводной линии относительно частоты вращения приводит к следующему выражению

$$n = n_{nom} \sqrt{\frac{H_{st}}{H_t} + \left(1 - \frac{H_{st}}{H_t}\right) \left(\frac{Q}{Q_k}\right)^2}, \quad (1)$$

где H_{st} - статическая составляющая давления; H_t - расчетная высота подъема воды при нулевом уровне давления; Q_k - максимальный расход воды насосом для системы; Q - номинальная подача воды; n_{nom} - номинальная скорость вращения.

В результате опытов с большими и маленькими насосами при получении характеристик давления $Q-H$, при низких скоростях $n \leq (0,1 \div 0,15) n_{nom}$ исчезает четкая связь между расходом воды и давлением насоса, и вместо этого появляется случайное распределение точек на параболической кривой в области $Q-H$, что не позволяет описать зависимость давления насоса от его производительности. Это связано с тем, что гидравлическое сходство рабочих режимов одного и того же насоса, работающего при значительном отклонении от номинальной скорости и при номинальной скорости, значительно нарушено.

В конце главы было установлено, что при использовании частотных преобразователей для регулировки, в случае игнорирования внешних воздействий, невозможно достичь достаточной экономии энергии в системах водоснабжения, несмотря на высокую энергоэффективность по сравнению с другими методами.

Во второй главе, под названием **«Теоретические основы системы насосной установки с регулируемым асинхронным электроприводом, учитывающей внешние воздействия»**, в начале рассмотрены требования, предъявляемые к частотным преобразователям, используемым в насосных установках.

Согласно этому, применение частотных преобразователей с асинхронными электроприводами для автоматического регулирования уровня воды в резервуарах имеет большое значение. Эта технология не только обеспечивает эффективную работу насосов, но и способствует повышению энергоэффективности.

Обычно для простых систем водоснабжения предпочтительнее использовать преобразователи частоты с векторным управлением. Первая часть главы посвящена этим выводам, согласно которым для насосных установок наиболее подходящим является использование метода скалярного управления. В ходе исследования было предложено решение с использованием данного метода управления.

Данное исследование включает в себя технико-организационные решения по выбору и использованию частотных преобразователей, что способствует повышению энергоэффективности систем водоснабжения.

В следующих частях данной главы приведены математические модели частотного преобразователя и асинхронного двигателя, согласно которым при построении математической модели системы частотного преобразователя и асинхронного двигателя сначала приводятся математические выражения для трехфазной электрической сети, которая питает данный частотный преобразователь.

В последующих разделах приведены математические модели частотного преобразователя, а именно математические выражения для трехфазного выпрямителя, фильтрации выпрямленного напряжения и трехфазного инвертора, который для фазы А генерирует переменное напряжение.

В следующем параграфе приведено математическое описание асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в dq -координатах, выражения для вращающегося электромагнитного поля и зависимости угловых скоростей ротора от угловых скоростей. Затем, с учетом скольжения, приведены математические выражения для электромагнитного момента и угловой скорости, создаваемых асинхронным двигателем, а также их воздействия на центробежный насос, с соответствующими полными математическими выражениями для создаваемой высоты и производительности насоса. В последующих разделах рассматривается задача регулировки уровня воды в водном резервуаре, где все эти единицы объединены в единую систему.

Модель регулировки уровня воды - изменение уровня воды в каждом резервуаре выражается следующей формулой:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{A}, \quad (2)$$

где h - уровень воды в резервуаре; Q_{in} - количество воды, поступающее от насоса; Q_{out} - количество воды, выходящее из резервуара (вода, используемая для производства); A - площадь сечения резервуара.

Датчики уровня измеряют уровень в каждом резервуаре и передают сигнал в систему SCADA или PID. Система через PID позволяет регулировать скорость насоса.

Модель внешних воздействий - включает в себя переменные, которые требуют учета расхода воды в процессе производства и необходимости полного заполнения резервуаров:

$$Q_{out}(t) = k \cdot D, \quad (3)$$

где k - коэффициент, выражающий изменение расхода воды в производственном процессе; D - производственный цикл или режим.

Резервуар для воды (бак) и датчики уровня воды.

Каждый резервуар оснащен датчиками уровня воды, которые показывают количество воды в процентном выражении. Уровень воды h выражается следующим образом:

$$h(t) = \frac{V_{rez}(t)}{V_{rez. max}}, \quad (4)$$

где $V_{rez}(t)$ - фактический объем воды в резервуаре; $V_{rez. max}$ - максимальный объем резервуара.

Изменение уровня воды в резервуаре в зависимости от потока воды выражается следующей формулой:

$$\frac{dV_{rez}(t)}{dt} = Q_{in}(t) - Q_{out}(t), \quad (5)$$

где $Q_{in}(t)$ - поток воды, поступающий в резервуар; $Q_{out}(t)$ - поток воды, расходуемый в производственном процессе.

Для связи математического выражения с функцией частотного преобразователя можно построить математическое выражение, основанное на уменьшении потребления мощности насосом и ошибок уровня воды. В следующей математической модели внимание будет уделено повышению энергоэффективности на основе параметров, управляемых через частотный преобразователь:

$$W = \int_0^M \left(w_1 P(f(t)) + w_2 ((H_i - H_{st}) - H(t))^2 + w_3 (Q_i - Q(t))^2 + w_4 \left(\frac{df(t)}{dt} \right)^2 \right) dt, \quad (6)$$

где w_1, w_2, w_3, w_4 - экспериментальные коэффициенты мощности, напора, подачи воды и преобразователя частоты соответственно; H_i и Q_i - требуемые значения напора и подачи воды соответственно; $H(t)$ и $Q(t)$ - результирующая напора и подачи воды в момент времени t , соответственно; H_{st} - статическое напор.

