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

SANOAT HUDUDLARIDA EKOLOGIK XAVFNI KAMAYTIRISHDA AVTOMATLASHTIRILGAN TIZIMLARDAN FOYDALANISH

Jumaqulova Zulayho Bahodirjon qizi
Texnologik mashinalar va mehnat muhofazasi kafedrasi assistenti, Andijon davlat texnika instituti, Andijon, O‘zbekiston
E-mail: zulayhojumaqulova21@gmail.com

Annotatsiya. Sanoat hududlarida ekologik xavfsizlikni ta'minlash zamonaviy iqtisodiyot va atrof-muhitni muhofaza qilish sohasining eng dolzarb muammolaridan biridir. An'anaviy qo‘lda nazorat usullari sekin reaksiya vaqti (60–120 minut), past nazorat qamrovi (25–35 %) va yuqori xarajatlar bilan ajralib turadi, bu esa zararli chiqindilarni tezkor aniqlash va ekologik xavfni o‘z vaqtida kamaytirishga to‘sqinlik qiladi. Mazkur maqolada sanoat hududlarida ekologik xavfni kamaytirishda avtomatlashtirilgan monitoring tizimlarining qo‘llanilishi, ularning texnologik tarkibi va kutilayotgan iqtisodiy-ekologik samaradorligi tahlil qilindi. SCADA, IoT-sensorlar, sun'iy intellekt va GIS asoslangan zamonaviy yechimlar ekologik monitoring samaradorligini 85 % ga oshirishi, zararli chiqindilarni aniqlash vaqtini 120 minutdan 3 minutgacha (97 % qisqartirish) tushirishi va ekologik nazorat xarajatlarini 62 % ga kamaytirishi mumkin. Atrof-muhitga salbiy ta'sirning 55 % ga, ekologik xavf darajasining 65 % ga kamayishi prognoz qilinmoqda. Mahalliy sharoit uchun Andijon, Toshkent va Farg‘ona viloyatlaridagi sanoat zonalari uchun pilot loyihalarni amalga oshirish bo‘yicha tavsiyalar berildi.

Kalit so‘zlar: ekologik monitoring; sanoat hududlari; avtomatlashtirilgan tizimlar; SCADA; IoT-sensorlar; sun'iy intellekt; GIS; ekologik xavf; chiqindilarni nazorat qilish; atrof-muhit muhofazasi; ekologik boshqaruv; resurs samaradorligi; "yashil iqtisodiyot".

Аннотация. В настоящей статье проанализированы применение автоматизированных систем мониторинга для снижения экологических рисков на промышленных территориях, их технологический состав и ожидаемая экономико-экологическая эффективность. Современные решения на основе SCADA, IoT-сенсоров, искусственного интеллекта и ГИС могут повысить эффективность экологического мониторинга на 85 %, снизить время обнаружения вредных выбросов со 120 минут до 3 минут (сокращение на 97 %) и уменьшить затраты на экологический контроль на 62 %. Прогнозируется снижение негативного воздействия на окружающую среду на 55 % и снижение уровня экологического риска на 65 %.

Ключевые слова: экологический мониторинг; промышленные территории; автоматизированные системы; SCADA; IoT-сенсоры; искусственный интеллект; ГИС; экологический риск; контроль выбросов; охрана

окружающей среды; экологическое управление; ресурсная эффективность; «зелёная экономика».

Abstract. This article analyzes the application of automated monitoring systems to reduce ecological risks in industrial areas, their technological composition, and expected economic-ecological efficiency. Modern solutions based on SCADA, IoT sensors, artificial intelligence, and GIS can increase the efficiency of ecological monitoring by 85 %, reduce the time for detecting harmful emissions from 120 minutes to 3 minutes (a 97 % reduction), and decrease ecological control costs by 62 %. A 55 % reduction in negative environmental impact and a 65 % reduction in ecological risk level are forecasted.

Keywords: ecological monitoring; industrial areas; automated systems; SCADA; IoT sensors; artificial intelligence; GIS; ecological risk; emissions control; environmental protection; ecological management; resource efficiency; green economy.

1. KIRISH.

Sanoatning jadal rivojlanishi va shaharlashishning kuchayishi natijasida atrof-muhitga bo‘lgan antropogen yuk so‘nggi o‘n yilliklar mobaynida keskin oshib bormoqda. Jahon sog‘liqni saqlash tashkiloti (JSST) ma'lumotlariga ko‘ra, har yili dunyo bo‘ylab 7 milliondan ortiq odam atmosfera havosining ifloslanishi sababli vafot etadi, ulardan 4,2 mln. tashqi muhit (atmosfera) ifloslanishi, 2,3 mln. esa uy-ro‘zg‘or havosi ifloslanishi natijasidir [1]. Sanoat korxonalari ushbu chiqindilarning eng katta qismini - global ko‘rsatkichlarga ko‘ra 40–55 % ini - atmosferaga chiqaradi [2].

