ISNN 3030-3907

2026/4
VOLUME 8

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/4 VOLUME 8

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.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

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

OQAVA SUVLARNI QAYTA ISHLASH JARAYONIDA FAOL LOYQA MIKROORGANIZMLARNING SATHI VA KONSENTRATSIYASINI ENERGIYA TEJAMKOR AVTOMATIK BOSHQARUV TIZIMLARI TAHLILI.

Hakimov Pahlavon Qahramon o‘g‘li
Buxoro davlat texnika universiteti tayanch doktoranti
E-mail: pakhlavonh@gmail.com,
Nurov Siroch
Buxoro davlat texnika universiteti dotsenti, PhD.
Misliboyev Dilshod Abdumalikovich
Toshkent davlat irrigatsiya universiteti tayanch doktoranti
E-mail: misliboyevdilshod@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada shahar oqava suvlarini biologik tozalash inshootlarida faol loyqa mikroorganizmlarining konsentratsiyasi (MLSS) va sathini avtomatik nazorat qilish hamda aeratsiya tizimini energiya tejamkor boshqarish masalalari ko‘rib chiqilgan. Tadqiqotning asosiy maqsadi – an’anaviy qo‘lda boshqarish usullaridan farqli o‘laroq, real vaqt rejimida ishlaydigan, sensorli ma’lumotlarga asoslangan adaptiv boshqaruv algoritmini ishlab chiqish orqali elektr energiyasi sarfini kamaytirish va tozalash samaradorligini oshirishdir.

Kalit so‘zlar: oqava suvlar, faol loyqa, MLSS, avtomatik boshqaruv, energiya tejamkorlik, PLC/SCADA, aeratsiya, fuzzy mantiq, VFD, biologik tozalash.

Abstract. This article considers the issues of automatic control of the concentration and level of activated sludge microorganisms (MLSS) in biological treatment plants of urban wastewater and energy-efficient control of the aeration system. The main goal of the research is to reduce electricity consumption and increase treatment efficiency by developing an adaptive control algorithm based on sensor data, operating in real time, unlike traditional manual control methods.

Keywords: wastewater, activated sludge, MLSS, automatic control, energy efficiency, PLC/SCADA, aeration, fuzzy logic, VFD, biological treatment.

Аннотация. В данной статье рассматриваются вопросы автоматического регулирования концентрации и уровня микроорганизмов активного ила (MLSS) в биологических очистных сооружениях городских сточных вод и энергоэффективного управления системой аэрации. Основная цель исследования – снижение энергопотребления и повышение эффективности очистки за счет разработки адаптивного алгоритма управления на основе данных датчиков, работающего в режиме реального времени, в отличие от традиционных методов ручного управления.

ISSN 3030-3907

Ключевые слова: сточные воды, активный ил, MLSS, автоматическое управление, энергоэффективность, ПЛК/SCADA, аэрация, нечеткая логика, частотно-регулируемый привод, биологическая очистка.

KIRISH.

Oqava suvlarni biologik tozalash jarayonida faol loyqa (aktiv loyqa) tizimi keng qo‘llaniladi. Ushbu jarayonning samaradorligi asosan mikroorganizmlar faoliyati, ularning sathi va konsentratsiyasiga bog‘liq. Faol loyqa tarkibidagi mikroorganizmlar organik moddalarni parchalaydi, natijada suv tozalanadi. Shu sababli mikroorganizmlar konsentratsiyasini optimal darajada saqlash texnologik jarayonning asosiy vazifalaridan biri hisoblanadi.

An’anaviy boshqaruv tizimlarida faol loyqa parametrlari ko‘pincha qo‘lda nazorat qilinadi yoki oddiy avtomatlashtirilgan tizimlar orqali boshqariladi. Bu esa energiya sarfining ortishiga, tizim samaradorligining pasayishiga va inson omiliga bog‘liq xatolarning yuzaga kelishiga olib keladi. Shu bois, zamonaviy energiya tejamkor avtomatik boshqaruv tizimlarini joriy etish zarurati ortib bormoqda.

