ISNN 3030-3907

2026
MAY
ISSUE - 5
VOLUME -10

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

MAY 2026
Issue - 5, VOLUME – 10

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

SUG‘ORISH NASOS STANSIYALARINI BOSHQARISHDA SUN'IY INTELLEKT VA SCADA INTEGRATSIYASIGA ASOSLANGAN INTELLEKTUAL TIZIM

Abdullabekov Islombek, G‘aniyev Elbek

Toshkent davlat texnika universiteti, Energetika muhandisligi fakulteti, Elektr mashinalari va yuritmalari muhandisligi kafedrasi, Toshkent, O‘zbekiston

E-mail: iabdullabekov@gmail.com, ganiyev.elbek@icloud.com

Annotatsiya. Maqolada sug‘orish nasos stansiyalarining energiya samaradorligini oshirishga qaratilgan, sun'iy intellekt (LSTM, ANFIS va MPC algoritmlari) va SCADA tizimining integratsiyalashgan intellektual boshqarish modeli taklif etilgan. Affinity qonunlari va parallel nasos gidravlikasiga asoslangan matematik model yaratildi. Ishlab chiqilgan dasturiy simulyatorda klassik PID-boshqaruv va taklif etilgan AI-asosli yondashuv 24 soatlik sug‘orish tsiklida qiyosiy tahlil qilindi. Tadqiqot natijalari AI-boshqaruv klassik PID ga nisbatan 12–18 foiz energiya tejash, bosim barqarorligini sezilarli yaxshilash va nasos nosozliklariga avtomatik moslashish imkonini berishini ko‘rsatdi. Iqtisodiy hisob-kitob asosida tizimning o‘zini oqlash muddati 3,5–7 yil oralig‘ida belgilandi.

Kalit so‘zlar: nasos stansiyasi, SCADA, sun'iy intellekt, LSTM, ANFIS, MPC, Affinity Laws, energiya samaradorligi, sug‘orish, raqamli egizak.

Аннотация. В статье предложена интегрированная модель интеллектуального управления насосными станциями ирригационных систем, основанная на сочетании искусственного интеллекта (алгоритмы LSTM, ANFIS и MPC) и SCADA-системы. Разработана математическая модель на основе законов подобия (Affinity Laws) и гидравлики параллельных насосов. В программном симуляторе проведён сравнительный анализ классического ПИД-регулирования и предложенного AI-подхода в течение 24-часового ирригационного цикла. Результаты исследования показали, что AI-управление обеспечивает экономию энергии на 12–18% по сравнению с ПИД, существенное улучшение стабильности давления и автоматическую адаптацию к отказам насосов. Срок окупаемости системы — 3,5–7 лет.

Ключевые слова: насосная станция, SCADA, искусственный интеллект, LSTM, ANFIS, MPC, законы подобия, энергоэффективность, ирригация, цифровой двойник.

Abstract. The article proposes an integrated intelligent control model for irrigation pump stations, combining artificial intelligence (LSTM, ANFIS and MPC algorithms) with SCADA infrastructure. A mathematical model based on pump Affinity Laws and parallel pump hydraulics has been developed. A software

ISSN 3030-3907

simulator was implemented to compare classical PID control with the proposed AI-based approach over a 24-hour irrigation cycle. Results demonstrate that AI control achieves 12–18% energy savings over PID, substantially improved pressure stability, and automatic adaptation to pump failures. The system payback period is estimated at 3.5–7 years.

Keywords: pump station, SCADA, artificial intelligence, LSTM, ANFIS, MPC, Affinity Laws, energy efficiency, irrigation, digital twin.

KIRISH.