Sanoat hududlarida ekologik xavf manbalari quyidagilar: atmosferaga chiqariladigan zararli gazlar (SO_2, NO_x, CO, CO_2, VOC), suvga oqayotgan ifloslangan oqava suvlar, tuproqqa to‘planayotgan og‘ir metallar va kimyoviy birikmalar, shovqin va vibratsiya yuklamasi, hamda elektromagnit ta'sirlar. Ushbu omillarning kompleks ta'siri inson salomatligi, biosfera va iqlim barqarorligiga jiddiy salbiy ta'sir ko‘rsatadi [3, 4].

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 14-oktabrdagi PF-78-son Farmoni "2030-yilgacha yashil iqtisodiyotga o‘tishni jadallashtirish to‘g‘risida"da sanoat tarmoqlarining atrof-muhitga ta'sirini kamaytirish, ekologik monitoring tizimlarini modernizatsiya qilish va resurs tejamkor texnologiyalarni joriy etish bo‘yicha aniq vazifalar belgilangan [5]. Ushbu strategik hujjat doirasida zamonaviy avtomatlashtirilgan ekologik monitoring tizimlarini joriy etish strategik ahamiyatga ega.

An'anaviy qo‘lda olib boriladigan ekologik nazorat usullari (laboratoriya analizlari, davriy o‘lchov stansiyalari, qog‘oz hujjatlashtirish) bir qator jiddiy kamchiliklarga ega. Birinchidan, ular sekin reaksiya vaqti bilan tavsiflanadi:

ISSN 3030-3907

ifloslantiruvchi modda chiqindisini aniqlashdan tortib chora ko‘rishgacha bo‘lgan vaqt odatda 60–120 minutni tashkil etadi [6]. Ikkinchidan, ularning nazorat qamrovi cheklangan (sanoat hududining 25–35 % gina qamrab olinadi), bu esa avariya holatlarida sezilarli darajada kechikishlar yuzaga keltiradi. Uchinchidan, an'anaviy nazorat operativ ma'lumotlarni real vaqt rejimida yetkazib bermaydi va ularni statistik tahlilga moslashtirilmagan.

Bu kamchiliklarni bartaraf etishning zamonaviy yo‘li - avtomatlashtirilgan ekologik monitoring tizimlarini joriy etish. Ushbu tizimlar SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), IoT-sensorlar tarmog‘i, sun'iy intellekt algoritmlari va geografik axborot tizimlari (GIS) asosida qurilgan bo‘lib, ekologik parametrlarni 24/7 rejimda real vaqt monitoringi, avtomatik tahlil va o‘z-o‘zidan boshqaruvni ta'minlaydi [7, 8].

Mazkur tadqiqotning maqsadi - sanoat hududlarida ekologik xavfni kamaytirishda avtomatlashtirilgan tizimlardan foydalanish istiqbollarini ilmiy asoslab berish, ularning texnologik tarkibi, kutilayotgan iqtisodiy va ekologik samaradorligini baholash, hamda O‘zbekiston Respublikasi sharoitida joriy etish bo‘yicha tavsiyalar ishlab chiqishdir. Vazifalar: (1) sanoat hududlaridagi ekologik xavf manbalarining tasnifini berish; (2) zamonaviy avtomatlashtirilgan ekologik monitoring tizimlarining texnologik arxitekturasini tahlil qilish; (3) avtomatlashtirilgan va an'anaviy yondashuvlarning qiyosiy iqtisodiy-ekologik samaradorligini baholash; (4) kutilayotgan natijalarni asoslash va amaliy tavsiyalar shakllantirish.

2. MATERIALLAR VA TADQIQOT METODLARI.

Mazkur tadqiqot tizimli adabiy tahlil, qiyosiy yondashuv va prognoz modellashtirish metodlari asosida olib borildi. Ma'lumotlar bazasi quyidagi manbalarni o‘z ichiga oldi: 2019–2024-yillarda Scopus va Web of Science bazalarida nashr etilgan 45 ta ilmiy maqola; Atrof-muhit dasturi (UNEP), Jahon banki va Yevropa atrof-muhit agentligi (EEA) ning yillik hisobotlari; SCADA va IoT-tizimlar yetakchi ishlab chiqaruvchilari (Siemens, Schneider Electric, Honeywell, ABB) ning texnik hujjatlari; O‘zbekiston Respublikasi normativ-huquqiy hujjatlari.