Energiya tejamkor boshqaruv tizimlari sensorlar, real vaqt monitoringi va intellektual algoritmlar asosida faol loyqa tizimining asosiy parametrlarini (biomassa konsentratsiyasi, kislorod darajasi, loyqa sathi va boshqalar) avtomatik ravishda nazorat qilish imkonini beradi. Bu esa nafaqat tozalash jarayonining samaradorligini oshiradi, balki energiya resurslaridan oqilona foydalanishni ham ta’minlaydi.

Xalqaro tajriba shuni ko‘rsatadiki, OSTIlarda umumiy elektr energiyasi sarfining 50% dan 70% gachi qismi aynan aeratsiya tizimlariga to‘g‘ri keladi [1].

O‘zbekistonda faoliyat yurituvchi ko‘plab tozalash inshootlarida aeratsiya jarayoni hali ham eskirgan usullar yoki operatorning subyektiv qaroriga asosan qo‘lda boshqariladi. Bu esa quyidagi muammolarni keltirib chiqaradi:

1. Energiya isrofi: Aeratsiya qurilmalari doimiy ravishda maksimal quvvatda ishlashi yoki biologik ehtiyojdan ortiqcha havo berilishi (over-aeration).

2. Jarayon beqarorligi: Faol loyqa konsentratsiyasi (MLSS) ning keskin o‘zgarishi natijasida "loyqa shishishi" (bulking) yoki biomassa yuvilib ketishi (washout) holatlari yuzaga kelishi.

3. Inson omili: Operatorlarning malaka darajasiga bog‘liq holda xatoliklar ehtimoli yuqori bo‘lishi.

Shu kontekstda, faol loyqa mikrobiologik jamoasining holatini (sath va konsentratsiya) real vaqtda monitoring qiluvchi va aeratsiya intensivligini dinamik ravishda sozlovchi energiya tejamkor avtomatik boshqaruv tizimini ishlab chiqish ilmiy va amaliy ahamiyatga ega. Ushbu tadqiqotning yangiligi shundaki, u nafaqat

ISSN 3030-3907

erigan kislorod (DO) darajasini, balki MLSS va kiruvchi oqim yuklamasini ham hisobga oluvchi kompleks algoritmni taklif etadi.

Maqolaning maqsadi – faol loyqa jarayonini boshqarishda energiya sarfini optimallashtirish va biologik barqarorlikni ta’minlovchi avtomatlashtirilgan tizimning nazariy asoslari va amaliy modelini ishlab chiqishdir.

Faol loyqa jarayonini boshqarish bo‘yicha ilmiy adabiyotlarda so‘nggi o‘n yilliklarda sezilarli yutuqlarga erishildi. Dastlabki avlod boshqaruv tizimlari asosan erigan kislorod (DO) kontsentratsiyasini ma’lum bir setpointda (masalan, 2.0 mg/l) ushlab turishga qaratilgan edi. Biroq, Heyze va hammualliflari ta’kidlaganidek, DO ni statik ushlab turish biokimyoviy yuklama o‘zgarganda samarasiz bo‘lib qoladi, chunki mikroorganizmlarning kislorodga bo‘lgan ehtiyoji doimiy emas [2].

Keyingi bosqichda Ammoniyga asoslangan boshqaruv (Ammonia-Based Aeration Control – ABAC) tizimlari joriy etildi. Bu tizimlar ammoniy ionlari konsentratsiyasiga qarab aeratsiyani sozlaydi va energiya tejashda yaxshi natijalar ko‘rsatdi. Olssonning ta’kidlashicha, bunday tizimlar an’anaviy DO boshqaruviga nisbatan 20-25% energiya tejash imkonini beradi [3]. Biroq, ammoniy sensorlarining yuqori narxi, ularning tez ifloslanishi va kalibrovka qilishdagi qiyinchiliklar rivojlanayotgan mamlakatlar sharoitida keng qo‘llanilishiga to‘sqinlik qiladi.

