

MUHANDISLIK

& IQTISODIYOT

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

2026-YIL

IYUL/7-SON, I-QISM



Milliy nashrlar

OAK: <https://oak.uz/pages/4802>

05.00.00 - Texnika fanlari

08.00.00 - Iqtisodiyot fanlar



ISSN: 3060-463X



muhandislik **& iqtisodiyot**

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

Elektron nashr, 2026-yil, iyul.

Bosh muharrir:

Zokirova Nodira Kalandarovna, iqtisodiyot fanlari doktori, DSc, professor

Bosh muharrir o'rinbosari:

Shakarov Zafar G'afforovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori, PhD, dotsent

Tahrir hay'ati:

Abduraxmanov Kalendar Xodjayevich, O'z FA akademigi, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Sharipov Kongratbay Avezimbetovich, texnika fanlari doktori, professor

Maxkamov Baxtiyor Shuxratovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Abduraxmanova Gulnora Kalandarovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Shaumarov Said Sanatovich, texnika fanlari doktori, professor

Turayev Bahodir Xatamovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Nasimov Dilmurod Abdulloyevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Allayeva Gulchexra Jalgasovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Arabov Nurali Uralovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Maxmudov Odiljon Xolmirzayevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Xamrayeva Sayyora Nasimovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Bobonazarova Jamila Xolmurodovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Irmatova Aziza Baxromovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Bo'taboyev Mahammadjon To'ychiyevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Shamshiyeva Nargizaxon Nosirxuja kizi, iqtisodiyot fanlari doktori, professor,

Xolmuxamedov Muhsinjon Murodullayevich, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Xodjayeva Nodiraxon Abdurashidovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Amanov Otabek Amankulovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Toxirov Jaloliddin Ochil o'g'li, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Qurbonov Samandar Pulatovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Zikriyoyev Aziz Sadulloyevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Tabayev Azamat Zaripbayevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sxay Lana Aleksandrovna, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Ismoilova Gulnora Fayzullayevna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Djumaniyazov Umrbek Ilxamovich, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Kasimova Nargiza Sabitdjanovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Kalanova Moxigul Baxritdinovna, dotsent

Ashurzoda Luiza Muxtarovna, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sharipov Sardor Begmaxmat o'g'li, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Tursunov Ulug'bek Sativoldiyevich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), dotsent

Bauyetdinov Majit Janizaqovich, Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti dotsenti, PhD

Botirov Bozorbek Musurmon o'g'li, Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sultonov Shavkatjon Abdullayevich, Kimyo fanlari doktori, (DSc)

Jo'raeva Malohat Muhammadovna, filologiya fanlari doktori (DSc), professor.

Yusupov Maxamadamin Abduxamidovich, iqtisodiyot fanlari nomzodi (DSc), professor

Kalonova Moxigul Baxritdinovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi (PhD), dotsent

Mirzayev Kulmamat Djanzakovich, iqtisodiyot fanlari nomzodi (DSc), professor.

Karimova Nilufar Sadirdin qizi, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Norboyev Odil Abrayevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Nasimov Dilmurod Abdulloyevich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), professor

Mirzayev Kulmamat Djanzakovich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), professor

Karimova Nilufar Sadirdin qizi, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Pardaev Umidjon Uralovich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), professor

Xolmirzayev Ulug'bek Abdulazizovich, Iqtisodiyot fanlari doktori (DSc)