O‘zbekiston Respublikasi iqtisodiyotining yetakchi tarmog‘i hisoblangan qishloq xo‘jaligi to‘liq sun'iy sug‘orishga asoslangan bo‘lib, respublika hududidagi sug‘orish tizimi minglab nasos stansiyalari orqali ishlaydi. Statistik ma'lumotlarga ko‘ra, sug‘orish nasos stansiyalari mamlakat umumiy elektr energiya iste'molining 15–20 foizini tashkil etadi. Bunday katta hajmdagi energiya sarfining sezilarli qismi nasoslarning nooptimal ish rejimi, eskirgan boshqarish tizimlari va inson omiliga asoslangan operativ qarorlar tufayli isrof bo‘lib ketmoqda.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 12-noyabrdagi PF-6118-son Farmoni hamda suv xo‘jaligini rivojlantirish bo‘yicha qabul qilingan davlat dasturlari nasos stansiyalarining energiya samaradorligini oshirish va ularni raqamlashtirish vazifalarini ustuvor yo‘nalish sifatida belgilab berdi. Biroq, hozirgi vaqtda foydalanilayotgan klassik PID-regulyatorlar va standart chastota o‘zgartirgichlar (VFD) nasos stansiyalarining murakkab, nochiziqli va o‘zgaruvchan ish sharoitlarida optimal natijalar bera olmaydi.

Mavjud SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) tizimlari ko‘p hollarda faqat monitoring va dispetcherlik funksiyalarini bajaradi, ya'ni texnologik parametrlarni ko‘rsatadi, lekin avtomatik intellektual qaror qabul qilish funksiyasiga ega emas. Operativ qarorlar hozirgacha asosan dispetcher yoki operator tomonidan, ko‘pincha cheklangan ma'lumot va sub'ektiv tajriba asosida qabul qilinmoqda. Mazkur ziddiyat — mavjud SCADA infratuzilmasiga sun'iy intellekt algoritmlarini singdirib, real vaqt rejimida ishlovchi yaxlit boshqarish tizimini ishlab chiqish — mazkur tadqiqotning markaziy ilmiy muammosini tashkil etadi.

Tadqiqotning maqsadi — sug‘orish nasos stansiyalarining mavjud SCADA infratuzilmasiga integratsiya qilingan, sun'iy intellekt asosidagi real vaqt boshqarish tizimini ishlab chiqish va uning energiya samaradorligini oshirishdagi samaradorligini O‘zbekiston sharoitida nazariy hamda eksperimental jihatdan asoslashdir.

Suv nasos stansiyalarini intellektual boshqarish yo‘nalishida xorijiy olimlar tomonidan turli darajadagi ilmiy izlanishlar amalga oshirilgan. Polsha Fanlar

ISSN 3030-3907

akademiyasi olimlari Studziński va Ziółkowski [1] tomonidan suv ta'minoti tarmoqlarining gidravlik modellashtirish va optimallashtirish masalalari o‘rganilgan. Ammo mualliflarning yondashuvi asosan offline rejimda ishlovchi optimizatsiya algoritmlariga asoslanadi va real vaqt rejimida moslashuvchan boshqaruv masalasini to‘liq qamrab olmaydi.

Bhattacharya va boshqalar [2] sun'iy neyron tarmoqlari (ANN) va kuchaytirish orqali o‘rganish (Reinforcement Learning) usullarini suv taqsimlash tarmoqlari uchun birlashtirilgan holda qo‘lladilar. Zhang va boshqalar [3] LSTM (Long Short-Term Memory) neyron tarmoqlaridan foydalanib, nasos tizimlari uchun suv talabini bashorat qilish modelini ishlab chiqdilar — olingan natijalar an'anaviy ARIMA usullariga nisbatan bashorat aniqligida 18–25% yaxshilanish ko‘rsatdi. Yang va boshqalar [4] ning so‘nggi tadqiqotlari karbon emissiyasini hisobga oluvchi suv infratuzilmasini boshqarishga bag‘ishlangan.

O‘zbekistonda ham bir qator olimlar— Hamudhanov, Kamalov Abdullabekov va boshqalar tomonidan suv oqimining gidrodinamik xususiyatlari va nasoslarning gidravlik parametrlari batafsil tahlil etilgan. Biroq mahalliy tadqiqotlarda sun'iy intellekt usullarini bevosita boshqarish konturiga kiritish va SCADA bilan integratsiya masalalari yetarlicha o‘rganilmagan. Aynan bu bo‘shliq mazkur tadqiqot ob'ektini belgilab beradi.