$P(f(t)) = M(f(t)) \cdot \omega(f(t))$ - мощность зависит от частоты, поскольку при изменении частоты через частотный преобразователь меняются момент насоса $M(f(t))$ и угловая скорость $\omega(f(t))$.

$\frac{df(t)}{dt}$ - скорость изменения частоты была добавлена в математическую модель для минимизации внешних воздействий.

Эти уравнения позволяют математически описать насосную установку с асинхронным электроприводом через частотный преобразователь с учетом внешних воздействий, что является основным элементом эффективного управления системой водоснабжения.

В конце главы сделаны следующие выводы, которые заключаются в следующем:

В ходе уточнения требований, предъявляемых к частотному преобразователю, используемому в насосных установках, было установлено, что не следует ограничиваться только техническими параметрами асинхронного двигателя и насосной установки, но также необходимо учитывать внешние воздействия в системе и соответствие рабочим режимам, основанным на энергоэффективности;

Установлено, что внешними воздействиями, влияющими на рабочие режимы насосных установок и их энергоэффективность в системах водоснабжения промышленных предприятий, являются изменения потребности в водных ресурсах в процессе производства. Для учета этих изменений были предложены математические выражения метода управления водоснабжением, основанного на минимизации потребления энергии в асинхронных электроприводах с частотным регулированием.

Существующие математические модели водоснабжающих систем, включающие частотные преобразователи, асинхронные двигатели и насосные установки, были усовершенствованы с учетом внешних воздействий, влияющих на рабочие режимы этих устройств, а также на основе критерия обеспечения энергоэффективности в системе водоснабжения.

В третьей главе под названием **«Практическое обоснование системы насосной установки с регулируемым асинхронным электроприводом, учитывающей внешние воздействия»** исследованы функциональные и структурные схемы данной системы, алгоритмы управления и регулирования, метод управления и статические рабочие режимы.

В насосном агрегате система «насосной установки с регулируемым асинхронным электроприводом, учитывающей внешние воздействия» играет важную роль в обеспечении энергоэффективного управления, где значительное значение имеют информационно-измерительные устройства. Их работа и взаимосвязи требуют описания. Основные изменения и сбор данных осуществляются с помощью ультразвукового датчика. Поэтому ниже рассмотрены структурные схемы этих устройств и их передаточные функции.

Данная общая структурная схема разработана с учетом основных взаимосвязей и служит основой для создания алгоритма и автоматической

системы управления насосной установкой с регулируемым асинхронным электроприводом, учитывающей внешние воздействия.

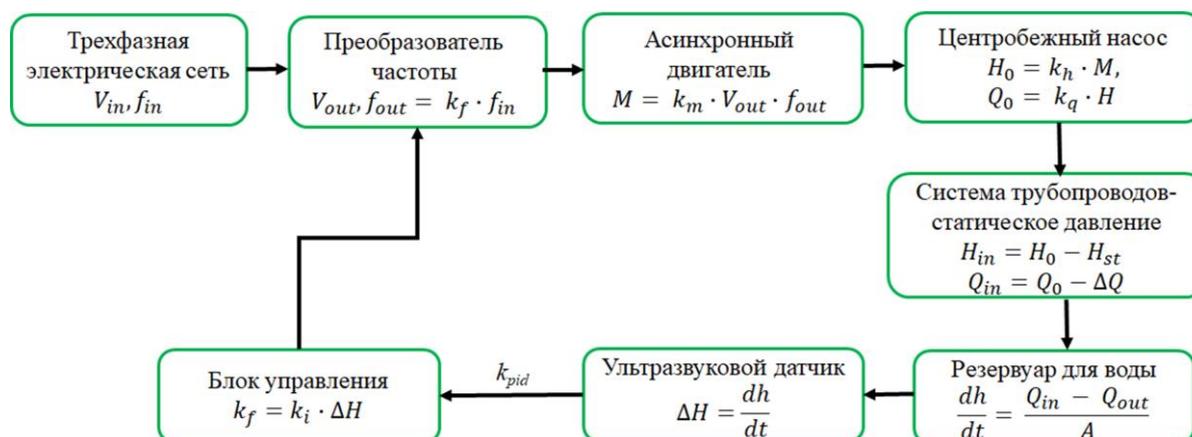


Рис. 1. Структурная схема системы насосной установки с регулируемым асинхронным электроприводом, учитывающей внешние воздействия

Цель создания алгоритма системы насосной установки с регулируемым асинхронным электроприводом, учитывающей внешние воздействия, заключается в четком определении задач. Этот алгоритм должен соответствовать требованиям по поддержанию необходимого уровня воды в резервуаре, а также минимизации энергопотребления. Алгоритм основывается на целевой функции, учитывающей энергию, разницу уровней и скорость изменения частоты.

Преимущества алгоритма, следующие:

- Энергоэффективность: Снижение энергопотребления за счет минимизации $W(t)$;
- Стабильное управление: Точный контроль уровня воды с помощью PID-регулятора;
- Плавная работа: Постепенное изменение частоты обеспечивает работу без повреждения механических компонентов;
- Динамическая адаптация: Частота изменяется в соответствии с потреблением воды, предотвращая избыточное энергопотребление.

На основе алгоритма обеспечивается энергоэффективный рабочий режим, соответствующий уровню воды.

Ниже представлен алгоритм, который передает информацию с датчика уровня воды в блок управления, и в соответствии с этим определяет последовательность действий для обеспечения заданного давления.

Этот алгоритм выполняет задачу определения уровня воды в резервуаре и автоматического управления частотой в зависимости от уровня воды. Для этой цели используются ультразвуковой датчик для контроля уровня воды, PID-регулятор для передачи управляющего сигнала и частотный преобразователь для настройки скорости вращения двигателя насоса.