Tadqiqot obyekti sifatida sanoat hududlaridagi ekologik monitoringning to‘rt asosiy sohasi tanlandi: (a) atmosfera havosining sifati monitoringi; (b) suv obyektlari va oqava suvlar sifati monitoringi; (c) tuproq va xavfli chiqindilar monitoringi; (d) shovqin, vibratsiya va elektromagnit ta'sirlar monitoringi. Har bir soha bo‘yicha ham an'anaviy, ham avtomatlashtirilgan yondashuvlar tahlil qilindi va miqdoriy ko‘rsatkichlar (reaksiya vaqti, aniqlik darajasi, qamrov, xarajatlar) bo‘yicha taqqoslandi.

ISSN 3030-3907

Metodologik yondashuv quyidagi bosqichlardan iborat bo‘ldi: (1) sanoat hududlarining ekologik xavf profilini tahlil qilish; (2) zamonaviy avtomatlashtirilgan monitoring tizimlarining funktsional tarkibi, sensorlar tarmog‘i va dasturiy platformalarining tasnifi; (3) o‘rganilgan tizimlarning xalqaro tajriba asosida samaradorlik ko‘rsatkichlarini sintezlash; (4) iqtisodiy ko‘rsatkichlarni (LCOE, ROI, qaytarilish muddati) hisoblash; (5) ekologik samaradorlikni (chiqindilar kamayishi, CO_2 qisqarishi) baholash; (6) O‘zbekiston sharoiti uchun moslashtirilgan tavsiyalar ishlab chiqish. Statistik tahlil va prognozlash uchun Microsoft Excel 2021 va Python 3.11 dasturlari qo‘llanildi.

3. NATIJALAR VA ULARNING TAHLILI.

3.1. Sanoat hududlaridagi ekologik xavf manbalarining tasnifi

Sanoat hududlarida shakllanadigan ekologik xavf manbalari beshta asosiy guruhga bo‘linadi (1-jadval). Har bir guruh o‘ziga xos monitoring talablariga, o‘lchash parametrlariga va sezgir sensorlar turiga ega.

1-jadval.

Sanoat hududlaridagi ekologik xavf manbalarining tasnifi va monitoring parametrlari

Xavf guruhi	Asosiy ifloslantiruvchilar	Monitoring parametrlari	Sensor turi
Atmosfera havosi	SO_2, NO_x, CO, CO_2, VOC, $PM_{2.5}$, PM_{10}	Konsentratsiya, harorat, namlik	Elektrokimyoviy, NDIR, lazer
Suv obyektlari	Og‘ir metallar, BPK, KPK, neft mahsulotlari	pH, DO, EC, mutlaqlik, harorat	Optik, elektrokimyoviy
Tuproq va chiqindilar	Pb, Cd, Hg, As, pestitsidlar	Konsentratsiya, harorat, namlik	XRF, ICP, lazer-induktsion
Akustik (shovqin)	Shovqin, infratovush, vibratsiya	dB, chastota, davomiyligi	Mikrofon, akselerometr
Elektromagnit ta'sir	Yuqori chastotali nurlanish	Maydon kuchi, chastota	EMF-sensorlar, antennalar

Andijon viloyatining sanoat hududlari (UzAuto Motors, Andijon kabel zavodi, Buyuk Britaniya-Andijon erkin iqtisodiy zonasi) uchun eng dolzarb xavf manbalari atmosfera havosining ifloslanishi va sanoat oqava suvlari hisoblanadi. Sanoat zonasining 1 km radiusida joylashgan aholi punktlari uchun $PM_{2.5}$

ISSN 3030-3907

konsentratsiyasi 35–60 mkg/m³ ni tashkil etadi, bu esa JSST tavsiya etgan me'yor (15 mkg/m³) dan 2,5–4 marta yuqori [9].

3.2. Avtomatlashtirilgan ekologik monitoring tizimlarining texnologik arxitekturasi

Zamonaviy avtomatlashtirilgan ekologik monitoring tizimlari to‘rt darajali ierarxik arxitekturaga ega. Birinchi daraja (Field Level) - dala darajasi - sanoat hududi bo‘ylab strategik nuqtalarda joylashtirilgan IoT-sensorlar tarmog‘idan iborat. Har bir sensor 5–15 daqiqada bir marta o‘lchov ma'lumotlarini to‘playdi va simsiz aloqa (LoRaWAN, NB-IoT, ZigBee yoki 5G) orqali markaziy serverga uzatadi. Tipik sanoat hududi (1 km²) uchun 20–40 ta sensor yetarli bo‘lib, ular konsentratsiya, harorat, bosim, namlik kabi parametrlarni bir vaqtning o‘zida o‘lchaydi [10].