Taklif etilayotgan intellektual boshqarish tizimi to‘rt qatlamli arxitekturaga ega: *fizik qatlam* (nasoslar, sensorlar, ijro qiluvchi qurilmalar), *boshqarish qatlami* (PLC, RTU), *SCADA qatlami* (server, HMI, Historian) va *intellektual qatlam* (Edge-Serverda joylashgan LSTM, ANFIS, MPC modullari). Qatlamlararo aloqa OPC UA va MQTT protokollari orqali amalga oshiriladi.

Markazdan qochma nasosning ish xarakteristikasi Q–H egri chizig‘i va o‘xshashlik qonunlari (Affinity Laws) orqali tavsiflanadi:

$$Q_2/Q_1 = r,\ H_2/H_1 = r^2,\ P_2/P_1 = r^3 \qquad (1)$$

bu yerda r = n/n_{nom} — aylanish chastotasi nisbati. Aynan kubik bog‘liqlik o‘zgaruvchan tezlikli boshqaruvning energiya tejash imkoniyatini matematik jihatdan asoslaydi: aylanish chastotasi 10 foizga kamaytirilsa, sarflanadigan quvvat 27,1 foizga kamayadi.

N parallel ishlovchi nasos uchun gidravlik tizimning ish nuqtasi quyidagi yopiq formuladan topiladi:

$$H = (a \cdot H_{st} + k \cdot N^2 \cdot r^2 \cdot H_0) / (a + k \cdot N^2) \qquad (2)$$

$$Q_{tota} = N \cdot \sqrt{((r^2 \cdot H_0 - H)/a)} \qquad (3)$$

bu yerda H_{st} — statik bosim balandligi, k — quvur tarmog‘ining ishqalanish koeffitsienti, a — nasos egri chizig‘i koeffitsienti, H_0 — yopiq

ISSN 3030-3907

zadvijka rejimidagi bosim. Nasos agregatining elektr quvvati esa quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$P_{el} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H / (\eta_{nas} \cdot \eta_{el} \cdot \eta_{VFD}) \qquad (4)$$

Intellektual boshqaruv uch komplementar AI moduliga asoslanadi:

1) LSTM — ikki qatlamli stacked arxitektura (128 + 64 birlik), kirish ketma-ketligi 168 soat (7 kun), chiqish 24 soatlik bashorat. Optimizator Adam, yo‘qotish funksiyasi MSE. Kirish belgilari sifatida tarixiy sarflar, vaqt (sin/cos kodlash), harorat va mavsumiy indikatorlar ishlatiladi.

2) ANFIS — LSTM bashorati va joriy nasoslar holatiga qarab qaysi nasoslarni yoqish/o‘chirishni hal qiladi. Gaussian membership funksiyalari va ekspert qoidalari kombinatsiyalashtiriladi. Run-hours balansi orqali nasoslar resursi tenglashtiriladi.

3) MPC — receding horizon printsipi asosida har daqiqada chastotani optimal hisoblaydi. Maqsad funksiyasi:

$$min\ J = \Sigma[w_1 \cdot E(k) + w_2 \cdot (P(k) - P_ref)^2 + w_3 \cdot \Delta u(k)^2] \qquad (5)$$

Cheklovlar: $22 \leq n \leq 50$ Hz, $Q_total \geq Q_demand$, bosim 4.0 ± 0.3 bar oralig‘ida. Optimizatsiya CasADi kutubxonasi va IPOPT solveri yordamida amalga oshiriladi.

Tadqiqot natijalarini validatsiya qilish maqsadida HTML/JavaScript asosida ishlab chiqilgan brauzer-asosli dasturiy simulyator yaratildi. Simulyator 4 ta parallel ishlovchi markazdan qochma nasos (har biri 25 kVt), 4 bar maqsadli bosim va tipik sug‘orish talab profili (ertalabgi va kechki tig‘iz vaqtlar bilan) sharoitida ishlaydi. Simulyator bir vaqtda PID va AI boshqaruvini parallel hisoblab, ikkala tizimning ko‘rsatkichlarini qiyoslab beradi.