Система работы алгоритма – алгоритм отслеживает текущий уровень воды в резервуаре и в зависимости от отклонения уровня воды от требуемого значения регулирует скорость насоса.

Диапазоны частот и цели реализуются в следующем порядке.

Каждый диапазон частот адаптирован к точным пределам уровня воды и обеспечивает достижение следующих целей:

- максимальная эффективность – для каждого уровня воды выбирается оптимальная скорость работы насоса;
- экономия энергии – частота снижается в соответствии с потребностью в воде, что снижает потребление энергии;
- предотвращение риска переполнения – осуществляется точный контроль за наполнением резервуара, что предотвращает перерасход воды.

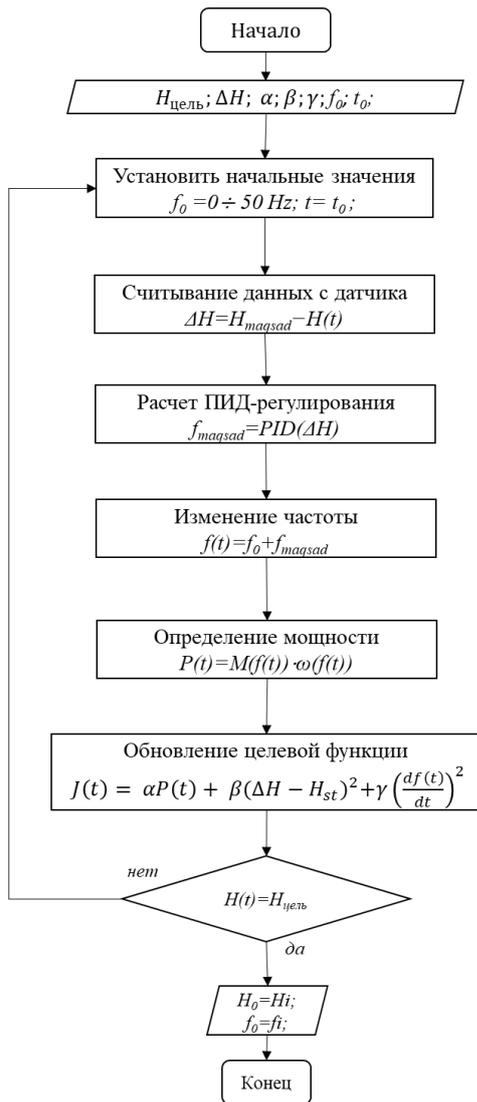


Рис. 2. Алгоритм системы насосной установки с регулируемым асинхронным электроприводом, учитывающей внешние воздействия

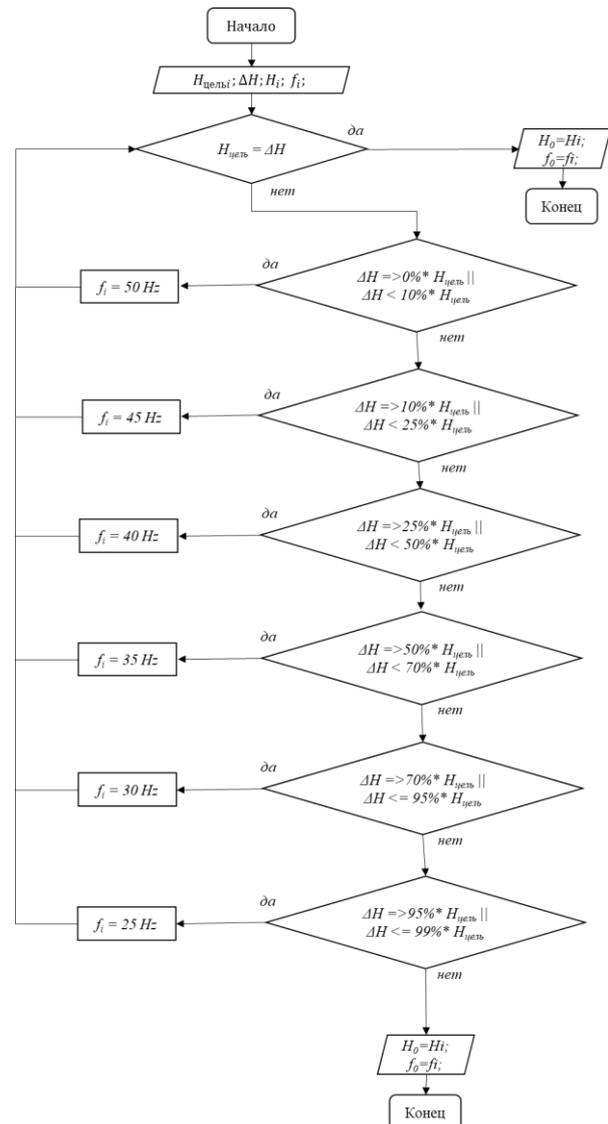


Рис. 3. Алгоритм выбора необходимой частоты на частотном преобразователе в зависимости от уровня воды

Два алгоритма служат основой для проектирования системы управления предложенной системой, и на основе представленных алгоритмов в следующих разделах будут разработаны схемы управления, опытно-исследовательские работы и имитационные модели.

При реализации метода частотного регулирования скорости асинхронного двигателя необходимо использовать преобразователь частоты, который также позволит регулировать напряжение на статоре асинхронного двигателя.

Изменение частоты сетевого напряжения через преобразователь частоты приводит к изменению как напряжения, так и частоты, что влияет на угловую скорость асинхронного двигателя, скорость электромагнитного поля и изменение электромеханического момента.

Поэтому, учитывая эти изменения, необходимо исследовать статическую характеристику асинхронного двигателя, а также критерии регулирования режима работы асинхронного электропривода, которые должны энергетически соответствовать друг другу.