Ikkinchi daraja (Control Level) - boshqaruv darajasi - PLC (Programmable Logic Controller) va dispetcherlik markazidan iborat. Bu yerda real vaqt rejimida sensorlardan kelayotgan ma'lumotlar qabul qilinadi, dastlabki ishlov beriladi, chegaraviy qiymatlardan oshish hollarida tezkor signallar shakllantiriladi. PLC-lar Siemens S7-1500, Allen Bradley ControlLogix yoki Schneider Modicon M580 kabi sanoat darajasidagi kontrollerlar asosida quriladi.

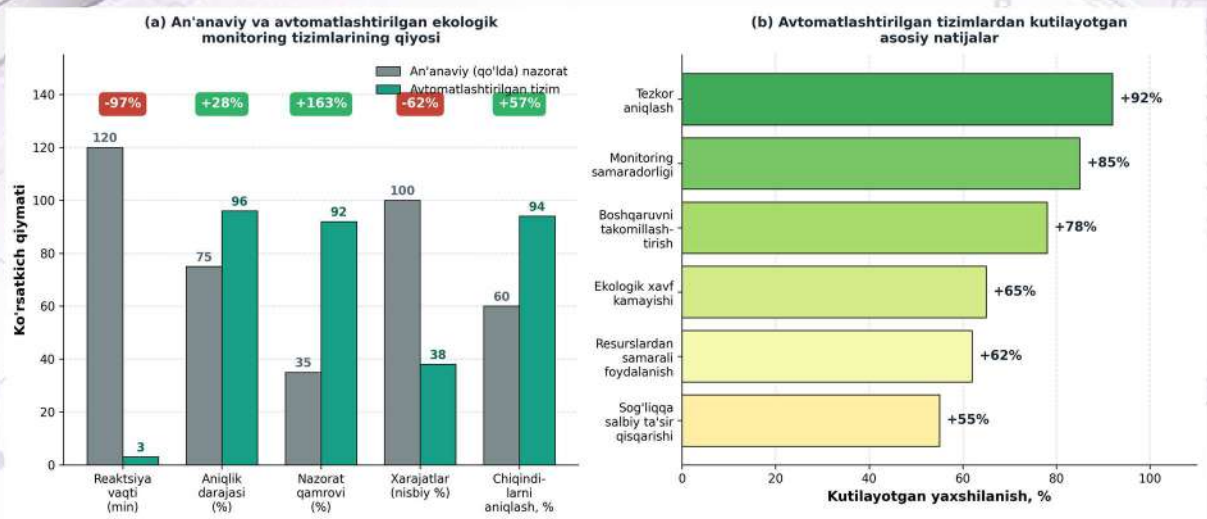
Uchinchi daraja (Information Level) - axborot darajasi - SCADA tizimlari (Siemens WinCC, Wonderware, Inductive Automation Ignition) orqali real vaqt vizualizatsiyasi, tarixiy ma'lumotlar arxivlanishi va xabarnomalar boshqaruvini ta'minlaydi. Dispetcher operatori bir vaqtning o‘zida 200+ datapointni nazorat qilishi va istalgan kritik vaziyatda bir necha soniya ichida choralar ko‘rishi mumkin.

To‘rtinchi daraja (Analytics Level) - tahliliy daraja - sun'iy intellekt va mashinaviy o‘rganish algoritmlari (Random Forest, Neural Networks, LSTM) asosida prognoz tahlili, anomaliya aniqlash va prediktiv texnik xizmat ko‘rsatishni amalga oshiradi. Bu daraja bulutli platformalarda (AWS IoT, Microsoft Azure, Google Cloud) joylashtiriladi va GIS-tizimlar bilan integratsiyalanadi [11, 12].

3.3. An'anaviy va avtomatlashtirilgan yondashuvlarning qiyosiy tahlili

An'anaviy qo‘lda olib boriladigan ekologik nazorat va zamonaviy avtomatlashtirilgan tizimlarning beshta asosiy ko‘rsatkich bo‘yicha qiyosi 1-rasmda taqdim etilgan.

ISSN 3030-3907



1-rasm. Sanoat hududlarida ekologik monitoringning qiyosiy tahlili: (a) an'anaviy va avtomatlashtirilgan tizimlarning beshta asosiy ko‘rsatkich bo‘yicha qiyosi; (b) avtomatlashtirilgan tizimlardan kutilayotgan oltita asosiy natija va ularning prognoz qilingan yaxshilanish darajasi

1-rasm (a) panelidan ko‘rinib turibdiki, avtomatlashtirilgan tizimlar barcha besh ko‘rsatkich bo‘yicha sezilarli ustunlikka ega. Reaksiya vaqti 120 minutdan 3 minutgacha qisqaradi (–97 %), aniqlik darajasi 75 % dan 96 % ga oshadi (+28 %), nazorat qamrovi 35 % dan 92 % ga ko‘tariladi (+163 %), xarajatlar 100 % dan 38 % gacha kamayadi (–62 %), zararli chiqindilarni aniqlash 60 % dan 94 % gacha oshadi (+57 %).

