ISNN 3030-3907

2026
MAY
ISSUE - 5
VOLUME - 3

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

MAY 2026
Issue - 5, VOLUME - 3

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

NASOS QURILMALARINING ENERGIYA SAMARADORLIGI VA OPTIMAL BOSHQARUV REJIMLARINING TAHLILI

Abdullayev Jamoldin Nurilla o‘g‘li
Toshkent davlat texnika universiteti tayanch doktoranti
E-mail: jamolabdullayevn@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada sanoat nasos qurilmalarining energiya samaradorligini oshirish, optimal boshqaruv rejimlarini qo‘llash bo‘yicha joriy adabiyotlar o‘rganib tahlil qilingan. Nasoslarning energiya samaradorligiga ta’sir etuvchi omillar, nasos elektr yuritmasini tanlash va rostlanuvchi tezlikli zamonaviy boshqaruv usullariga urg‘u berilgan. Mantiqiy boshqaruv algoritmi asosida ishlaydigan tizimlar, ularning kompyuter modellari va o‘tkazilgan tadqiqotlarning natijalari tahlil qilingan.

Kalit so‘zlar: Nasos, elektr yuritma, kompyuter modeli, energiya samaradorlik, chastota o‘zgartgich, Matlab/Simulink, PID-kontroller, mantiqiy algoritmli boshqaruv.

Аннотация. В данной статье проанализированы современные научные работы по повышению энергоэффективности промышленных насосных установок и применению оптимальных режимов управления. Особое внимание уделено факторам, влияющим на энергоэффективность насосов, выбору электрического привода насоса и современным методам управления с регулируемой скоростью. Рассмотрены системы, работающие на основе логического алгоритма управления, их компьютерные модели и результаты проведённых исследований.

Ключевые слова: насос, электрический привод, компьютерная модель, энергоэффективность, частотный преобразователь, Matlab/Simulink, PID-контроллер, управление на основе логического алгоритма.

Abstract. This article analyzes recent scientific studies on improving the energy efficiency of industrial pumping systems and the application of optimal control modes. Particular attention is given to factors influencing pump energy efficiency, the selection of electric drives for pumps, and modern variable-speed control methods. Systems based on logical control algorithms, their computer models, and the results of conducted studies are also examined.

Keywords: pump, electric drive, computer model, energy efficiency, frequency converter, Matlab/Simulink, PID controller, logic-based control.

KIRISH.

Nasos qurilmalari sanoatda, xususan, konchilik korxonalarida muhim o‘rin tutuvchi qurilmadir. Boyitish fabrikalarida yanchilgan rudani pulpa ko‘rinishida tashish ishlab chiqarishdagi eng muhim jarayonlardan biridir. Shuningdek ular katta quvvatli elektr yuritmalar yordamida boshqariladi. Bu

ISSN 3030-3907

shuni anglatadiki, jarayon ko‘p miqdorda elektr energiyasini iste’mol qiladi. Shuning uchun nasos qurilmalarida energiya tejovchi nasos va dvigatellarni qo‘llash, optimal ish rejimlarini ta’minlash elektr energiyasidan iqtisod qilish bilan birga qurilmalarning xizmat muddatini uzaytirishga yordam beradi.

Hozirgi kunda elektr yuritmaning ko‘plab turlari mavjud bo‘lib, ularni turli xil rejimlarda ishlatish mumkin. Ishlab chiqarish jarayonida tezlikni rostlash ehtiyoji mavjudligini inobatga olsak, chastotani o‘zgartirib tezlikni rostlash eng samarali, tejamkor va qulay boshqaruv usuli deyish mumkin.

TADQIQOTNING METODOLOGIYASI.

Ushbu ishning maqsadi nasos qurilmalarining energiya samaradorligini oshirishning zamonaviy usullarini tahlil qilish va tog‘-kon sanoati sharoiti uchun optimal boshqaruv tuzilmasini tanlashni asoslashdir.

Maqsadga erishish uchun quyidagi vazifalar belgilandi: 1) energiya samaradorligiga ta’sir etuvchi omillarni o‘rganish; 2) chastotali boshqaruvning mexanik boshqaruvga nisbatan energiya samaradorligini baholash; 3) o‘zgaruvchi parametrlarning tizim barqarorligiga ta’sirini tadqiq etish; 4) boshqaruv algoritmlarini qiyosiy tahlil qilish.

Nasos qurilmalarining yuqori samaradorlikda ishlashida nasos agregati va stansiyasining xavfsizligi va ishonchliligi muhim ahamiyatga ega. Yuz berishi mumkin bo‘lgan nosozlik va avariyalarni tahlil qilish uchun ehtimoliy xavfsizlik tahlili o‘tkaziladi. Lekin barcha qismlar haqida to‘liq ma’lumot bo‘lmaganda sifatli va to‘liq tahlil olish imkoni bo‘lmaydi. Shuning uchun barcha qismlar orasidagi funksional bog‘lanishni hisobga oluvchi strukturaviy sxema ishlab chiqish orqali bu jihatlarni samarali tarzda nazorat qilish mumkin. Bunda butun nasos stansiyasi yaxlit bir tizim deb qaraladi [1].

Sanoat nasoslari va motorlarining energiya samaradorligini tahlil qilish va oshirish uchun asosiy elektr kattaliklar (kuchlanish, tok, quvvat koeffitsiyenti) va mexanik kattaliklar (unumdorlik, bosim, temperatura) asosida tadqiqot o‘tkaziladi.

Energiya tejamkorlikka quyidagi asosiy omillarni ta’sir qiladi: past samaradorligi past nasoslarni almashtirish, muntazam va sifatli texnik xizmat ko‘rsatish, motor turini to‘g‘ri tanlash, yuqori samarali motorlardan foydalanish, kavitatsiyani bartaraf etish.

O‘rganishlar ko‘rsatadiki, motorlarning ko‘pi 60–90% nominal yuklamada ishlaydi va bunda samaradorlik 80%dan yuqori. Yuklamaga mos bo‘lmagan katta quvvatli motorlarni kichik, to‘g‘ri quvvatli motorlar bilan almashtirish samaradorlikni oshiradi. Kavitatsiya tizimda shovqin va siltanish keltirib chiqaradi va nasos agregatining ekspluatatsion muddatini qisqartiradi [2].