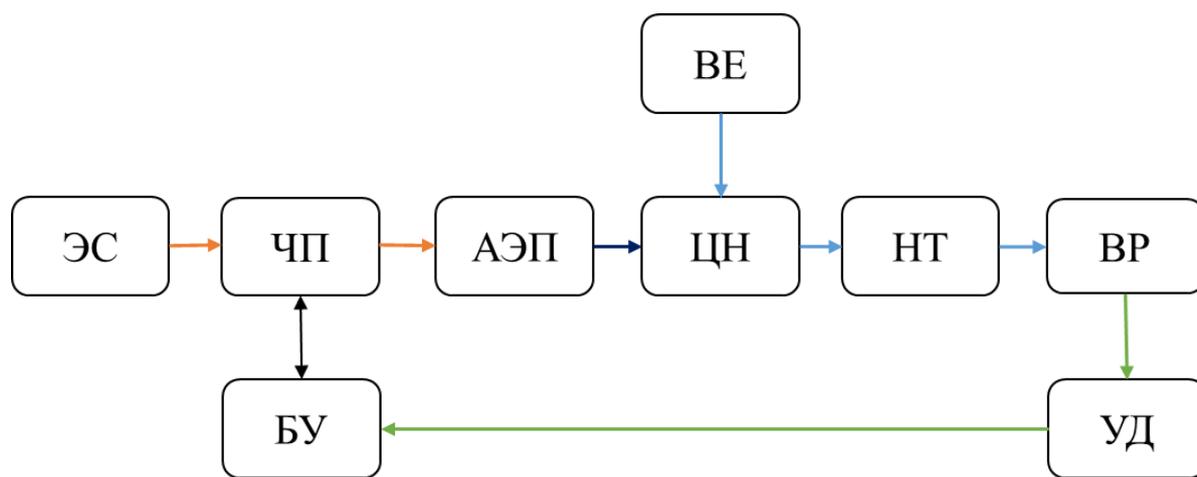


Рис. 4. Блок-схема системы управления насосом с асинхронным электроприводом с частотным регулированием с учетом внешних воздействий.

ЭС – электрическая сеть; ЧП – частотный преобразователь; АЭП – асинхронный электропривод; ЦН – центробежный насос; ВУ – водоем; НТ – напорный трубопровод; ВР – водяной резервуар; УД – ультразвуковой датчик; БУ – блок управления.

Важным является исследование не только моментно-скоростных характеристик, но и статических характеристик других параметров асинхронных двигателей с регулируемой частотой при изменении частоты, таких как характеристика $M-\omega$, выражающая зависимость момента от скорости, характеристика $P-\omega$, выражающая зависимость мощности от скорости, и характеристика $I-\omega$, выражающая зависимость тока от скорости.

В четвертой главе «**Эксперименты и вопросы энергоэффективности в системе насоса с асинхронным электроприводом с частотным регулированием с учетом внешних воздействий**» на основе теоретических исследований, приведенных в предыдущих главах, были построены имитационные и физические модели, в которых представлены графики полученных результатов исследований. В ходе главы проведен анализ результатов экспериментов, сравнение с методами управления существующих насосных агрегатов, а также представлены результаты практических исследований технико-экономических показателей системы насоса с

асинхронным электроприводом с частотным регулированием с учетом внешних воздействий.

С использованием теорий, математических моделей, алгоритмов управления и методов, приведенных в предыдущих главах, было построено имитационное моделирование системы «насос с асинхронным электроприводом с частотным регулированием с учетом внешних воздействий». Для описания электромеханических и гидравлических связей с научной точки зрения использовалась программа Matlab с пакетом Simulink.

Блок управления, на основе данных о уровне воды в водяном резервуаре, передает необходимую PWM-модуляцию на подмодуль преобразователя частоты. При этом используется метод PID-регулирования с высокой быстродействующей характеристикой.

В блоке управления размещаются порты для входных сигналов от датчика. В соответствии с введенным алгоритмом, для регулировки уровня воды на блок преобразователя частоты передается соответствующая PWM-модуляция. Для преобразователя частоты также размещаются порты, которые соединяются с выходными портами. Таким образом, строится окончательная имитационная модель.

Параметры блоков выбираются одинаковыми с параметрами насосного агрегата, использованного на испытательном стенде, и проведены эксперименты в различных режимах.

Эксперименты, проведенные в имитационной модели, представленной на рисунке 5, были сравнены с экспериментами в физической модели, которые приведены в следующих параграфах.