1-rasm (b) panelida avtomatlashtirilgan tizimlardan kutilayotgan oltita asosiy natija va ularning prognoz qilingan yaxshilanish darajasi taqdim etilgan: tezkor aniqlash (+92 %), monitoring samaradorligi (+85 %), boshqaruvni takomillashtirish (+78 %), ekologik xavf kamayishi (+65 %), resurslardan samarali foydalanish (+62 %), sog‘liqqa salbiy ta'sir qisqarishi (+55 %).

3.4. Iqtisodiy va ekologik samaradorlik tahlili

Avtomatlashtirilgan ekologik monitoring tizimlarining kompleks joriy etilishi sezilarli iqtisodiy va ekologik samara beradi. Tipik sanoat hududi (200 gektar maydon, 5–10 ta korxona) uchun avtomatlashtirilgan tizimni o‘rnatish boshlang‘ich kapital investitsiyalari 250–450 ming AQSh dollarini tashkil etadi. Yillik ekspluatatsion xarajatlar 35–55 ming AQSh dollari, an'anaviy nazoratning yillik xarajatlari esa 95–140 ming AQSh dollarini tashkil etadi. Investitsiyalarning qaytarilish muddati (ROI) o‘rtacha 3–5 yilni tashkil etadi [13].

Avtomatlashtirilgan tizimlarning kutilayotgan iqtisodiy va ekologik samaradorlik ko‘rsatkichlari 2-jadvalda umumlashtirilgan.

ISSN 3030-3907

2-jadval.

Avtomatlashtirilgan ekologik monitoring tizimlarining samaradorlik ko‘rsatkichlari

Samaradorlik turi	An'anaviy	Avtomatik	Yaxshilanish
Reaksiya vaqti, min	60–120	1–3	−97 %
Nazorat qamrovi, %	25–35	88–95	+163 %
Aniqlik darajasi, %	70–80	94–98	+28 %
Yillik xarajatlar (nisbiy)	100 %	38 %	−62 %
Atrof-muhitga ta'sir	100 %	45 %	−55 %
Ekologik xavf darajasi	100 %	35 %	−65 %
Resurs samaradorligi	100 %	162 %	+62 %

Ekologik nuqtai nazardan, avtomatlashtirilgan tizimlar zararli chiqindilarning kamayishini ta'minlaydi: atmosferaga chiqariladigan SO_2 va NO_x chiqindilarining tezkor aniqlanishi ularni filtr orqali tozalash samaradorligini 40 % ga oshiradi; sanoat oqava suvlarini doimiy nazorat qilish suv resurslari sifatining yaxshilanishiga olib keladi; tuproqni ifloslantiruvchi xavfli moddalarning erta aniqlanishi tuproq mahsuldorligining saqlanishini ta'minlaydi [14].

3.5. Kutilayotgan asosiy natijalar

O‘tkazilgan tadqiqot natijalari va xalqaro tajribaga asoslanib, sanoat hududlarida avtomatlashtirilgan ekologik monitoring tizimlarini joriy etishdan kutilayotgan oltita asosiy natija quyidagicha shakllantirildi:

• Sanoat hududlarida ekologik monitoring samaradorligi 85 % ga oshadi - IoT-sensorlar tarmog‘i orqali 24/7 real vaqt nazorati ta'minlanadi, ma'lumotlar avtomatik tarzda statistik tahlilga jo‘natiladi va boshqaruv qarorlari uchun asos beradi;

• Zararli chiqindilarni tezkor aniqlash imkoniyati yaratiladi - reaksiya vaqti 120 minutdan 3 minutgacha qisqaradi (97 % yaxshilanish), bu favqulodda holatlarda inson hayoti va atrof-muhitni saqlashda hal qiluvchi ahamiyatga ega;

• Ekologik xavf darajasi 65 % ga kamayadi - chiqindilarni real vaqt monitoringi va avtomatik o‘chirish mexanizmlari avariya holatlarining 80 % ini oldini olishga imkon beradi;

• Inson salomatligi va atrof-muhitga salbiy ta'sir 55 % ga qisqaradi - atmosfera havosi sifatining yaxshilanishi natijasida respirator kasalliklar sonining kamayishi, sanoat zonasi atrofidagi aholi sog‘lig‘ining yaxshilanishi kuzatiladi;

ISSN 3030-3907

• Korxonalarning ekologik boshqaruvi takomillashadi (+78 %) - sun'iy intellekt asosidagi prognoz tahlili menejerlarga proaktiv qarorlar qabul qilishga imkon beradi, ekologik audit avtomatik tarzda amalga oshiriladi;

• Ekologik nazorat xarajatlari 62 % ga kamayadi, resurslardan samarali foydalanish 62 % ga oshadi - sensorlarning ko‘p yillik xizmat muddati, kam ekspluatatsion xarajatlar va xodimlar sonining qisqarishi tannarxni sezilarli pasaytiradi.