24 soatlik to‘liq sug‘orish tsiklini simulyatsiya qilish natijasida ikkala boshqaruv tizimining energiya iste'moli aniqlandi (1-jadval).

1-jadval.

PID va AI boshqaruv tizimlarining qiyosiy ko‘rsatkichlari (24 soat)

Ko‘rsatkich	PID	AI	Farq
Jami energiya iste'moli, kVt·soat	1124	942	**−16,2%**
O‘rtacha bosim chetga chiqishi, %	8,4	2,1	**−75,0%**
Nasos kommutatsiyalari soni	18	11	**−38,9%**
Maksimal bosim ortib ketishi, bar	0,72	0,28	**−61,1%**

ISSN 3030-3907

Ko‘rsatkich	PID	AI	Farq
LSTM bashorat aniqligi (MAPE), %	—	4,8	—

Natijalardan ko‘rinib turibdiki, AI-asosli boshqaruv klassik PID ga nisbatan barcha asosiy ko‘rsatkichlarda sezilarli ustunlikka ega. Energiya tejash 16,2% ni tashkil etdi — bu Affinity qonunlariga ko‘ra optimal chastotani aniq tanlash va nasoslar sonini proaktiv boshqarish natijasidir. Bosim barqarorligi 4 baravarga yaxshilandi, bu esa quvurlarga gidravlik zarbalarni kamaytirib, infratuzilma resursini uzaytiradi. Kommutatsiyalar sonining qariyb 40 foizga kamayishi nasoslarning mexanik yeyilishini sekinlashtiradi.

Nosozlik holatida moslashish. Simulyator yordamida 4 ta nasosdan bittasi to‘satdan ishdan chiqqan stsenariy o‘tkazildi (2-jadval).

2-jadval.

Nasos nosozligi holatida tizimlarning moslashish dinamikasi

Parametr	PID javobi	AI javobi
Moslashish vaqti, daqiqa	12–15	**1–2**
Bosim vaqtinchalik tushish, bar	0,9–1,2	**0,3–0,4**
Qolgan nasoslarning yuklamasi	Notekis taqsimlangan	**Optimal taqsimlangan**

AI tizim nosozlikni darhol aniqlab (SCADA orqali holat tag‘i yordamida) ANFIS moduli orqali nasoslar sonini va MPC orqali optimal chastotani qayta hisoblab chiqadi. PID esa gisterezis va cooldown mexanizmlarining cheklanganligi tufayli sekinroq moslashadi va bosim sezilarli darajada tushib ketadi.

Iqtisodiy samaradorlik. Olingan natijalar asosida tizimning yillik iqtisodiy samaradorligi hisoblandi. Elektr tarifi 700 UZS/kVt·soat, AI tizim narxi 300 mln UZS (taxminiy) deb qabul qilindi.

3-Jadval.

Tizimning iqtisodiy ko‘rsatkichlari

Ko‘rsatkich	Qiymat
Kunlik tejash, kVt·soat	182
Yillik tejash, kVt·soat	66 430
Yillik iqtisodiy samara, mln UZS	**46,5**

ISSN 3030-3907

Ko‘rsatkich	Qiymat
Kapital qaytishi (ROI), yil	**≈ 6,5**
CO_2 emissiya kamayishi, t/yil	≈ 33

Bir nasos stansiyasi uchun yillik iqtisodiy samara 46,5 mln so‘mni tashkil etishini hisobga olsak, O‘zbekiston bo‘ylab faoliyat ko‘rsatayotgan minglab nasos stansiyalari ushbu yondashuvni joriy etgan taqdirda umummilliy energiya samaradorligi sezilarli darajada oshishi kutilmoqda. Bundan tashqari, har bir stansiyada yiliga taxminan 33 tonna CO_2 emissiyasining kamayishi mamlakatning yashil iqtisodiyot strategiyasiga ham hissa qo‘shadi.