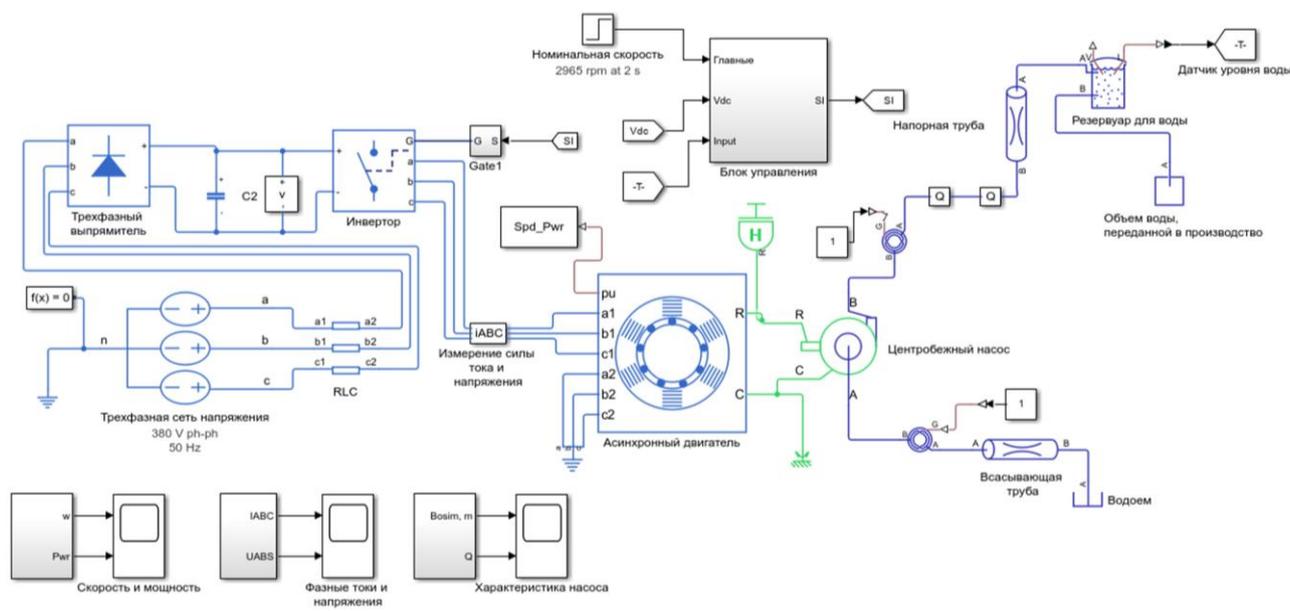


Рис. 5. Имитационная модель системы насоса с асинхронным электроприводом с частотным регулированием с учетом внешних воздействий

На рисунке 6 можно наблюдать изменение частоты в зависимости от уровня воды, а также изменение потребляемой насосом мощности и создаваемого давления.

Следует подчеркнуть, что имитационная модель построена на основе алгоритма организации работы, с учетом математической модели и связей, приведенных в предыдущих главах, и в ней параметры были выбраны как идеальные.

Важно, какие результаты система будет получать в реальных условиях. С этой точки зрения необходимо провести эксперименты и анализ в физических моделях системы. Сборка физической модели была осуществлена с помощью следующих основных и вспомогательных единиц.

Собрав все вышеупомянутые части, была собрана физическая модель системы «насос с асинхронным электроприводом с частотным регулированием с учетом внешних воздействий».

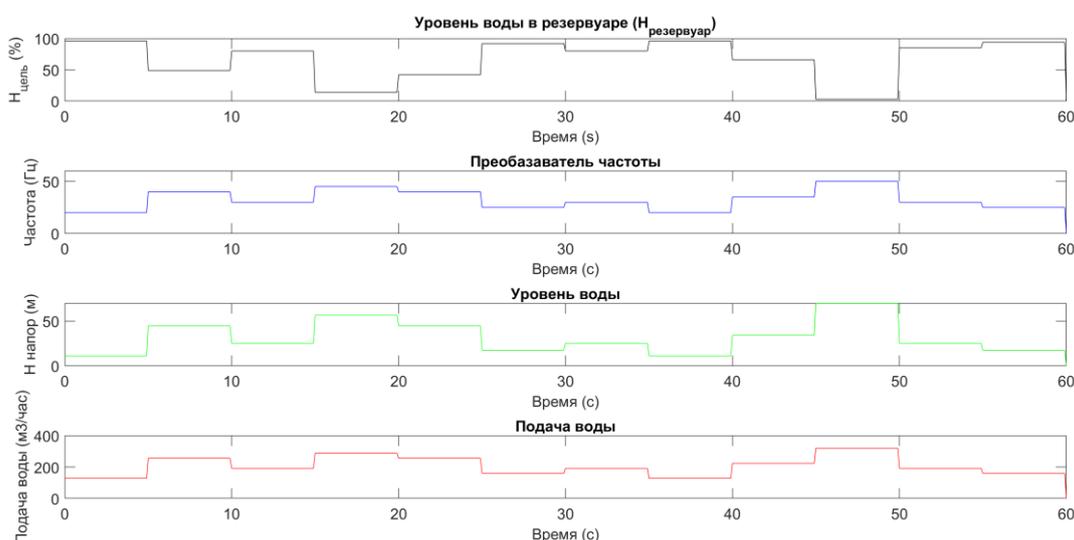


Рис. 6. Результаты, полученные из имитационной модели

Источник электрической энергии подключен к блоку управления, преобразователю частоты и преобразователю АС-DC с учетом защитных элементов. Блок управления, преобразователь частоты, преобразователь АС-DC и асинхронный двигатель заземлены через клеммы РЕ.

В гидравлических частях водоем и его выходы соединены с точкой всасывания насоса через трубу диаметром 200 мм. Из точки выхода насоса с помощью трубы диаметром 200 мм соединен с входной точкой верхнего расположенного приемного резервуара.

Исследования проводились на основе экспериментального стенда. В процессе эксперимента данные об изменении уровня воды в водяном резервуаре, учитывая объем передаваемой воды для производства, передаются от ультразвукового датчика, установленного в верхней части резервуара, в блок управления, размещенный вместе с преобразователем частоты. В этом случае на

основе введенных критериев в алгоритме вводятся соответствующие параметры настройки для преобразователя частоты, которые управляются с помощью блока PID-регулирования, расположенного в преобразователе частоты. Ниже отражено регулирование других параметров в зависимости от изменений уровня воды в резервуарах.

Значения, показанные на рисунке 7, были получены с ультразвукового датчика, и графики были построены на основе записей в журнале с использованием электронных таблиц. Эксперимент был проведен 15 раз, и результаты были зафиксированы. Составленные результаты на основе регрессионного анализа привели к построению следующих графиков взаимосвязи. На рисунке 8 показаны изменения частоты, выполненные на основе выбранных критериев управления блока PID. На рисунке 9 показано изменение уровня воды, создаваемого насосом при регулировке через преобразователь частоты на разных частотах, согласно закону аналогии, при этом были зафиксированы значения, показанные манометром, установленным на напорной трубе водоснабжения. На рисунке 10 отражены изменения активной мощности, потребляемой асинхронным электроприводом при регулировке через преобразователь частоты, в зависимости от уровня воды в водяном резервуаре.