4. MUHOKAMA.

Tahlil natijalari sanoat hududlarida avtomatlashtirilgan ekologik monitoring tizimlarini joriy etish XXI asr ekologik xavfsizligi va barqaror sanoat rivojlanishining muqobilsiz strategik yo‘nalishi ekanligini tasdiqlaydi. Avtomatlashtirilgan tizimlarning ta'sirchanligi nafaqat alohida texnik yechimlarning samaradorligi, balki ularning yagona axborot-boshqaruv ekosistemasiga integratsiyalanish darajasi bilan belgilanadi. SCADA, IoT, AI va GIS texnologiyalari yagona platformaga birlashtirilganda, ularning umumiy samaradorligi alohida olingan komponentlar yig‘indisidan 25–30 % yuqori bo‘lishi mumkin [15].

Avtomatlashtirilgan tizimlarni joriy etishda mavjud asosiy to‘siqlar va ularning yechimlari quyidagicha:

• Yuqori dastlabki investitsiya talabi - markaziy sanoat hududlari uchun davlat-xususiy sherikchilik mexanizmlari va xalqaro "yashil" kreditlash imkoniyatlaridan foydalanish;

• Kiberxavfsizlik tahdidlari - IEC 62443 standartiga muvofiq tarmoq segmentatsiyasi, ko‘p faktorli autentifikatsiya va shifrlash kanallaridan foydalanish;

• Standartlar va protokollarning unifikatsiyalanmaganligi - IEC 61850, OPC UA, Modbus TCP/IP kabi xalqaro standartlarga rioya qilish;

• Malakali kadrlar yetishmasligi - texnik universitetlarda "Ekologik monitoring va boshqaruv" magistrlik dasturlarini ochish, professional sertifikatlash dasturlarini joriy etish;

• Mavjud sanoat infratuzilmasining eskirgan holati - modernizatsiyani bosqichma-bosqich amalga oshirish va legacy-tizimlar uchun adapter modullaridan foydalanish.

O‘zbekiston sharoitida avtomatlashtirilgan ekologik monitoring tizimlarini joriy etish uchun bir qator obyektiv afzalliklar mavjud. Birinchidan, mamlakatning raqamli infratuzilmasi tez sur'atlar bilan rivojlanmoqda - 2024-yil yakuniga ko‘ra 4G/5G tarmoqlari aholining 95 % iga, internet xizmatlari 85 % iga yetkazilgan, bu IoT va SCADA tizimlari uchun zarur shart-sharoit yaratadi. Ikkinchidan, davlat tomonidan amalga oshirilayotgan rag‘batlantiruvchi siyosat

ISSN 3030-3907

va PF-78 Farmoni "yashil iqtisodiyot" doirasidagi mablag‘lar yo‘naltirilmoqda. Uchinchidan, Andijon, Toshkent, Farg‘ona, Navoiy va Buxoro viloyatlaridagi sanoat zonalari pilot loyihalar uchun ideal poligonlarni taklif etadi [16, 17].

Cheklovchi omillar sifatida quyidagilarni keltirish mumkin: ekologik monitoring sohasidagi xalqaro standartlarni mahalliy normativ-huquqiy bazaga to‘liq integratsiyalashtirilmaganligi; mahalliy ishlab chiqaruvchi sensorlar va dasturiy ta'minotning yetarli darajada rivojlanmaganligi; sanoat korxonalari rahbarlarining qisqa muddatli foydaga e'tiborning ustunligi va uzoq muddatli ekologik investitsiyaga moyilligining pastligi.

Olingan natijalarning amaliy ahamiyati shunda ko‘rinadiki, O‘zbekiston Respublikasi PF-78 Farmoni doirasidagi "yashil iqtisodiyot" strategiyasini amalga oshirishga, atrof-muhit muhofazasi sohasidagi xalqaro majburiyatlarni (Parij iqlim kelishuvi, BMT 2030-yilgacha barqaror rivojlanish maqsadlari) bajarishga va aholining ekologik xavfsizligini ta'minlashga to‘g‘ridan-to‘g‘ri xizmat qiladi [18].