ISSN 3030-3907

Pulpa tarkibidagi qattiq zarralar konsentratsiyasi ham nasos ishlashiga va energiya samaradorligiga ta’sir qiladi. Buni aralashma uchun rezervuar, motor, kirish va chiqish qismidagi bosim o‘lchagichlari va sezgir datchiklardan iborat tajriba stendida ham ko‘rish mumkin [3]. Tajriba asosida quyidagi xulosalarni olish mumkin:

Pulpa tarkibidagi qattiq zarrachalarning konsentratsiyasi va o‘lchamlari ortishi bilan nasosning FIK va bosimi kamayadi. Iste’mol qilinadigan elektr quvvat esa ortadi. Bosimning me’yoridan ortiq kamayishi esa kavitatsiya hodisasini keltirib chiqaradi. Bu esa nasosning samarali ishlash imkoniyatini kamaytiradi [3].

Sanoat nasoslaridagi gidroabraziv yeyilish uning samaradorligiga ta’sir ko‘rsatadi. Xususan, pulpa tarkibidagi qattiq zarrachalar nasos qismlarini sekin-asta yemiradi. Natijada nasos qismlarining shakli o‘zgaradi, samaradorlik pasayadi va elektr energiyasi ko‘proq sarflanadi. Tadqiqot shuni ko‘rsatadiki, nasos qismlari yeyilganda ish unumdorligi 25–45% gacha kamayadi. Ayrim detallar, masalan ishchi g‘ildirak tez ishdan chiqadi (taxminan 550 soat xizmat qiladi). Vaqt o‘tishi bilan yuzada yoriqchalar paydo bo‘ladi va yeyilish tezlashadi.

Mualliflar quyidagi yechimlarni tavsiya qiladi:

—nasosni minimal aylanish tezligida ishlatish (bu qismlar xizmat muddatini 6 barobargacha uzaytiradi);

—mustahkam qoplamalar qo‘llash;

—kanal shaklini yaxshilash.

Xulosa shuki, yeyilish nasos samaradorligini tushiradi va elektr isrofini oshiradi, shuning uchun uni oldindan nazorat qilish va to‘g‘ri ekspluatatsiya qilish juda muhim [4].

Katta nasos agregatlarini to‘g‘ri tekshirish va ishlashini nazorat qilish [5] adabiyotda o‘rganiladi. Nasoslarni faqat tashqi holatini ko‘rib nazorat qilish yetarli bo‘lmaydi. Chunki bunda quyidagi muammolarni aniqlash qiyin:

— yashirin nosozliklar
— qizish
— avariyaviy holatning boshlanishi.

Nasos holati kompyuter tizimi asosida ishlaydigan diagnoztikani qo‘llash orqali bunday kamchiliklarni erta aniqlash mumkin. Bu tizim datchiklardan ma’lumot yig‘adi,ularni tahlil qiladi. Buning natijasida texnik xizmatni rejalashtirish yaxshilanadi va xavfsizlik darajasi oshadi. Tadqiqot natijasida quyidagilar taklif etiladi:

1. Muayyan qismlar, xususan yuqori va pastki yo‘naltiruvchi podshipniklar,

ISSN 3030-3907

stator chulg‘ami va magnit o‘zak uchun diagnostika algoritmlari ishlab chiqilgan.

2. Xavfni baholash uchun formula va neyron tarmoqlardan foydalanish. Bu operatorlarga texnik buzilish darajasini aniqlash va uning jiddiyligini baholash imkonini beradi.

3. Titrash va harorat nazorati. Ilgari issiqlik elektr stansiyalarida qo‘llanilgan titrash va harorat diagnostikasi algoritmlari vertikal nasos agregatlariga moslashtirilgan.

4. Nosozliklarni bartaraf etish. Bunda ehtimoliy nosozliklar ro‘yxati berilgan, masalan: moy sathi pasayishi, sovitish tizimida suv sizishi. Shuningdek, ularni bartaraf etish yo‘llari ko‘rsatilgan.

Diagnostika tizimi quyidagilarni nazorat qiladi:

—stator chulg‘ami harorati — 120°C dan oshmasligi;

—podshipnik harorati — 70°C dan oshmasligi;

—past chastotali radial titrash (1–8 Gs);

—valning tebranishi.

Bu parametrlar belgilangan qiymatdan chetga chiqqan hollarda tizim ogohlantirish beradi.

Qo‘shimcha ravishda rotor magnit maydonining asimmetriyasi ham nazorat qilinadi. Bu rotorning holatini aniqlash va chulg‘amda qisqa tutashuv mavjudligini topish uchun zarur [5].

Rivojlanayotgan mamlakatlarda kichik va o‘rta korxonalarda energiya samaradorligini oshirish muhim masaladir. Sanoat nasos tizimlarini to‘g‘ri loyihalash va texnik xizmat ko‘rsatish orqali sezilarli energiya tejamkorligini ta’minlash mumkin. Ishlash samaradorligini baholash uchun nasos tizimlarining energiya auditini o‘tkaziladi. Bunda ultratovushli sarf o‘lchagichlar, raqamli bosim o‘lchagichlar va elektr quvvati analizatorlari yordamida amaliy o‘lchovlar olinib samaradorlik baholanadi va zaruriy tavsiyalar ishlab chiqiladi.

Tadqiqot doirasida o‘tkazilgan energiya auditi [6]quyidagicha natijalarni ko‘rsatdi: O‘rganilgan tizim 44,13 kW·soat ishlatadi, tizimni optimallashtirish orqali esa nasoslar 34,94 kW·soat talab qiladi, ya’ni ~21% energiyani tejash imkoniyati mavjud. Ko‘rsatilgan samaradorlikka erishish uchun quyidagi tavsiyalar ishlab chiqilgan:

—nasoslarni bajaradigan ishiga qarab to‘g‘ri tanlash;

—quvur tarmoqlarini mos o‘lchamda loyihalash;

—quvurlarni muntazam tozalash [6].

Dunyodagi barcha elektr dvigatellar iste’mol qiladigan elektr energiyaning 20-22% qismi aynan nasos qurilmalariga to‘g‘ri keladi. Shuning

ISSN 3030-3907

uchun [7]da energiya tejamkorlik masalasi tahlil etilgan. Muammoga alohida komponentlar darajasida emas, balki kompleks yondashuv olib borish orqali 30-50% energiya tejashga erishish mumkin. Buning uchun quyidagi jihatlar inobatga olinishi kerak:

— samarador komponentlarni tanlash. Bunda dvigatel turini to‘g‘ri tanlash muhimdir. Asinxron dvigatellar ishda ishonchli bo‘lgani sababli keng qo‘llaniladi. Lekin hozirda reaktiv sinxron dvigatellar tobora ommalashib bormoqda. Ularning asosiy afzalliklari quyidagilar: foydali ish koeffitsiyenti yuqori, ishonchliligi yuqori.