Рис. 7. График изменения уровня воды в водяном резервуаре



Рис. 8. График изменения преобразователя частоты



Рис. 9. Уровень воды, создаваемый насосом, м



Рис. 10. Изменение потребляемой мощности, кВт

Эксперименты, приведенные в моделях выше, требуют анализа результатов для определения эффективности предлагающейся системы, а также для сравнения с существующими методами управления на практике.

Для предложенной модели было рассчитано, сколько электрической энергии потребуется для подъема 1000 м³ воды насосом в условиях управления с постоянной частотой с учетом дросселирования и внешних воздействий. В этом расчете сравниваются методы управления с дросселированием и с использованием асинхронного электропривода с преобразователем частоты.

Согласно проведенному эксперименту, было установлено, что при управлении с дросселированием потребление энергии составляет 429,7 кВт*ч, в то время как при управлении с асинхронным электроприводом с преобразователем частоты (при частоте 40 Гц) потребление энергии составляет 220,21 кВт*ч.

При управлении с асинхронным электроприводом с преобразователем частоты потребление энергии значительно меньше, чем при управлении с дросселированием, и составляет 220,21 кВт*ч. Этот метод оптимизирует поток воды и мощность насоса, одновременно повышая энергетическую эффективность.

Внедрение предлагаемой системы «Частотно регулируемого асинхронного электропривода насоса с учетом внешних воздействий» вместо использовавшегося до 2022 года метода регулировки с помощью дросселирования в системе водоснабжения предприятия, в результате чего была достигнута экономическая эффективность в размере 153,2 миллиона сумов или 3,4% в год, а срок окупаемости предложенного метода регулирования составил 10 месяцев. Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что внедрение системы «Частотно регулируемого асинхронного электропривода насоса с учетом внешних воздействий» для регулировки передачи насосных агрегатов в цехе водоснабжения предприятия будет целесообразным, с учетом стоимости затрат, и это следует включить в план организационно-технических мероприятий среднего уровня для повышения энергоэффективности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе результатов диссертационного исследования на тему «Регулировка режимов работы насосного устройства с помощью частотного электрического привода с учетом внешних воздействий и энергоэффективности» сформулированы следующие выводы:

1. С учетом внешних воздействий и изменчивости рабочих условий эксплуатации насосных агрегатов в технологическом процессе была усовершенствована математическая модель системы «частотный преобразователь – асинхронный двигатель – насос – резервуар». В результате обеспечена возможность работы насосной установки в режимах с минимальным энергопотреблением, при которых регулирование уровня воды в резервуаре и параметров частотного преобразователя позволяет затрачивать 2,7 кВт*ч электроэнергии на подъем 1 м³ воды.

2. Разработан алгоритм управления асинхронным электроприводом при запуске и в рабочих режимах насосного агрегата с учетом двух факторов –

внешних воздействий и энергоэффективности. В результате предложены шесть оптимальных диапазонов регулирования характеристик насосного агрегата.

3. На основе анализа факторов разработан метод частотного регулирования рабочего режима насосной установки в технологическом процессе, обеспечивающий энергосбережение при управлении уровнем воды в резервуаре. Это позволило реализовать управление с адаптацией к трем основным внешним воздействиям.

4. Разработана имитационная модель рабочего процесса насосной установки, управляемой частотным преобразователем с учетом внешних воздействий и энергоэффективности для систем водоснабжения. В результате, за счет взаимосвязи электрических, электромеханических и гидравлических процессов, достигнута адекватность экспериментального анализа на уровне 4,1%;

5. Внедрение системы регулирования рабочих режимов насосной установки с учетом внешних воздействий и энергоэффективности посредством частотно-регулируемого электропривода на насосных агрегатах, используемых в системе водоснабжения промышленных предприятий АО «Андижан Биохимия Заводи» и ООО «Everest Asbest», позволило снизить годовое потребление электроэнергии до 3,1%, что обеспечило ожидаемый годовой экономический эффект в размере 153,2 млн сумов.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.15/31.08.2022.T.73.07 ON THE
ADMISSION OF SCIENTIFIC DEGREES AT THE
TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY**

ANDIJAN MACHINE BUILDING INSTITUTE

XAYDAROV XUMOYUN MUXTOR UGLI

**ADJUSTMENT OF THE OPERATING MODES OF THE PUMPING DEVICE
USING A FREQUENCY ELECTRIC DRIVE, TAKING INTO ACCOUNT
EXTERNAL INFLUENCES AND ENERGY EFFICIENCY**

**05.05.02 – Electrical Engineering. Power stations, systems. Electric power complexes and
installations**

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

Tashkent – 2025

The theme of the dissertation of doctor of philosophy (PhD) in technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under B2022.4.PhD/T3326

The dissertation has been prepared at Andijan Machine-Building Institute.

The Abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is placed on the web page of Scientific Council (www.tstu.uz) and on the Information and Educational Portal «ZiyoNet» (www.ziyo.net).

Scientific supervisor: **Ishnazarov Oybek Xayrilayevich**
doctor of technical sciences, professor

Official opponents: **Kolesnikov Igor Konstantinovich**
doctor of technical sciences, professor

Abidov Qudrat Gayratovich
doctor of technical sciences, professor

Leading organization: **Fergana polytechnics institute**

The defense will be take place on «25» april 2025 at 2⁰⁰ pm. the meeting of the scientific council DSc.15/31.08.2022.T.73.07 Tashkent State Transport University. (Address: 100167, Tashkent, str. Temiryulchilar-1. tel.: (99871) 299-00-01; fax: (99871) 293-57-54, e-mail: rektorat@tstu.uz).