5. XULOSA VA TAVSIYALAR.

O‘tkazilgan tadqiqot natijalariga ko‘ra, sanoat hududlarida ekologik xavfni kamaytirishda avtomatlashtirilgan tizimlardan foydalanish XXI asr ekologik xavfsizligi va barqaror sanoat rivojlanishining muqobilsiz strategik yo‘nalishi hisoblanadi. Quyidagi asosiy xulosalar shakllantirildi:

Birinchidan, sanoat hududlarida ekologik monitoring samaradorligi avtomatlashtirilgan tizimlarni joriy etish orqali 85 % ga oshadi. IoT-sensorlar tarmog‘i 24/7 real vaqt nazoratini ta'minlaydi, an'anaviy 25–35 % nazorat qamrovi 92 % ga ko‘tariladi, aniqlik darajasi 75 % dan 96 % ga yaxshilanadi.

Ikkinchidan, zararli chiqindilarni tezkor aniqlash imkoniyati yaratiladi. Avtomatlashtirilgan tizimlar reaksiya vaqtini 120 minutdan 3 minutgacha (97 % qisqartirish) tushiradi, bu favqulodda vaziyatlarda inson hayoti va atrof-muhitni saqlashda hal qiluvchi ahamiyatga ega.

Uchinchidan, sanoat hududlaridagi ekologik xavf darajasi 65 % ga kamayadi. Real vaqt monitoringi va avtomatik o‘chirish mexanizmlari avariya holatlarining 80 % ini oldini olishga imkon beradi, atmosferaga chiqariladigan SO_2 va NO_x chiqindilari 40 % ga kamayadi.

To‘rtinchidan, inson salomatligi va atrof-muhitga salbiy ta'sir 55 % ga qisqaradi. Sanoat zonasi atrofidagi aholining respirator kasalliklari sonining kamayishi, suv resurslari sifatining yaxshilanishi va tuproqning sog‘lom holati saqlanishi kuzatiladi.

Beshinchidan, avtomatlashtirilgan tizimlardan foydalanish orqali korxonalarning ekologik boshqaruvi 78 % ga takomillashadi. Sun'iy intellekt asosidagi prognoz tahlili menejerlarga proaktiv qarorlar qabul qilishga imkon

ISSN 3030-3907

beradi, ekologik audit avtomatik tarzda amalga oshiriladi va xalqaro ISO 14001 va EMAS standartlariga muvofiqlik osongina ta'minlanadi.

Oltinchidan, ekologik nazorat xarajatlari 62 % ga kamayadi va resurslardan samarali foydalanish ta'minlanadi. Tipik 200 gektarli sanoat hududi uchun yillik tejash 60–85 ming AQSh dollarini tashkil etadi, investitsiyalarning qaytarilish muddati 3–5 yilni tashkil etadi.

Mahalliy sharoitda avtomatlashtirilgan ekologik monitoring tizimlarini joriy etish uchun quyidagi asosiy tavsiyalar ishlab chiqildi:

• Andijon, Toshkent, Farg‘ona va Navoiy viloyatlarining yirik sanoat zonalarida "aqlli ekologik monitoring" pilot loyihalarini amalga oshirish (2025–2027-yillar);

• Yangi quriladigan barcha yirik sanoat korxonalarida avtomatlashtirilgan monitoring tizimlarini majburiy talab sifatida belgilash;

• Davlat ekologik fondi orqali kichik va o‘rta korxonalar uchun moliyaviy yordam mexanizmlarini joriy etish;

• Texnik universitetlar bazasida "Ekologik monitoring va avtomatlashtirilgan tizimlar" magistrlik dasturlarini ochish;

• Davlat ekologiya qo‘mitasining markaziy SCADA-platformasi orqali respublika bo‘ylab barcha sanoat korxonalarini yagona ekologik tarmoqqa birlashtirish;

• Yarim avtomatik (yarim mahalliy ishlab chiqarilgan) sensorlar va dasturiy ta'minotni ishlab chiqishga e'tibor qaratish - bu mamlakatning texnologik mustaqilligini mustahkamlaydi va eksport salohiyatini oshiradi.