muhandislik & iqtisodiyot

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

- 05.01.00 – Axborot texnologiyalari, boshqaruv va kompyuter grafikasi
05.01.01 – Muhandislik geometriyasi va kompyuter grafikasi. Audio va video texnologiyalari
05.01.02 – Tizimli tahlil, boshqaruv va axborotni qayta ishlash
05.01.03 – Informatikaning nazariy asoslari
05.01.04 – Hisoblash mashinalari, majmualari va kompyuter tarmoqlarining matematik va dasturiy ta'minoti
05.01.05 – Axborotlarni himoyalash usullari va tizimlari. Axborot xavfsizligi
05.01.06 – Hisoblash texnikasi va boshqaruv tizimlarining elementlari va qurilmalari
05.01.07 – Matematik modellashtirish
05.01.11 – Raqamli texnologiyalar va sun'iy intellekt
05.02.00 – Mashinasozlik va mashinashunoslik
05.02.08 – Yer usti majmualari va uchish apparatlari
05.03.02 – Metrologiya va metrologiya ta'minoti
05.04.01 – Telekommunikatsiya va kompyuter tizimlari, telekommunikatsiya tarmoqlari va qurilmalari. Axborotlarni taqsimlash
05.05.03 – Yorug'lik texnikasi. Maxsus yoritish texnologiyasi
05.05.05 – Issiqlik texnikasining nazariy asoslari
05.05.06 – Qayta tiklanadigan energiya turlari asosidagi energiya qurilmalari
05.06.01 – To'qimachilik va yengil sanoat ishlab chiqarishlari materialshunosligi
05.08.03 – Temir yo'l transportini ishlatish
05.08.06 – "G'ildirakli va gusenisali mashinalar va ularni ishlatish" (texnika fanlari)
05.09.01 – Qurilish konstruksiyalari, bino va inshootlar
05.09.04 – Suv ta'minoti. Kanalizatsiya. Suv havzalarini muhofazalovchi qurilish tizimlari
10.00.06 – Qiyosiy adabiyotshunoslik, chog'ishtirma tilshunoslik va tarjimashunoslik
10.00.04 – Yevropa, Amerika va Avstraliya xalqlari tili va adabiyoti
08.00.01 – Iqtisodiyot nazariyasi
08.00.02 – Makroiqtisodiyot
08.00.03 – Sanoat iqtisodiyoti
08.00.04 – Qishloq xo'jaligi iqtisodiyoti
08.00.05 – Xizmat ko'rsatish tarmoqlari iqtisodiyoti
08.00.06 – Ekonometrika va statistika
08.00.07 – Moliya, pul muomalasi va kredit
08.00.08 – Buxgalteriya hisobi, iqtisodiy tahlil va audit
08.00.09 – Jahon iqtisodiyoti
08.00.10 – Demografiya. Mehnat iqtisodiyoti
08.00.11 – Marketing
08.00.12 – Mintaqaviy iqtisodiyot
08.00.13 – Menejment
08.00.14 – Iqtisodiyotda axborot tizimlari va texnologiyalari
08.00.15 – Tadbirkorlik va kichik biznes iqtisodiyoti
08.00.16 – Raqamli iqtisodiyot va xalqaro raqamli integratsiya
08.00.17 – Turizm va mehmonxona faoliyati

Ma'lumot uchun, OAK
Rayosatining 2024-yil 28-avgustdagi 360/5-son qarori bilan "Dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarini chop etishga tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro'yxati"ga texnika va iqtisodiyot fanlari bo'yicha "Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali ro'yxatga kiritilgan.

Muassis: "Tadbirkor va ishbilarmon" MChJ

Hamkorlarimiz:

1. Toshkent shahridagi G.V.Plexanov nomidagi Rossiya iqtisodiyot universiteti
2. Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti
3. Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti" milliy tadqiqot universiteti
4. Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti
5. Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti
6. Toshkent davlat transport universiteti
7. Toshkent arxitektura-qurilish universiteti
8. Toshkent kimyo-texnologiya universiteti
9. Jizzax politexnika instituti



MUNDARIJA

MILLIY GWARDIYA TIZIMIDA HARBIY XIZMATCHILARNI KIYIM-KECHAK BILAN TA'MINLASH TIZIMINING NAZARIY ASOSLARI	10
Omonov Usmonqul Raxmonqul o'g'li	
FOND BOZORLARIGA XORIJIY KAPITALNI JALB QILISH: ZAMONAVIY YONDASHUVLAR VA RIVOJLANISH IMKONIYATLARI	17
Yusupova Jamila Karamatdinovna	
AXBOROT KOMMUNIKATSIYA XIZMATLARINING TASHKLIY-HUQUQIY VA ILMIY NAZARIY MASALALARI	21
Rajaboyev Shahboz Shodi o'g'li	
PUL MABLAG'LARI HISOBINI MOLIYAVIY HISOBOTNING XALQARO STANDARTLARIGA O'TKAZISHNING DOLZARB MASALALARI	26
Eshonqulov Akmal Qudratovich	
XORAZM VILOYATINING IJOBIY IMIJINI OSHIRISHDA HUDUDIY MARKETING STRATEGIYALARINI ISHLAB CHIQUISH	34
Ibadullayev Dilshad Ibragimovich	
OROL BO'YI MINTAQASIDA QISHLOQ XO'JALIGI VA TURIZMNI YASHIL MOLIYALASHTIRISH VA INVESTITSIYA MEXANIZMLARI: BARQAROR RIVOJLANISH ISTIQBOLLARI	40
Akramova Feruza	
ATMOSFERA HAVOSI MONITORINGIDA IOT SENSORLARI O'LCHASH NATIJALARINING METROLOGIK ISHONCHLILIGINI BAHOLASH VA OSHIRISH METODOLOGIYASINI TAKOMILLASHTIRISH	52
Sobirov Anvarjon, Melibayev Maxmudjan	