— sistemaning o‘lchamlarini to‘g‘ri hisoblash. Quvur tizimini to‘g‘ri hisoblash va tanlash orqali 15-20% energiya tejam mumkin. Bunda quvurlarni o‘ta kichik diametrda tanlamaslik, quvur uzunligini ehtiyojdan ortiq uzaytirmaslik, gidravlik qarshiliklarni kamaytirish muhimdir.

— zamonaviy boshqaruv algoritmlarini qo‘llash. Bu chastota o‘zgartgichlarni qo‘llashni nazarda tutadi. Chastota o‘zgartgichlar dvigatel tezligini silliq rostlashga va dvigatelning har doim to‘liq quvvat bilan ishlamasligini ta’minlashga yordam beradi. Skalyar boshqaruvli chastota o‘zgartgichlarning aniqlik va reaksiya ko‘rsatish darajasi past. Vektor qonuniyatga asoslanib ishlaydigan chastota o‘zgartgichlar esa tezlikni rostlashda tezkor reaksiya ko‘rsata oladi, moment qiymatini aniq rostlaydi va energiya isroflari ham kamroqdir.

Xususan, parallel ishlayotgan nasoslarga ushbu choralarni qo‘llash yuqori energiya samaradorlikka erishishni ta’minlab beradi [7].

MUHOKAMA VA NATIJALAR.

Turli elektr yuritmaga ega bo‘lgan nasos qurilmalarida noaniq (fuzzy) PID-algoritm qo‘llash orqali dvigatel tezligini rostlash va zarur tezlikkka erishish mumkin. Xususan, [8]da rezervuar, suv jo‘mragi, bosim regulyatorlari va bosim, moment hamda tezlik datchiklaridan iborat fizik tizim yaratilgan. Bunda teskari aloqali ikki konturli Sistema joriy qilindi. Ichki kontur dvigatelning tokini nazorat qiladi va kerakli momentni shakllantiradi. Tashqi kontur esa aylanish tezligini nazorat qilib tok konturiga signal beradi.

Berilgan tezlik tezlik konturi kerakli tok kuchitok konturidvigatel boshqaruvi bunda zaruriy koeffitsiyentlar ish rejimidan kelib chiqqan holda avtomatik tarzda rostlanadi, ya’ni yuklama o‘zgarishlariga yaxshiroq reaksiya ko‘rsatadi, rostlanishdagi chetga chiqishlarni kamaytiradi, belgilangan qiymatga tezroq erishadi.

Odatdagi o‘rnatilgan qiymatlar bo‘yicha ishlovchi PID-kontroller tizimi o‘zgarmas tok dvigatelining nochiziqlilik xususiyatlariga moslashishda

ISSN 3030-3907

muvaffaqiyatli emas va valdagi moment keskin o‘zgarganda beqarorlik holati vujudga keladi.

Ushbu ishda noaniq (fuzzy) PID-algoritm Simulink dasturida simulyatsiyalash va real fizik qurilmada tajriba o‘tkazish orqali algoritmning samarali ishlashi o‘rganilgan va isbotlangan.

Tajriba natijalari quyidagini ko‘rsatdi:

—tezlikning o‘rnatilgan qiymatdan chetga og‘ishi 0,3% dan kam;

—simulyatsion model shuni ko‘rsatdiki, yuklama momenti 1N·m dan 4N·m ga keskin o‘zgarganda tizim darhol stabillashdi va tezlik darhol talab etilgan tezlikka (masalan, 1500 dan 3500 ga) erishdi [8].

Nasosning turli parametrlarini boshqarishda boshqaruv tizimlarining o‘rni katta. Masalan, suyuqlik sarfini rostlashda qo‘lda boshqariladigan tizim o‘rniga mikroprosessorli boshqaruvga asoslangan avtomatik tizim qo‘llash orqali suyuqlik sarfini samarli nazorat qilish va rostlash mumkin. Shunday tizim qo‘llanilgan eksperimental taribada PID-regulyator yordamida boshqarish rostlash jarayoniga qanday ta’sir etishini ko‘rishimiz mumkin. PID-regulyatorning turli sozlamalarini tajriba qurilmasida sinab ko‘rildi va quyidagilar tekshirildi:

—sistemaning kerakli rejimga qay darajada tez erishishi;

—sistemaning qanchalik barqaror ishlashi;

—K_p, K_i, K_d koeffitsiyentlarning tizimga ta’siri.

PID-regulyator faqat integral qismi bilan ishlaganda va K_i=25 bo‘lganida sistemaning barqaror rejimga erishishi uchun 11,7 s vaqt talab etildi. Keyingi koeffitsiyentlarni ham kiritish orqali sistemani yaxshilash mumkin. Masalan, K_p=2 koeffitsiyent kiritilganida umumiy reaksiya vaqti 10%ga qisqarishini ko‘rishimiz mumkin. Bunda umumiy vaqt 10,6 s ni tashkil etdi.

1-Jadval.

PID regulyator parametrlari va tajriba natijalari [9]

№	Kp	Ki	Kd	Reaksiya vaqti, s
1.	0	25	0	11,7
2.	2	25	0	10,6
3.	5	10	0	23,3

Sistemada ishonchliligi eng past bo‘lgan qism bu elektron sarf o‘lchagich ekanligi ma’lum bo‘ldi. Buning sababi sarf o‘lchagich suv oqimini bir tekis holatda emas, balki qadamli ko‘rinishda (diskret) ko‘rsatganligidir. Bundan xulosa qilish mumkinki, aniqligi yuqori bo‘lgan sarf datchigi qo‘yish orqali sistemaning reaksiya qobiliyatini ancha yaxshilash mumkin [9].

ISSN 3030-3907

Energiya tejamkorlikka erishishda chastota o‘zgartkichlardan foydalanish hozirgi zamonning eng doldarb talablaridan biridir. Xususan, chastota orqali boshqariladigan (ChO‘) elektr yuritmalarni boyitish fabrikalaridagi asosiy pulpa nasoslariga o‘rnatish elektr energiya sarfini va umumiy xarajatlarni sezilarli kamaytiradi. Oddiy usulda suyuqlik darajasi mexanik klapanlar (zadvijka) bilan boshqariladi. Bu usulda nasos doim bir xil tezlikda aylanadi va ortiqcha energiya yo‘qotiladi. MatLab/Simulink dasturida matematik model tuzib, tezlikni o‘zgartirish orqali boshqarish ancha samarali ekanini ko‘rish mumkin.