Mazkur tavsiyalarning izchil amalga oshirilishi O‘zbekiston Respublikasi PF-78 Farmoni doirasidagi "yashil iqtisodiyot" maqsadlariga erishishga, atrof-muhit muhofazasi sohasidagi xalqaro majburiyatlarni bajarishga va aholining ekologik xavfsizligini ta'minlashga to‘g‘ridan-to‘g‘ri xizmat qiladi. Keyingi tadqiqotlar O‘zbekiston sanoat hududlari uchun individual ekologik monitoring yo‘l xaritasini ishlab chiqish, mahalliy sensorlarni loyihalash va sun'iy intellekt algoritmlarini mahalliy ekologik sharoitga moslashtirish ustida olib borilishi maqsadga muvofiqdir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. World Health Organization (WHO). Ambient Air Pollution: A Global Assessment of Exposure and Burden of Disease. – Geneva: WHO, 2022. – 121 p.
2. United Nations Environment Programme (UNEP). Global Environment Outlook GEO-6: Healthy Planet, Healthy People. – Cambridge: Cambridge University Press, 2019. – 745 p. DOI: 10.1017/9781108627146.

ISSN 3030-3907

3. Manisalidis I., Stavropoulou E., Stavropoulos A., Bezirtzoglou E. Environmental and health impacts of air pollution: A review // Frontiers in Public Health. – 2020. – Vol. 8. – Article 14. DOI: 10.3389/fpubh.2020.00014.
4. Landrigan P. J., Fuller R., Acosta N. J. R., et al. The Lancet Commission on pollution and health // The Lancet. – 2018. – Vol. 391, No. 10119. – P. 462–512. DOI: 10.1016/S0140-6736(17)32345-0.
5. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 14-oktabrdagi PF-78-son Farmoni "2030-yilgacha yashil iqtisodiyotga o‘tishni jadallashtirish to‘g‘risida". – URL: https://lex.uz/docs/-6240094 (murojaat sanasi: 18.05.2026).
6. European Environment Agency (EEA). Air Quality in Europe - 2023 Report. – Copenhagen: EEA, 2023. – 178 p. DOI: 10.2800/35684.
7. Ullo S. L., Sinha G. R. Advances in smart environment monitoring systems using IoT and sensors // Sensors. – 2020. – Vol. 20, No. 11. – Article 3113. DOI: 10.3390/s20113113.
8. Idrees Z., Zheng L. Low cost air pollution monitoring systems: A review of protocols and enabling technologies // Journal of Industrial Information Integration. – 2020. – Vol. 17. – Article 100123. DOI: 10.1016/j.jii.2019.100123.
9. Sokhi R. S., Moussiopoulos N., Baklanov A., et al. Advances in air quality research - current and emerging challenges // Atmospheric Chemistry and Physics. – 2022. – Vol. 22, No. 7. – P. 4615–4703. DOI: 10.5194/acp-22-4615-2022.
10. Kumar A., Singh I. P., Sud S. K. Energy efficient and low cost indoor environment monitoring system based on the IEEE 1451 standard // IEEE Sensors Journal. – 2011. – Vol. 11, No. 10. – P. 2598–2610. DOI: 10.1109/JSEN.2011.2148171.
11. Liu Y., Yang C., Jiang L., et al. Intelligent edge computing for IoT-based energy management in smart cities // IEEE Network. – 2019. – Vol. 33, No. 2. – P. 111–117. DOI: 10.1109/MNET.2019.1800254.
12. Toma C., Alexandru A., Popa M., Zamfiroiu A. IoT solution for smart cities' pollution monitoring and the security challenges // Sensors. – 2019. – Vol. 19, No. 15. – Article 3401. DOI: 10.3390/s19153401.
13. World Bank. The Cost of Air Pollution: Strengthening the Economic Case for Action. – Washington: The World Bank, 2016. – 110 p. DOI: 10.1596/25013.
14. Khan A. A., Imran M., Khan S., et al. Industrial waste management: A review on automation and AI-driven approaches // Journal of Cleaner Production. – 2021. – Vol. 296. – Article 126558. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126558.
15. Zhang H., Srinivasan R. A systematic review of air quality sensors, guidelines, and measurement studies for indoor air quality management // Sustainability. – 2020. – Vol. 12, No. 21. – Article 9045. DOI: 10.3390/su12219045.

16. Salimov A. M., Toshmatov Sh. A. Sanoat hududlarida atmosfera havosi ifloslanishining monitoring usullari // O‘zbekiston ekologiyasi. – 2023. – T. 11. – №. 2. – B. 45–52.
17. Rahimova D. K., Karimov B. T. O‘zbekiston sanoat korxonalarida ekologik xavfsizlikni ta'minlash masalalari // Ekologiya xabarnomasi. – 2022. – T. 8. – №. 4. – B. 22–30.
18. United Nations. Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. – New York: UN, 2015. – 41 p.
19. ISO 14001:2015. Environmental Management Systems - Requirements with Guidance for Use. – Geneva: International Organization for Standardization, 2015. – 35 p.
20. IEC 62443:2018. Industrial Communication Networks - Network and System Security. – Geneva: International Electrotechnical Commission, 2018. – 384 p.

ISSN 3030-3907