UDK: 504.064:681.518:006.91

ATMOSFERA HAVOSI MONITORINGIDA IOT SENSORLARI O'LCHASH NATIJALARINING METROLOGIK ISHONCHLILIGINI BAHOLASH VA OSHIRISH METODOLOGIYASINI TAKOMILLASHTIRISH

Sobirov Anvarjon Muxammadjon o'g'li

Namangan davlat texnika universiteti tayanch doktranti

ORCID: 0009-0006-8392-092X

Melibayev Maxmudjan

Namangan davlat texnika universiteti professori

Annotatsiya: Atmosfera havosining ifloslanishi inson salomatligi, ekologik xavfsizlik va barqaror rivojlanishga salbiy ta'sir ko'rsatuvchi asosiy omillardan biri hisoblanadi. So'nggi yillarda havo sifati monitoringida IoT texnologiyalariga asoslangan raqamli sensor tizimlaridan keng foydalanilmoqda. Biroq bunday sensorlarning o'lchash aniqligi, kalibrlash sifati, tashqi muhit omillariga sezgirligi hamda uzoq muddatli barqarorligi bilan bog'liq muammolar monitoring natijalarining metrologik ishonchligini pasaytirmoqda. Ushbu maqolada atmosfera havosi monitoringida qo'llaniladigan IoT sensorlari o'lchash natijalarining metrologik ishonchligini baholash va oshirish masalalari tadqiq etilgan. Tadqiqotda sensor ma'lumotlarining aniqligiga ta'sir etuvchi omillar tahlil qilinib, o'lchash noaniqligini baholash, adaptiv kalibrlash va ma'lumotlarni qayta ishlash usullariga asoslangan takomillashtirilgan metodologik yondashuv ishlab chiqilgan. Taklif etilgan metodologiya sensor ma'lumotlarining aniqligi va takrorlanuvchanligini oshirish, monitoring natijalarining ishonchligini ta'minlash hamda atmosfera havosi sifati baholash va boshqarish samaradorligini yaxshilash imkonini beradi. Tadqiqot natijalari raqamli monitoring tizimlarining metrologik ta'minotini rivojlantirish va ekologik monitoring amaliyotini takomillashtirishga xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: atmosfera havosi sifati, IoT sensorlari, raqamli monitoring, metrologik ishonchlik, o'lchash noaniqligi, kalibrlash, adaptiv kalibrlash, havo ifloslanishi, PM2.5, PM10, sensor drifti, ma'lumotlarni qayta ishlash, ekologik monitoring, metrologik ta'minot, standartlashtirish.

Abstract: Air pollution is one of the main factors negatively affecting human health, environmental safety, and sustainable development. In recent years, IoT-based digital sensor systems have been widely adopted for air quality monitoring. However, issues related to the measurement accuracy, calibration quality, sensitivity to environmental conditions, and long-term stability of these sensors reduce the metrological reliability of monitoring results. This paper investigates the assessment and improvement of the metrological reliability of measurement results obtained from IoT sensors used in atmospheric air quality monitoring. The study analyzes the factors affecting the accuracy of sensor data and develops an improved methodological approach based on measurement uncertainty evaluation, adaptive calibration, and data processing techniques. The proposed methodology enhances the accuracy and repeatability of sensor data, ensures the reliability of monitoring results, and improves the effectiveness of atmospheric air quality assessment and management. The research findings contribute to the development of metrological support for digital monitoring systems and the improvement of environmental monitoring practices.

Keywords: atmospheric air quality, IoT sensors, digital monitoring, metrological reliability, measurement uncertainty, calibration, adaptive calibration, air pollution, PM2.5, PM10, sensor drift, data processing, environmental monitoring, metrological support, standardization.

Аннотация: Загрязнение атмосферного воздуха является одним из основных факторов, оказывающих негативное влияние на здоровье человека, экологическую безопасность и устойчивое развитие. В последние годы для мониторинга качества воздуха широко применяются цифровые сенсорные системы, основанные на технологиях Интернета вещей (IoT). Однако проблемы, связанные с точностью измерений, качеством калибровки, чувствительностью к внешним условиям среды и долговременной стабильностью таких датчиков, снижают метрологическую достоверность результатов мониторинга. В данной статье исследуются вопросы оценки и повышения метрологической достоверности результатов измерений, получаемых с использованием IoT-датчиков



при мониторинге атмосферного воздуха. Проведен анализ факторов, влияющих на точность сенсорных данных, и разработан усовершенствованный методологический подход, основанный на оценке неопределенности измерений, адаптивной калибровке и методах обработки данных. Предложенная методология позволяет повысить точность и воспроизводимость данных датчиков, обеспечить достоверность результатов мониторинга, а также повысить эффективность оценки и управления качеством атмосферного воздуха. Результаты исследования способствуют развитию метрологического обеспечения цифровых систем мониторинга и совершенствованию практики экологического мониторинга.