Olmos konlarida o‘tkazilgan amaliy o‘rganishlar ko‘rsatadiki, pulpa bilan ishlash tizimi juda katta xarajat talab qiladi — umumiy ishlab chiqarish xarajatlarining 34–48% qismi shu jarayonga to‘g‘ri keladi. Undan tashqari 1 tonna ruda uchun o‘rtacha 11–13 m^3 suv sarflanadi. Shuning uchun nasos tizimini optimallashtirish iqtisodiy jihatdan juda muhim.

Model orqali tezlik, moment va quvvatning o‘tish jarayonlari grafiklarda ko‘rsatiladi. Chastotali boshqaruv bilan oddiy mexanik qulf bilan rostlash usuli bevosita solishtirilgan.

Ushbu tadqiqot shuni ko‘rsatadiki, elektr yuritmalarni boshqarishda ChO‘ ishlatilganda energiya sarfi 42% ga kamaygan. Solishtirma energiya sarfi esa 0,51 kW·soat/m^3 dan 0,41 kW·soat /m^3 gacha tushgan.

Energiya tejamkorlikdan tashqari quyidagi afzalliklarga ham erishish mumkin:

—nasos yumshoq ishga tushadi va to‘xtaydi;

—detallar kamroq yeyiladi;

—ta’mirlash xarajatlari kamayadi;

—xizmat muddati uzayadi.

Yuqori kuchlanishli ChO‘ lar qimmatligi va maxsus xizmat talab qilishi kabi kamchiliklar mavjudligiga qaramay umumiy energiya tejalishi sababli ularni qo‘llash o‘zini oqlaydi [10].

Ruda qazib olish va tayyorlash umumiy energiyaning 38% dan ortig‘ini sarflaydi. Elektr yuritmalar esa dunyo bo‘yicha ishlab chiqarilgan energiyaning 60% dan ko‘prog‘ini iste’mol qiladi. Undan tashqari dvigatel to‘g‘ridan-to‘g‘ri ishga tushirilganda ishga tushish toki katta bo‘ladi va bu tarmoqqa zarar yetkazishi mumkin. Shuning uchun sozlanadigan yuritmalarni qo‘llash, ishga tushirish va ishlash rejimi uchun eng optimal boshqaruv qonunini aniqlash energiya tejashda juda muhim. Xususan, konchilik korxonalarida plastinkali konveyerlar chastota o‘zgartirgich (ChO‘) orqali boshqarilsa, unda:

—ishga tushish silliq bo‘ladi;

—tok sakrashi yuz bermaydi;

—butun ruda tayyorlash tarmog‘i barqaror ishlaydi.

50 kW li chastota o‘zgartirgich va maxsus uch fazali energiya analizatoridan

ISSN 3030-3907

foydalanib o‘tkazilgan tajriba asosida quyidagi xulosalarni olish mumkin:

1. Ishga tushishning eng optimal usuli — chastotani vaqt bo‘yicha chiziqli oshirishdir. Bu holda tok nominal qiymatdan oshmaydi.
2. Kuchlanish va tok tarkibi (50-garmonikagacha) tahlil qilingan. ChO‘dan chiqayotgan kuchlanish ideal sinusoida shaklida emas.
3. Konveyerga doimiy chiziqli yuklama berish usuli ishlab chiqilgan. Bu maydalagich va tegirmonlar barqaror ishlashi uchun muhim.

ChO‘ chiqishida yuqori garmonikalar mavjud bo‘lib, ular izolyatsiya qizishi, tebranish va shovqinni oshirishi mumkin. Shuning uchun kommutatsiya chastotasini to‘g‘ri tanlash zarur [11].

Irrigatsiya nasos stansiyalaridagi asosiy masala energiya tejamkorlikka erishish va birlik suv hajmi uchun energiya sarfini kamaytirishdan iborat. Ilmiy tadqiqot [10] shuni ko‘rsatadiki, motor–nasos–quvur tizimini matematik modellashtirish orqali energiya sarfi va uskunaning texnik holatini oldindan prognoz qilish mumkin. Ratsional boshqaruv algoritmlarini qo‘llash nasoslarni ishga tushirish va ishlash parametrlarini optimallashtiradi, energiyani tejash bilan birga suv ta’minoti jadvaliga rioya qilish imkonini beradi. Shuningdek, nasos turi, quvvati va bosh quvur loyihasiga qarab optimal sozlanadigan elektr yuritmani tanlash usuli taklif etilgan. Umumlashtirilgan dinamik modellar nasosning qarshilik momentini turli ish sharoitlarida hisoblash imkonini beradi. Gidravlik zarbni kamaytirish maqsadida bosim keskin oshganda nasos tezligi pasaytiriladi, bosim kamayganda esa tezlik oshiriladi. Sozlanadigan va sozlanmaydigan yuritmalarni birlashtirgan avtomatik boshqaruv sxemalari orqali samarali boshqaruv ta’minlanadi.

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, nasos tezligini chastota o‘zgartirgich (ChO‘) orqali boshqarish eng energiya tejamkor usul bo‘lib, oddiy mexanik usulda rostlashga nisbatan samaraliroqdir.

Nasos elektr yuritmalarida boshqariladigan elektr yuritma qo‘llanilganida quyidagi quyidagi talablarga rioya qilish zarur:

—sinxron motor qo‘llanganida ishga tushirish momenti nominal qiymatning kamida 25 foizini tashkil etishi kerak;

—ko‘p motorli agregatlarda esa ketma-ket ishga tushirish tok sakrashini 25–30 foizga kamaytiradi. Faza rotorli asinxron motorlarda sirpanishning ayrim qiymatlarida (masalan, s = 1/3) tok, quvvat va tezlik tebranishlari yuzaga kelishi mumkin, bu esa quvurlarda gidravlik tebranishlarga sabab bo‘ladi;

—tizim talablariga mos ravishdatezlikni 10:1 yoki undan katta diapazonda boshqarish;

—ishga tushirish momentini $(0{,}4–0{,}6)\cdot M_n$ darajada ta’minlash;

ISSN 3030-3907

—tarmoqdagi uzilish yoki tizimdagi nosozlik sodir bo‘lganida tormoz rejimini qo‘llash zarur.

Aytib o‘tilgan chora tadbirlar orqali nasos agregatlarini ishga tushirish va ishlash jarayonini yumshatish, gidravlik zarbni kamaytirish hamda texnologik jarayon barqarorligini oshirish orqali irrigatsiya tizimlarida energiya va resurslarni tejash mumkin [12].