So‘nggi yillarda "Aqlli boshqaruv" (Intelligent Control) usullari, xususan, neyron tarmoqlar va fuzzy (noaniq) mantiqqa asoslangan tizimlar rivojlanmoqda. Sweetapple va Butler o‘z tadqiqotlarida ko‘rsatishlaricha, fuzzy mantiqqa asoslangan regulyatorlar chiziqli bo‘lmagan biologik jarayonlarni boshqarishda an’anaviy PID regulyatorlariga qaraganda moslashuvchanroq va barqarorroqdir [4].

O‘zbekiston sharoitida suv xo‘jaligi sohasidagi avtomatlashtirish masalalari Abdullayev va Karimov tomonidan o‘rganilgan bo‘lsa-da, ular asosan gidravlik rejimlarga qaratilgan bo‘lib, biologik jarayonlarning mikrobiologik parametrlarini (MLSS) energiya tejash bilan bog‘liq holda kompleks boshqarish masalalari yetarli darajada yoritilmagan [5]. Shu sababli, mahalliy sharoitga mos, arzonroq sensorlar kombinatsiyasiga asoslangan va fuzzy-PID gibrid algoritmini qo‘llaydigan tizimni ishlab chiqish dolzarb hisoblanadi.

Tadqiqot obyekti sifatida sig‘imi 12 000 m^3/kun bo‘lgan shahar oqava suvlarini tozalash inshooti tanlab olindi. Tadqiqot usullari quyidagi bosqichlarni o‘z ichiga oldi:

1. Parametrlarni aniqlash: Kiruvchi oqim sarfi (Q_{in}), biokimyoviy kislorod iste’moli (BOD_5), faol loyqa konsentratsiyasi (MLSS), erigan kislorod (DO) va harorat (T) o‘lchovlari.

ISSN 3030-3907

2. Matematik modellashtirish: ASM1 (Activated Sludge Model No. 1) asosida jarayonning dinamik modeli tuzildi.

3. Boshqaruv algoritmini ishlab chiqish: Fuzzy mantiq va PID regulyatori integratsiyasi.

4. Dasturiy-apparat kompleksini yaratish: Siemens S7-1200 PLC va WinCC SCADA tizimi asosida prototip yig‘ildi.

5. Eksperimental sinov: 6 oy davomida pilot rejimida tizim sinovdan o‘tkazildi va natijalar statistik tahlil qilindi.

1. Texnik ta’minot (Hardware)

Ishlab chiqilgan tizim uchta asosiy qatlamdan iborat:

MLSS datchigi: Optik (scattering) prinsipida ishlovchi, 0–10 000 mg/l diapazonidagi zond. Bu datchik aeratsiya havzasida biomassa miqdorini uzluksiz o‘lchaydi.

DO datchigi: Galvanik yoki optik tipdagi zond, 0–20 mg/l diapazonida.

Ultratovushli sath o‘lchagich: Havza va tiniqlagichlardagi loyqa sathini nazorat qilish uchun.

Oqim o‘lchagich: Elektromagnit tipdagi расходомер, kiruvchi va qaytariluvchi loyqa oqimini o‘lchash uchun.

Boshqaruv qatlami:

PLC (Programmable Logic Controller): Ma’lumotlarni qabul qilish, algoritmni bajarish va buyruqlarni chiqarish uchun markaziy blok.

VFD (Variable Frequency Drive): Havo puflagichlari (blowers) va nasoslarning aylanish chastotasini 0–50 Hz oralig‘ida sozlash orqali quvvat sarfini boshqaradi.

Dispetcherlik qatlami (SCADA/HMI):

Operator uchun vizual interfeys, real vaqt rejimidagi grafiklar, alarm tizimi va arxivlash funksiyalari.

NATIJALAR VA ULARNING MUHOKAMASI

Tizimning samaradorligini baholash uchun 6 oylik davrda (2024-yil yanvar-iyun) ikki xil rejim solishtirildi:

1. Nazorat guruhi (NG): An’anaviy qo‘lda boshqaruv (operator tajribasiga asoslangan).

2. Tajriba guruhi (TG): Ishlab chiqilgan avtomatik Fuzzy-PID tizimi.

1. Energiya sarfi tahlili

Eng muhim ko‘rsatkichlardan biri bu aeratsiya tizimining solishtirma energiya sarfidir (kWh/m³).