The doctoral (PhD) dissertation can be reviewed at the Information-Resource Center of the Tashkent State Transport University (Registered number № 236). (Address: 100167, Tashkent, str. Temiryulchilar-1. tel.: (99871) 299-00-01; fax: (99871) 293-57-54, e-mail: rektorat@tstu.uz).

Abstract of the dissertation was distributed on « 10 » april 2025 year.
(Mailing report № 026 on « 1 » april 2025).

R.V. Rahimov
Chairman of the Scientific council
on awarding Scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor

Y.O. Ruzmetov
Scientific secretary of the Scientific council
on awarding Scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor

R.M. Mirsaatov
Chairman of this Scientific seminar under
Scientific council on awarding Scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

Research objective: development of control algorithms and improvement of methods considering external influences to enhance the efficiency of a frequency-controlled pump unit used in industrial technological processes.

Objectives of the study:

- conducting a literature review and analysis of research works on energy efficiency and energy conservation in pumping units of asynchronous electric installations with frequency conversion used in technological processes of industrial enterprises;

- conducting theoretical research based on the improvement of the mathematical model of the pumping device, taking into account external influences, variability of the operating mode and energy efficiency;

- development of an algorithm for controlling the operating parameters of a pumping unit with flexibility to external influences and system changes;

- improvement of the method aimed at optimizing the operating modes of the pumping device and effective control of the water level in the tank;

- development of a simulation model of the “frequency converter-asynchronous motor-pump-pipe-reservoir” system, taking into account the requirements of the technological process, as well as conducting experiments based on the experimental model.

The research object is a pumping system with an asynchronous electric drive, controlled via a frequency converter, considering external influences and energy efficiency.

The subject of the research is the method and algorithm for controlling the operating modes of a pumping system with an asynchronous electric drive and a frequency converter, considering the optimization of external influences and energy efficiency.

Research methods. The research utilizes the theory of electric drives for three-phase asynchronous motors and modern control methods, including the analysis of their static and dynamic characteristics, as well as advanced mathematical modeling techniques.

The scientific novelty of the research is as follows:

- improved the mathematical model to ensure energy-efficient control of a frequency-regulated pumping system, considering external influences and the variability of operating modes in the technological process;

- conducted an analysis of external influence factors on the frequency-regulated pumping system, identified the main external impacts, and developed an energy-efficient control algorithm adapted to their changes;

- improved the method for controlling the water level in a reservoir based on frequency regulation of the pump system’s operating mode, considering changes in external influences to ensure energy savings;

- developed a simulation model of the "frequency converter – asynchronous motor – pump – pipeline – reservoir" system, enabling the assessment of energy efficiency

while accounting for the variability of external factors in an industrial technological process.

Implementation of research results. Based on the results of scientific research on energy-efficient operating modes of three-phase asynchronous motors in pump units, controlled using a pump installation with a frequency-regulated asynchronous electric drive, taking into account external influences:

the energy-efficient operating mode system for three-phase asynchronous motors of pump units, controlled using a pump installation with a frequency-regulated asynchronous electric drive, considering external influences, was implemented at JSC “Andijan Biokimyo Zavodi” JSC and “EVEREST ASBEST” LLC (reference from the Ministry of Energy No. 04-11-3407 dated May 17, 2024). As a result, the possibility of optimal control of pump installations in the technological process was created through a frequency converter, taking into account regulation based on three main external influences;

the improved method of water level control in the reservoir, based on frequency regulation of the pump installation's operating mode, ensuring energy savings, was implemented at JSC 'Andijan Biokimyo Zavodi' and LLC 'EVEREST ASBEST' (reference from the Ministry of Energy No. 04-11-3407 dated May 17, 2024). As a result, by controlling the water level in the reservoir through voltage and frequency adjustments corresponding to six optimal ranges for pump installations with an asynchronous electric drive, energy-efficient operating modes were applied to pump units with power ratings of 110 kW and 45 kW. The annual efficiency indicator reached 3.1%, leading to savings of 153.2 million UZS.

The structure and scope of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references, and appendices. The volume of the dissertation is 119 pages of main text.

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

I bo'lim (Част I; Part I)

1. Xaydarov X.M. Ishnazarov O.X. Enhancing energy efficiency in industrial pump units: the role of asynchronous motors with frequency converters // "Engineer" xalqaro ilmiy jurnal, ISSN 3030-3893, Toshkent, 2024. № (4), 7-14-b. (05.00.00; OAK Rayosatining 2024-yil 30-noyabr 364/5-son qarori).
2. Xaydarov X.M. Ishnazarov O.X. Analysis of technological process-induced external influences on pump installations and their impact on energy efficiency // Bulletin news in New Science Society International Scientific Journal Germany,- 2025 Vol. 2 Issue 79-91-b (OAK rayosatining 2016-yil 23-dekabrdagi 232/5-son qarori asosan).
3. Xaydarov X.M. Pirmatov N.B. Nasos agregatlarida asinxron motorning o'tish jarayonlaridagi energiya tejamkorlik masalalarini matematik model orqali tadqiq etish // "Ilm-fan va innovatsion rivojlanish" xalqaro ilmiy-texnikaviy jurnal, ISSN 2181-9637, Toshkent, 2023. № (3), 63-71-b. (05.00.00; OAK Rayosatining 2019 yil 28 fevraldagi 262/9.2-son qarori).
4. Хайдаров Х.М. Пирматов Н.Б. Сўфориш тизимдаги насос агрегатлари асинхрон моторининг иш режимлари // Фарғона политехника институти илмий-техника журнали, ISSN 2181-7200, Farg'ona, 2021. № (1)-25, 172-175 (05.00.00; №20).
5. Xaydarov X.M. Uch fazali qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorni energiya tejamkor boshqarish usuli tadqiqi // Mashinasozlik ilmiy-texnika jurnali, ISSN 2181-1539 Andijon, 2024. № (3), 101-111 b. (05.00.00 OAK rayosatining 2021-yil 30-dekabrdagi 310/10-son qarori).