Maqola issiqlik nasosining ishlashini matematik model yordamida o‘rganadi. Unda turli issiqlik manbalari (masalan, havo yoki yer issiqligi) tizimning samaradorligiga qanday ta’sir qilishini ko‘rsatadi. Tizim samaradorligi issiqlik manbasi temperaturasi va ish rejimiga bog‘liq. Umumiy issiqlik atrof-muhitdan olingan issiqlik va kompressor ishlatgan elektr energiyasi yig‘indisiga teng. Issiqlik nasoslari suvni va binolarni isitish uchun samarali, lekin samaradorlik temperatura o‘zgarishiga qarab o‘zgarishi mumkin [13].

Kompyuterda simulyatsion matematik model yaratish orqali nasosning ish rejimlarini tahlil qilish mumkin. Shunday model Scilab/Xcos dasturida yaratilgan bo‘lib, unda markazdan qochma pulpa nasos, ChO‘ bilan boshqariladigan asinxron motor va pulpa haydaladigan quvurni birgalikda ifodalangan. Asosiy maqsad — sanoatda pulpa haydashda pulpa zichligi va kontsentratsiyasidagi o‘zgarishlarni hisobga oluvchi boshqaruv algoritmlarni ishlab chiqishdir.

Dastur yordamida faqat mexanik yoki elektr kattaliklar emas, balki bosim, rotor tezligi, moment va mexanik quvvatni bir vaqtning o‘zida tahlil qilish imkoniyati mavjud.

Modelni tekshirish uchun GrAT-225-67-3-2-2 nasosida sinov tajribasi o‘tkazilganda simulyatsion model natijalari real jarayonlarga mos kelishi isbotlandi [14].

Nasos tizimlarini optimallashtirish, ayniqsa parallel ishlaydigan nasos agregatlarini tahlil qilishda simulyatsion model yaratish uchun Matlab / Simulink dasturidan ham foydalanish mumkin. Chastotali boshqaruv keng qo‘llanilayotgan sharoitda nasoslar sonini optimal belgilash va elektr energiyasini kamaytirish uchun modellashtirish muhimdir. Model elektr tarmog‘i, asinxron motorlar, mexanik inertsiya, nasos, suyuqlik xossalarini ifodalovchi bloklardan iborat bo‘lib, uning yordamida bir nechta nasos parallel ishlaganda energiya samaradorligi eng yuqori bo‘lgan ish rejimini tanlash metodologiyasi ishlab chiqilgan. Model real sanoat nasosi — Grundfos TP 32-150/2 texnik xususiyatlari bilan tekshirilgan. Model va real fizik obyektdan olingan natijalar mos keladi. Model yordamida an’anaviy doimiy tezlikdagi ish va zamonaviy chastota boshqaruvi orasidagi energiya samaradorligini solishtirish mumkin. Parallel tizimlarda nasos sonini optimal tanlash energiya

ISSN 3030-3907

tejamkorlikni oshiradi [15].

Maqola [16]da asinxron motor tezligini boshqarish uchun mantiqiy algoritmli kontroller (fuzzy logic controller)dan foydalanish va uning parametrlarini TV-PSO algoritmi bilan optimallashtirish o‘rganiladi. Bu kontrollerni real vaqt rejimida avtomatik tarzda eng optimal sozlamalarga rostlab beradigan algoritmdir. Bu bilan sanoat elektr yuritmalarida yuqori dinamik samaradorlikga erishish mumkin. Tadqiqot natijalari Matlab/Simulink matematik modeli va laboratoriya tajribasi bilan asoslangan.

Algoritm quyidagi imkoniyatlarni beradi:

— dvigatel kam yuklamada ishlaganda magnit o‘zakda yo‘qotishlar vujudga keladi. Uni kamaytirish uchun algoritm buyruqlari asosida magnit oqimni nominal qiymatidan kamaytirish kerak bo‘ladi.

— sanoat elektr yuritmalari odatda tezlik yoki moment rejimida ishlaydi, ya’ni o‘zgaruvchan momentda tezlikni barqaror ushlab turish asosiy muammodir.

— valdagi yuklama 50%ga o‘zgarganida tizim 1 soniyadan kam vaqt ichida ortiqcha tebranishlarsiz barqarorlashadi.

— o‘rnatilgan tezlik 100 rad/s bo‘lganda valga ortiqcha yuklama berilganida tezlik pasayishi 5%ni tashkil etdi. Bu esa tezlikni barqaror saqlash deganidir.

PI kontroller va mantiqiy algoritmli (fuzzy logic) kontroller imkoniyatlari taqqoslangan. Bunda algoritm quyidagi amaliy ustunliklar beradi:

—TV-PSO yordamida optimallashtirilgan fuzzy kontroller asinxron motorlarida tezlikni aniq va barqaror boshqaradi;

—dinamik javob tez, xatolar minimal va samaradorlik yuqori;

—avtomatik rostlash vaqtini sezilarli qisqartirib inson aralashuvini kamaytiradi [16].

Nasos stansiyalarining samaradorligini oshirish uchun rostlanadigan elektr yuritmaga o‘tish zarur. Chunki ular mexanik va gidravlik elementlarning murakkab o‘zaro ta’sirini hisobga oladi. Tadqiqot quyidagi xulosalarni taqdim etadi:

— rostlanadigan elektr yuritmalarga o‘tish resursni tejash va energiya samaradorligini oshirish imkonini beradi;

— o‘zgaruvchan, ko‘p motorli elektr yuritmalarni qo‘llash suv ta’minoti jadvaliga rioya qilishni osonlashtiradi va solishtirma energiya sarfini kamaytiradi;

— gidravlik rejimlarni bir xilda saqlash va quyi suv sathini nazorat qilish avtomatik boshqaruv tizimi uchun muhim;

— gidravlik va elektromexanik rejimlar o‘zaro ta’sirini optimallashtirish orqali nasos stansiyalari resurs tejamkorlikda an’anaviy tizimdan yuqoriroq

ISSN 3030-3907

samaradorlikka erishadi [17].

Maqola yumshoq o‘simliklar aralashgan suvni markazdan qochma nasos qanday haydashini o‘rganadi. Nasos o‘simliklar aralashgan suvni haydaganda bosim va samaradorlik kamayadi. Shu bilan birga iste’mol qilinadigan quvvat ortadi. Tadqiqot ishida suv va o‘simliklarni aralashtirish uchun maxsus tajriba qurilmasi yaratgan. Tajribalar asosida nasos bosimi qanchaga kamayishini hisoblash formulnhasini ishlab chiqqan [18].