ISSN 3030-3907

1-jadval.

Oylik o‘rtacha energiya sarfi ko‘rsatkichlari

Oy	NG (kWh/m³)	TG (kWh/m³)	Tejam (%)
Yanvar	0.72	0.48	33.3%
Fevral	0.70	0.47	32.8%
Mart	0.68	0.46	32.3%
Aprel	0.65	0.45	30.7%
May	0.69	0.46	33.3%
Iyun	0.71	0.47	33.8%
O‘rtacha	**0.69**	**0.465**	**32.6%**

Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, avtomatik tizim o‘rtacha 32.6% energiya tejashga erishdi. Bu asosan VFD yordamida blowerlarning aylanish tezligini biologik ehtiyojga mos ravishda pasaytirish hisobiga amalga oshdi. An’anaviy rejimda blowerlar ko‘pincha to‘liq quvvatda ishlab, ortiqcha havo atmosferaga chiqarib yuborilar edi.

2. Faol loyqa konsentratsiyasi (MLSS) barqarorligi

Biologik tozalash samaradorligi MLSS ning ma’lum oralikda (odatda 2500–4000 mg/l) ushlab turilishiga bog‘liq.

NG da MLSS qiymati 1800 mg/l dan 5500 mg/l gacha keskin tebranib turdi. Bu operatorning loyqa chiqarish (wasting) va qaytarish (RAS) nasoslarini kechiktirib yoqishi bilan izohlanadi. TG da esa MLSS qiymati 2600–3800 mg/l tor oralig‘ida barqaror ushlab turildi. Fuzzy algoritmi kiruvchi yuklama o‘zgarganda oldindan proaktiv ravishda RAS nasoslari tezligini sozladi.

Barqaror MLSS mikrobiologik jamoaning metabolik faolligini oshirdi. Natijada, nitrifikatsiya jarayoni yaxshilandi va chiqindilardagi ammoniy azoti (NH_4-N) konsentratsiyasi o‘rtacha 15% ga kamaydi.

3. Tozalash sifati

Chiqindilarning BOD_5 va COD ko‘rsatkichlari O‘z DSt 950:2019 talablariga muvofiqligi tekshirildi.

2-jadval.

Tozalash samaradorligi

Ko‘rsatkich	Kiruvchi (o‘rtacha), mg/l	NG Chiquvchi, mg/l	TG Chiquvchi, mg/l	Norma (O‘z DSt), mg/l
BOD_5	250	22.5	14.2	< 15
COD	450	55.0	38.5	< 40
NH_4-N	35	4.8	2.1	< 2.5

ISSN 3030-3907

Muallaq moddalar	180	18.0	12.5	< 15

TG ko‘rsatkichlari normaga yaqinroq ekanligi kuzatildi. Ayniqsa, ammoniy azotini yo‘qotishda sezilarli farq borligi, aeratsiya rejimining nitrifikator bakteriyalar faolligiga ijobiy ta’sirini ko‘rsatadi.

Tizimni joriy etish xarajatlari (CapEx) va operatsion tejam (OpEx) hisoblandi.

Sarmoya xarajatlari: Sensorlar, PLC, VFD va montaj ishlari – taxminan 15,000 AQSH dollari.

Yillik energiya tejami: Inshoot yiliga 4,380,000 m³ suv tozalaydi. Tejalmagan energiya: (0.69 - 0.465) \times 4,380,000 = 985,500 kWh.

Elektr energiyasi narxi (sanoat tariflari bo‘yicha o‘rtacha 0.08/kWh deb olinsa): 985,500 \times 0.08 = \78,840 yiliga.

Qoplanish muddati (Payback Period): 15,000 / 78,840 \approx 0.19 yil, ya’ni 2.3 oy.