Tadqiqotda Purdue Enterprise Reference Model (PERA) asosida uch darajali zaxira (fallback) mexanizmi joriy etildi: *normal rejim* (barcha AI modullari faol), *qisman zaxira* (LSTM yoki ANFIS ishlamasa, MPC default profil bilan davom etadi) va *PID fallback* (AI to‘liq ishdan chiqsa, klassik PID avtomatik faollashadi). Bu mexanizm AI tizimning yuqori darajadagi ishonchliligini ta'minlaydi va texnik xizmat ko‘rsatish davrida ham sug‘orish uzilmasligini kafolatlaydi.

XULOSA. Mazkur tadqiqotda sug‘orish nasos stansiyalari uchun sun'iy intellekt (LSTM, ANFIS, MPC) va SCADA infratuzilmasini integratsiyalashtirgan intellektual boshqarish tizimining ilmiy-uslubiy asoslari ishlab chiqildi. Affinity qonunlari va parallel nasos gidravlikasiga asoslangan matematik model, hamda uni real vaqt rejimida sinovdan o‘tkazuvchi dasturiy simulyator yaratildi.

Tadqiqot natijalari taklif etilgan AI-asosli yondashuv klassik PID-boshqaruvga nisbatan quyidagi afzalliklarga ega ekanligini ko‘rsatdi: (i) energiya iste'moli 16,2% ga kamayadi; (ii) bosim barqarorligi 4 baravar yaxshilanadi; (iii) nasos nosozliklariga moslashish vaqti 12–15 daqiqadan 1–2 daqiqaga qisqaradi; (iv) bir nasos stansiyasi uchun yillik iqtisodiy samara 46,5 mln UZS atrofida shakllanadi va tizim taxminan 6,5 yilda o‘zini oqlaydi.

Taklif etilgan tizimning asosiy ilmiy yangiligi — mavjud SCADA infratuzilmasiga bevosita integratsiyalanadigan, mahalliy sharoit xususiyatlariga moslashtirilgan modulli AI arxitekturasi va uning uch darajali zaxira mexanizmi bilan birgalikda ishlatilishidadir. Keyingi tadqiqotlarda tizim laboratoriya stendida sinovdan o‘tkazilib, real nasos stansiyasida pilot tadbiq qilinishi rejalashtirilgan.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Studziński J., Ziółkowski A. Modelling and optimisation of water supply systems // Journal of Hydroinformatics. — 2019. — Vol. 21(3). — P. 510–525.

ISSN 3030-3907

2. Bhattacharya B., Lobbrecht A.H., Solomatine D.P. Neural networks and reinforcement learning in control of water systems // Journal of Water Resources Planning and Management. — 2003. — Vol. 129(6). — P. 458–465.
3. Zhang K., Wang Q., Wang L., Zhang H., Zhang L., Zhang Y. Short-term water demand forecasting using LSTM neural networks // Water. — 2021. — Vol. 13(5). — Art. 670.
5. Yang R., Liu Y., Singh V.P. Carbon-aware machine learning for water infrastructure management // Environmental Research Letters. — 2023. — Vol. 18(4). — Art. 044016.
6. Khushnud Sapaev, Shukhrat Umarov and Islombek Abdullabekov, E3S Web of Conf. 216, 01150 (2020).
7. Shukhrat Umarov; Khushnud Sapaev; Islombek Abdullabekov; Nargiza Khamudkhanova; Maxamanazar Nazarov AIP Conf. Proc. 2402, 060016 (2021)
8. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 12-noyabrdagi PF-6118-son Farmoni "2020—2030 yillarda O‘zbekiston Respublikasining "yashil" iqtisodiyotga o‘tish strategiyasini tasdiqlash to‘g‘risida".
9. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long Short-Term Memory // Neural Computation. — 1997. — Vol. 9(8). — P. 1735–1780.
10. Jang J.-S.R. ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference system // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. — 1993. — Vol. 23(3). — P. 665–685.
11. Camacho E.F., Bordons C. Model Predictive Control. — 2nd ed. — London: Springer, 2007. — 405 p.
12. OPC Foundation. OPC Unified Architecture Specification, Part 1: Overview and Concepts. Release 1.05. — 2021.

ISSN 3030-3907