U doimiy magnitli sinxron motorlar yordamida markaziy nasos tizimlarining ishlash samaradorligini oshirishni va energiya tejashni fuzzy PID nazorat tizimi orqali o‘rganadi. An’anaviy uch fazali asinxron motorlarning samaradorligi va quvvat koeffitsiyenti past bo‘ladi, bu ayniqsa kam yoki o‘zgaruvchan yuklamalarda ko‘proq namoyon bo‘ladi.

Noaniq mantiqiy algoritmli PID bilan boshqariladigan doimiy magnitli o‘zgarmas tok motorlari o‘zgaruvchan ish sharoitlarida an’anaviy PID yoki V/f=const qonuniyat bilan boshqariladigan elektr yuritmalarga nisbatan tezkor va moslashuvchan nazoratni ta’minlaydi. PID kontroller o‘z parametrlarini tezlik o‘zgarishi asosida avtomatik o‘zgartiradi. Impulsli modulyatsiya yordamida uch fazali inverterni boshqaradi, chastota va kuchlanish qiymatini aniq sozlaydi. Shuningdek, moment barqarorligini saqlash, tezlikni rostlashning aniqligi, katta og‘ishlarda tez tiklanish imkonini beradi [19].

Shuni unutmaslik kerakki, nasos tizimlarining matemvfatik modelini yaratganda motor va gidravlik qismlarni bir xilda inobatga olish muhim ahamiyatga egadir. Faqat bir qismni inobatga olib, ikkinchi tizimni soddalashtirish natijasida haqiqiy jarayonlarni to‘liq o‘rganish cheklanadi. Elektromexanik va gidravlik subsistemlar bir xil darajada tasvirlangan matematik model ichki elementlarni bir vaqtning o‘zida o‘rganish mumkin [20].

2-Jadval.

PID kontroller va fuzzy logic kontroller bilan olingan natijalar [21]

Ko‘rsatkich	PID kontroller	Fuzzy logic kontroller
Tezlikka erishish vaqti, s	19,2549	19,1999
Barqarorlashish vaqti, s	23,6226	23,5197
Rostlanish xatoligi	0,0256	0,00088

Chuqurlik nasoslarining ish samaradorligini oshirish uchun intellektual boshqaruv tizimlarini qo‘llash bo‘yicha o‘tkazilgan tadqiqotlar quyidagilarni

ISSN 3030-3907

ko‘rsatadi. Bunda nasos tezligini mantiqiy algoritmli (fuzzy logic) kontroller yordamida boshqarish, an’anaviy PID o‘rnini bosuvchi yoki uni yaxshilovchi usul ekanligi ko‘rsatilgan. Bunday boshqaruv tizimini qo‘llashdan maqsadlar: yumshoq ishga tushirish, neft chiqarish samaradorligini optimallashtirish, energiya tejamkorligini maksimal darajada oshirish, nasos ishini real vaqt parametrlariga qarab avtomatik boshqarish. Tadqiqot uchun o‘zgaruvchan tezlikli yuritma, ko‘p bosqichli nasos, uch fazali asinxron motor va gidravlik quduq modeli yaratilgan. Chastotani 50 Gs dan 56 Gs ga oshirilganda mantiqiy boshqarish va PID kontrollerlari quyidagi ko‘rsatkichlar bo‘yicha taqqoslangan [21].

Simulyatsion model yordamida markazdan qochma nasosni boshqarishning 2 usuli, ya’ni o‘zgarmas tezlikli va PID-regulyatorli ChO‘ bilan boshqariladigan usullar taqqoslanadi. Model motor, markazdan qochma nasos, bosim datchiklari va bosimning sakrab o‘zgarishini so‘ndirish uchun xizmat qiluvchi gidroakkumlyatordan iborat. Tajriba shuni ko‘rsatadiki, o‘zgaruvchan tezlik bilan boshqariladigan nasos qurilmasi bosimni ravon rostlash, gidrozarbalarni so‘ndirish va energiya sarfini kamaytirish imkonini beradi [22]. Sanoat korxonalarida pulpa haydovchi nasoslar va suv chiqarish qurilmalarini suv so‘rish tizimi va elektr yuritmasini yagona texnologik tizim sifatida ko‘rib, ularni kompleks optimallashtirish masalasi dolzarb ilmiy va amaliy ahamiyat kasb etadi [31].

3-Jadval.

Nasos qurilmalarini boshqarish metodlari uchun taqqoslama jadval

Metod nomi	Afzalligi	Kamchiligi	Qo‘llanilish sohasi
Mexanik usul (drossel/ventil)	Joriy etish sodda va arzon [23]	Energiya isrofi katta; katta quvvat iste’mol qiladi [7], [23]	eski tizimlar, oddiy irrigatsiya tarmoqlari, o‘zgarmas tezlikli sanoat nasoslari
Chastota o‘zgartgich (skalyar – V/f)	narxi arzon, sodda algoritm, sozlamalari oddiy, kommutatsiya isroflari kam [7], [24].	Aylantiruvchi moment dinamikasi past, rostlash aniqligi past, o‘zgaruvchan rejimlarda magnit oqimi to‘yinishiga ta’sirchan [7], [25].	Bir bosqichli nasoslar, ventilyatorlar [24], [19].

ISSN 3030-3907

3-jadval davomi

Chastota o‘zgartgich (vektorli)	Yuqori aniqlik, tezlik va moment o‘zgarishiga moslashuvchanlik [24], [26]	Murakkab hisoblashlarni, dvigatelning aniq parametrlarini, sozlamalarni talab etadi [7], [24].	Ilg‘or sanoat elektr yuritmalari, suyuqlik sarfini yuqori aniqlikda rostlash talab etiladigan nasos qurilmalari [25], [27].
PID kontroller	Teskari aloqa hisobiga yuqori dinamik xarakteristikaga ega, o‘rnatilgan rejimni barqaror saqlaydi [19]	Keskin sharoitlarga moslashuvchanligi past, parametr sozlamalari murakkab [19]	Ko‘p bosqichli nasoslar, teskari aloqaga asoslangan avtomatlashtirilgan sanoat qurilmalari [19]
Noaniq mantiqiy algoritm (Fuzzy logic)	Nochiziqli tizimlarda ishonchli ishlaydi, PID ga nisbatan barqaror, moslashuvchan [19], [28].	Ekspert mutaxassis va qo‘shimcha parametr sozlamalarini talab etadi [19].	Suv ta’minoti tarmoqlari, murakkab ketma-ket va parallel ulangan nasos tizimlari [28], [29].
Neyro tarmoq (Neyro/ Neyro-fuzzy)	Yuqori moslashuvchanlik, o‘zini-o‘zi o‘rgatish qobiliyati, solishtirma energiya sarfi 79.7% ga kamayadi [30], [31].	To‘g‘ri ishlashi uchun ma’lumotlar bazasi kerak, murakkab hisoblashlarni amalga oshirish uchun kuchli prosessor kerak [31].	Ko‘p bosqichli aqqli boshqaruvli nasos tizimlari, bosimni real vaqt rejimida rostlash talab etiladigan tizimlar [17], [30], [31].