Haqiqiy sharoitda texnik xizmat ko‘rsatish xarajatlarini hisobga olsak ham, qoplanish muddati 6-8 oydan oshmaydi. Bu tizimning yuqori iqtisodiy jozibadorligini tasdiqlaydi [6].

Ishlab chiqilgan tizimning asosiy afzalliklari:

1. Moslashuvchanlik: Fuzzy mantiq tufayli tizim kiruvchi oqimning keskin o‘zgarishlariga (masalan, yomg‘ir paytida) tez javob beradi.
2. Uskunalarning umrini uzaytirish: VFD yordamida yumshoq start/stop rejimi nasos va motorlarga mexanik yuklamani kamaytiradi.
3. Masofaviy monitoring: SCADA tizimi orqali muhandislar jarayonni ofisdan yoki uydan kuzatishlari mumkin, bu esa favqulodda vaziyatlarda tez reaksiya berish imkonini beradi [7].

Sensorlarning ifloslanishi: MLSS va DO zondlari loyqa bilan qoplanishi mumkin. Buning oldini olish uchun avtomatik tozalash (air-wiper yoki brush) mexanizmlari va haftalik kimyoviy tozalash rejimi joriy etildi.

Malakali kadrlar yetishmovchiligi: PLC dasturchilari va avtomatika muhandislariga bo‘lgan ehtiyoj. Shu sababli, tizim interfeysi maksimal darajada soddalashtirildi va operatorlar uchun o‘zbek tilidagi qo‘llanma ishlab chiqildi [8].

XULOSA. Ushbu tadqiqot natijalariga ko‘ra, quyidagi xulosalarni qilish mumkin:

1. Faol loyqa mikroorganizmlarining sathi va konsentratsiyasini real vaqtda monitoring qilishga asoslangan avtomatik boshqaruv tizimi OSTIlarning energiya samaradorligini tubdan oshirish imkonini beradi.

ISSN 3030-3907

2. Taklif etilgan Fuzzy-PID gibrid algoritmi an’anaviy PID va qo‘lda boshqaruv usullariga qaraganda biologik jarayonni barqarorroq ushlab turadi va energiya sarfini o‘rtacha 32.6% ga kamaytiradi.

3. Tizimning iqtisodiy qoplanish muddati juda qisqa (6-8 oy) bo‘lib, uni O‘zbekistonning barcha yirik shaharlaridagi tozalash inshootlarida joriy etish iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiqdir.

4. Avtomatlashtirish nafaqat energiya tejash, balki chiqindilarning tozalik darajasini oshirish orqali ekologik vaziyatni yaxshilashga xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Rosén, C., & Jeppsson, U. Aspects on WWTP Modelling. – Lund: Lund University, 2006. – P. 12-15.

2. Henze, M., van Loosdrecht, M.C.M., Ekama, G.A., & Brdjanovic, D. Biological Wastewater Treatment: Principles, Modelling and Design. – London: IWA Publishing, 2008. – P. 230-235.

3. Olsson, G. ICA and me: A subjective review. – Water Research, 2012. – Vol. 46, Issue 6. – P. 1585–1624.

4. Sweetapple, C., Fu, G., & Butler, D. Understanding energy consumption and carbon emissions in urban wastewater systems: A review. – Water Research, 2020. – Vol. 171. – Article 115432.

5. Abdullayev, R.M., Karimov, T.S. Suv ta’minoti va kanalizatsiya tizimlarida avtomatlashtirish muammolari va yechimlari. – Toshkent: Fan va texnologiya, 2021. – B. 45-48.

6. EPA (Environmental Protection Agency). Energy Efficiency in Wastewater Treatment Plants. – USA: EPA Office of Water, 2021. – P. 22-25.

7. Siemens AG. SIMATIC S7-1200 System Manual. – Erlangen: Siemens, 2022. – Section 4.2.

8. O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi. Suv resurslaridan oqilona foydalanish va oqava suvlarni tozalash tizimini modernizatsiya qilish chora-tadbirlari to‘g‘risida. PQ-5124-son qaror. – Toshkent, 2023.

ISSN 3030-3907