II bo'lim (Част II; Part II)

6. Xaydarov X.M. Ishnazarov O.X. Mathematical Analysis of the Impact of External Factors on the Operating Modes of Pump Installations in the Technological Process // "Academia Open" xalqaro ilmiy jurnal, ISSN 2714-7444, Indoneziya, 2025. № 1(10), 7-14-b. (08.00.00; OAK Rayosatining 2024-yil 28-avgustdagi 360-son qarori).
7. Xaydarov X.M. Pirmatov N.B., Mahamodjonov S.Y., Matqosimov M.M. Characteristics of the static and dynamic operating modes of the asynchronous generator in renewable energy sources and the production of electric energy control through a frequency converter // E3S Web of Conferences: Volume 480, 2024 II International Scientific and Practical Conference "Energy, Ecology and Technology in Agriculture" (EEA2023), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/-202448001007>.
8. Xaydarov X.M. Qarshiyev K.T., Berdiyurov U.N. Energy saving using a frequency converter in asynchronous motor operating modes // AIP Conference Proceedings: Volume 508, 2024 III International Scientific and Technical Conference "Actual Issues of Power Supply Systems" (ICAIPSS2023), <https://doi.org/10.1063/5.0219049>.

9. Xaydarov X.M. Ishnazarov O.X. Nasos qurilmalari ishlash rejimlariga tashqi omillarning kompleks ta'siri va texnik-texnologik yechimlar // Materialshunoslik yo'nalishi muammolari va innovatsion yechimlari mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy anjuman, Qo'qon, 8-9 noyabr 2024-yil, 152-164 b.
10. Xaydarov X.M. Ishnazarov O.X. Nasos qurilmalari qo'llaniladigan chastotali rostlanuvchi elektr yuritmalarda energiya samaradorlik // Materialshunoslik yo'nalishi muammolari va innovatsion yechimlari mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy anjuman, Qo'qon, 8-9 noyabr 2024-yil, 164-169 b.
11. Xaydarov X.M. Ishnazarov O.X. Nasos qurilmalari ish rejimlariga tashqi ta'sirlar va energiya samaradorligi tahlili // "Zamonaviy energetikaning dolzarb muammolari va rivojlantirish istiqbollari" xalqaro ilmiy-texnikaviy konfereansiya, Qo'qon, 3 oktabr 2024yil, 13-19 b.
12. Xaydarov X.M. Pirmatov N.B. Issues of energy saving in the modes of operation of an asynchronous motor // "Актуальные проблемы системы электроснабжения" сборник трудов международной научно-технической конференции. – Ташкент. ТашГТУ, 2023. Стр. 197-200.
13. Xaydarov X.M. Pirmatov N.B. Pumping units with variable speed and energy saving issues in them // "Актуальные проблемы системы электроснабжения" сборник трудов международной научно-технической конференции. – Ташкент. ТашГТУ, 2023. Стр. 91-94.
14. Xaydarov X.M. Pirmatov N.B. Ishlab chiqarish jarayonlarida suv resurslari bilan ta'minlash tizimi holati // Farg'ona vodiysida fan va texnologiya ilmiy konferensiya materiallari, Respublika ilmiy-texnika anjumani, Namangan, 11-12-may 2023 y. 563-566 b.
15. Xaydarov X.M. Pirmatov N.B. Ishlab chiqarish jarayonlarida suv resurslari bilan ta'minlash tizimidagi nasos agregatlari ish rejimlari // Farg'ona vodiysida fan va texnologiya ilmiy konferensiya materiallari, Respublika ilmiy-texnika anjumani, Namangan, 11-12-may 2023 y. 566-569 b.
16. Xaydarov X.M. Pirmatov N.B. Asinxron elektr yuritmasining statik va dinamik ish rejimlarini modellashtirish // "Elektrotexnika, elektromexanik, elektrotexnologiyalar va elektrotexnika materiallari" Respublika ilmiy-amaliy anjuman materiallari, Andijon, 23-dekabr 2022-y. 250-254-b.
17. DGU (UZ) № DGU 35552. "Chastota o'zgartgich-asinxron motor-markazdan qochma nasos-avtomatik zadviyka" tizimining grafik xarakteristikalarini olish dasturiy ta'minoti // Xaydarov X.M., Pirmatov N.B., Berdiyurov O'.N. // 29.03.2024 yil.
18. DGU (UZ) № DGU 15964. Uch fazali qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorning mexanik xarakteristikalari tadqiqotining dasturiy ta'minoti // Xaydarov X.M., Pirmatov N.B., Berdiyurov O'.N. // 06.05.2022 yil.

Avtoreferat “ _____ ” _____
tahririyatida tahrirdan o‘tkazildi va matnlarni mosligi tekshirildi
(__ . __ . 20__ y).

Qog‘oz bichimi: 84x60-1/16. Rizograf bosma usuli Times New Roman garniturasida.
Shartli bosma tabog‘i: __ b.t. Adadi 100 nusxa. Buyurtma №. ____/202__
Nashrga ruxsat etildi:

Guvohnoma №
“ _____ ” MChJ bosmaxonasida chop etilgan
Bosmaxona manzili: _____, Toshkent sh., _____ ko‘chasi, __-uy.