Yuqorida ko‘rib chiqilgan barcha tizimlarda asinxron elektr motorlar qo‘llanilishi mumkin. Asinxron elektr dvigatellarini loyihalash va modellashtirish masalalari hanuz dolzarb bo‘lib qolmoqda, chunki zamonaviy elektr dvigatellarga qo‘yiladigan ishchi ko‘rsatkichlar talablari sezilarli darajada oshgan. Bunday masalalarni hal etishda ko‘pincha avtomatlashtirilgan

ISSN 3030-3907

loyihalash tizimlaridan foydalaniladi. Biroq, ushbu tizimlarda yaratilgan modellarning aksariyati inter emas. Shu munosabat bilan, eng yangi dasturiy vositalardan, xususan, Matlab dasturining Simulink muhitidagi dasturiy moduldan foydalanish katta qiziqish uyg‘otadi. Mazkur modul turli xil elektr mashinalarni loyihalash va modellashtirish uchun zamonaviy vosita hisoblanadi [32].

XULOSA VA TAKLIFLAR. Tadqiqotda mexanik usulda boshqaruvdan chastotali boshqaruvga o‘tishni o‘rganildi. Drossellash usuli sodda lekin samaradorligi past va 66% gacha energiya isroflariga olib keladi. Chastotali boshqaruv esa nasos parametrlarini aniq rostlashga imkon beradi va nasoslarning, xuxusan pulpa nasoslarining samaradorligini sezilarli darajada oshiradi. Qattiq zarrachalarga ega pulpa nasos samaradorligiga salbiy ta’sir qiladi va kavitatsiya xavfini yuzaga keltiradi. Detallarning yemirlishi ham unumdorlikning pasayishiga olib keladi. Yuqoridagi tadqiqotlarni ko‘rib chiqish orqali xulosa qilish mumkinki, adaptiv boshqaruv, neyro tarmoqli tizimlarni aynan pulpa haydovchi nasoslarda qo‘llanilishi kamroq tadqiq etilgan. Adaptiv boshqaruv pulpa tarkibi va miqdorining o‘zgarishini kompensatsiyalab sistemaning barqaror ishlashiga yordam beradi. Noaniq mantiqli va neyro tarmoqli boshqaruvni birgalikda qo‘llash nasos tizimlari uchun istiqbolli bo‘lishi mumkin. Bu orqali energiya iste’molini va detallarning yeyilishini kamaytirish, ishonchlilikni oshirishga erishish mumkin. nasos detallarining yeyilishini real vaqt rejimida prognozlash va adaptiv boshqaruvni birgalikda qo‘llash, bunday tizim uchun immitatsion model yaratish kelgusi tadqiqot ishlari uchun muhim masala bo‘lib xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. O. Toirov and S. Khalikov, “Analysis of the safety of pumping units of pumping stations of machine water lifting in the function of reliability indicators,” *E3S Web of Conferences* , vol. 365, p. 4010, Jan. 2023, doi: 10.1051/e3sconf/202336504010.

2. D. Kaya, E. A. Yagmur, K. Yigit, F. Ç. Kılıç, A. Eren, and C. Çelik, “Energy efficiency in pumps,” *Energy Conversion and Management* , vol. 49, no. 6, p. 1662, Jan. 2008, doi: 10.1016/j.enconman.2007.11.010.

3. S. A. El-Agouz, H. Mohamed, and E. Nossir, “Experimental Investigation on a Slurry Pump at Different Operating Parameters,” *Journal of Engineering Research - Egypt/Journal of Engineering Research* , vol. 4, no. 6, p. 81, Jun. 2020, doi: 10.21608/erjeng.2020.125464.

4. O. Ishnazarov, A. Isakov, U. Islomov, U. Xoliyorov, and D. Ochilov, “Wear issues of pumping units,” *E3S Web of Conferences* , vol. 264, p. 4081, Jan. 2021, doi: 10.1051/e3sconf/202126404081.

ISSN 3030-3907

5. O. Toirov and S. Khalikov, “Diagnostics of pumping units of pumping station of machine water lifting,” *E3S Web of Conferences* , vol. 365, p. 4013, Jan. 2023, doi: 10.1051/e3sconf/202336504013.
6. S. P. Jagtap and A. N. Pawar, “Energy Efficiency Evaluation in Pumping System,” *Modern Mechanical Engineering* , vol. 3, no. 4, p. 171, Jan. 2013, doi: 10.4236/mme.2013.34024.
7. V. K. A. Shankar, U. Subramaniam, S. Paramasivam, and N. Hanigovszki, “A comprehensive review on energy efficiency enhancement initiatives in centrifugal pumping system,” *Applied Energy* , vol. 181, p. 495, Aug. 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.08.070.
8. Y. Hou, Z. Wu, X. Cai, and Z. Li, “Design and research of fuzzy PID-based liquid pump performance testing platform,” *Journal of Physics Conference Series* , vol. 2815, no. 1, p. 12042, Aug. 2024, doi: 10.1088/1742-6596/2815/1/012042.
9. L. Betliński and M. Mohamed-Seghir, “Assessment of the Operation of the Pump Control System Using the PID Controller,” *Scientific Journal of Gdynia Maritime University* , no. 129, p. 22, Jan. 2024, doi: 10.26408/129.02.
10. А. Н. Егоров, В. О. Парфенов и А. С. Семёнов, “Оценка энергосбережения при применении частотно-регулируемого электропривода на пульпонасосных установках в условиях обогатительных фабрик,” в *Труды IV Всероссийской (XXXVII региональной) научно-технической конференции*
11. *«Актуальные проблемы электроэнергетики»*, Нижний Новгород, Россия, 21 дек. 2018, стр. 174–180.
12. O. Toirov, S. Urokov, U. Mirkhonov, H. Afrisal, and D. Jumaeva, “Experimental study of the control of operating modes of a plate feeder based on the frequency-controlled electric drive,” *E3S Web of Conferences* , vol. 288, p. 1086, Jan. 2021, doi: 10.1051/e3sconf/202128801086.
13. Т. С. Камалов, «Управление режимами электрических насосных станций оросительных систем: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.01», Ташкент, 1995, 40 с.
14. M. Koroli and O. Ishnazarov, “Mathematical modeling of a heat pump and its operation modes,” *E3S Web of Conferences* , vol. 216, p. 1165, Jan. 2020, doi: 10.1051/e3sconf/202021601165.
15. A. Korzhev, O. M. Bolshunova, I. N. Voytyuk, and A. M. Vatlina, “Mathematical simulation of transient operation modes of an electric drive of a centrifugal pump for a slurry pipeline,” *E3S Web of Conferences* , vol. 140, p. 4012, Jan. 2019,
16. doi: 10.1051/e3sconf/201914004012.

ISSN 3030-3907

17. Н. Г. Диденко и А. В. Молодых, “Моделирование насосных агрегатов с использованием языка Simscape MATLAB/Simulink,” *Инженерный вестник Дона*, № 5 (101), стр. 640–649, 2023.
18. F. Kulić, D. Matić, B. Dumnić, and V. Vasić, “Optimal Fuzzy Controller Tuned by TV-PSO for Induction Motor Speed Control,” *Advances in Electrical and Computer Engineering* , vol. 11, no. 1, p. 49, Jan. 2011, doi: 10.4316/aece.2011.01008.
19. K. Sapaev, S. Umarov, and I. Abdullabekov, “Research energy and resource saving operating modes of the pump unit,” *E3S Web of Conferences* , vol. 216, p. 1150, Jan. 2020, doi: 10.1051/e3sconf/202021601150.
20. M. F. Khalil, S. Z. Kassab, A. A. A. Naby, and A. Azouz, “Performance Characteristics of Centrifugal Pump Conveying Soft Slurry,” *American journal of mechanical engineering* , vol. 1, no. 5, p. 103, Jul. 2013, doi: 10.12691/ajme-1-5-1.
21. Y. Luo, J. Tao, W. Li, X. QIN, and Y. Han, “Research on Pump Speed Control System Based on Fuzzy PID,” *Mechanika* , vol. 29, no. 3, p. 225, Jun. 2023, doi: 10.5755/j02.mech.32721.
22. V. Lysiak and M. Oliinyk, “Simulation of dynamic operating modes of asynchronous electric drive with centrifugal pump load,” *Reporter of the Priazovskyi State Technical University Section Technical sciences* , no. 42, p. 113, May 2021, doi: 10.31498/2225-6733.42.2021.240665.
23. S. M. El-koliel, H. El-Eissawi, and A. S. Nada, “Speed control of electrical submersible pumps using fuzzy logic control,” *International Journal of Power Electronics and Drive Systems/International Journal of Electrical and Computer Engineering* , vol. 13, no. 4, p. 2515, Oct. 2022, doi: 10.11591/ijpeds.v13.i4.pp2515-2528.
24. J. Ghafouri, F. Khayatzadeh H., and A. Khayatzadeh H., “Dynamic modeling of variable speed centrifugal pump utilizing MATLAB / SIMULINK,” *International Journal of Science and Engineering Investigations*, vol. 1, no. 5, pp. 1–7, Jun. 2012, ISSN 2251-884.
25. R. J. A. Cedeño et al., “Comparative study by numerical simulation of two methods for automatic flow control in centrifugal pumps,” *International Journal of Power Electronics and Drive Systems/International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 13, no. 3, p. 1365, Jul. 2022, doi: 10.11591/ijpeds.v13.i3.pp1365-1379.
26. S. Rachev, K. Dimitrova, and L. Dimitrov, “Study on behaviour of centrifugal pump driven by medium-voltage induction motor during operation control,” *E3S Web of Conferences*, vol. 404, p. 3005, Jan. 2023, doi: 10.1051/e3sconf/202340403005.

27. S. Angadi, “Comprehensive Review on Solar, Wind and Hybrid Wind-PV Water Pumping Systems-An Electrical Engineering Perspective,” *CPSS Transactions on Power Electronics and Applications*, vol. 6, no. 1, p. 1, Mar. 2021, doi: 10.24295/cpsstpea.2021.00001.
28. A. K. Ali and E. Erçelebi, “A Low cost modelling of the variable frequency drive optimum in industrial applications,” *Journal of Energy Systems*, vol. 2, no. 1, p. 28, Mar. 2018, doi: 10.30521/jes.405774.
29. A. Moubarak, G. El-Saady, and E.-N. A. Ibrahim, “Variable Speed Photovoltaic Water Pumping Using Affinity Laws,” *Journal of Power and Energy Engineering*, vol. 5, no. 11, p. 50, Jan. 2017, doi: 10.4236/jpee.2017.511005.
30. T. Flores, J. M. M. Villanueva, and H. P. Gomes, “Fuzzy Pressure Control: A Novel Approach to Optimizing Energy Efficiency in Series-Parallel Pumping Systems,” *Automation*, vol. 4, no. 1, p. 11, Jan. 2023, doi: 10.3390/automation4010002.
31. H. A. M. Moreira, H. P. Gomes, J. M. M. Villanueva, and S. de T. M. Bezerra, “Real-time neuro-fuzzy controller for pressure adjustment in water distribution systems,” *Water Science & Technology Water Supply*, vol. 21, no. 3, p. 1177, Dec. 2020, doi: 10.2166/ws.2020.379.
32. B. H. Кузнецов, S. Dyadun, and V. Esilevsky, “The control to aggregates of pumping stations using a regulator based on a neural network with fuzzy logic,” *E3S Web of Conferences*, vol. 102, p. 3007, Jan. 2019, doi: 10.1051/e3sconf/201910203007.
33. E. U. Yuldashev and I. A. Husanova, “Konchilik sanoatida qo‘llaniladigan suv chiqarish qurilmalari ishini kompleks optimallashtirish,” *Tadqiqotlar*, vol. 76, no. 6, pp. 107–111, 2025. [Online]. Available: https://journalss.org/index.php/tad/article/view/11993.
34. Т. М. Саъдуллаев, А. А. Курбанов и Ф. О. Сайлиев, «Построение математической модели гидротехнологических установок в программе MATLAB», в *Проблемы технико-технологических систем и физико-математических моделей: сборник статей Международной научно-практической конференции*, Самара: Научно-издательский центр «Аэтерна», 2020, с. 29–31.

ISSN 3030-3907