Ключевые слова: качество атмосферного воздуха, IoT-датчики, цифровой мониторинг, метрологическая достоверность, неопределенность измерений, калибровка, адаптивная калибровка, загрязнение воздуха, PM_{2.5}, PM₁₀, дрейф датчиков, обработка данных, экологический мониторинг, метрологическое обеспечение, стандартизация.

KIRISH

Atmosfera havosining ifloslanishi XXI asrning eng dolzarb ekologik va ijtimoiy muammolaridan biri hisoblanadi. Aholi sonining ortishi, sanoat korxonalarining kengayishi, transport vositalari sonining ko'payishi hamda urbanizatsiya jarayonlarining jadallashuvi natijasida atmosfera havosiga chiqarilayotgan zararli moddalarning miqdori yildan yilga ortib bormoqda. Shu sababli atmosfera havosi sifatini uzluksiz nazorat qilish va ifloslanish darajasini ishonchli baholash ekologik xavfsizlikni ta'minlashning muhim shartlaridan biri hisoblanadi. Zamonaviy ekologik monitoring tizimlarida PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂, SO₂, CO va O₃ kabi ifloslantiruvchi moddalar konsentratsiyasini real vaqt rejimida kuzatish alohida ahamiyat kasb etmoqda.

An'anaviy atmosfera havosi monitoringi yuqori aniqlikdagi referens stansiyalar yordamida amalga oshiriladi. Bunday stansiyalar o'lchash natijalarining yuqori aniqligi va ishonchligini ta'minlashda, ularning o'rnatish va ekspluatatsiya xarajatlari yuqoriligi sababli monitoring punktlari soni cheklangan bo'ladi. Natijada hududlar bo'yicha havo sifati to'g'risidagi ma'lumotlarning fazoviy va vaqt bo'yicha aniqligi yetarli darajada ta'minlanmaydi. Mazkur muammoni hal etish maqsadida so'nggi yillarda IoT texnologiyalariga asoslangan arzon sensorli monitoring tizimlari keng joriy etilmoqda. Ushbu tizimlar ma'lumotlarni uzluksiz yig'ish, masofadan uzatish va katta hududlarda yuqori zichlikdagi monitoring tarmoqlarini tashkil etish imkonini beradi.

IoT sensorlarining asosiy afzalligi ularning nisbatan arzonligi va keng ko'lamda qo'llash imkoniyatiga ega ekanligidir. Biroq ko'plab tadqiqotlarda bunday sensorlarning o'lchash natijalari referens asboblar natijalariga nisbatan sezilarli tafovutlarga ega ekanligi qayd etilgan. Sensorlarning harorat, namlik, atmosfera bosimi va boshqa tashqi omillarga sezgirliigi, shuningdek, uzoq muddatli ekspluatatsiya jarayonida yuzaga keladigan sensor drifti o'lchash natijalarining aniqligi va takrorlanuvchanligiga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli IoT sensorlari asosida olingan ma'lumotlarning metrologik ishonchligini ta'minlash zamonaviy ekologik monitoring tizimlarining eng muhim ilmiy va amaliy muammolaridan biri hisoblanadi.

So'nggi yillarda IoT sensorlari ma'lumotlarini kalibrlash, xatoliklarni kamaytirish va o'lchash natijalarining aniqligini oshirishga qaratilgan ko'plab tadqiqotlar amalga oshirilgan. Xususan, mashinaviy o'qitish algoritmlari yordamida sensorlarni adaptiv kalibrlash, anomal qiymatlarni aniqlash va ma'lumotlarni filtrlash usullari taklif etilgan. Tadqiqotlar natijalari ushbu yondashuvlar sensorlar aniqligini sezilarli darajada oshirishini ko'rsatgan bo'lsa-da, o'lchash noaniqligini kompleks baholash, sensor driftini hisobga olish hamda monitoring ma'lumotlarining metrologik izchilligini ta'minlash masalalari hali ham to'liq yechim topmagan.

Mavjud ilmiy tadqiqotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, atmosfera havosi monitoringida qo'llanilayotgan IoT sensorlari uchun yagona metrologik baholash metodologiyasi shakllanmagan. Ko'pchilik ishlarda asosiy e'tibor sensorlarni kalibrlash va ma'lumotlarni qayta ishlash algoritmlariga qaratilgan bo'lib, o'lchash noaniqligini baholash, metrologik tavsiflarni aniqlash hamda monitoring tizimlarining standartlashtirilgan baholash mezonlarini ishlab chiqish masalalari yetarli darajada o'rganilmagan. Shu munosabat bilan mazkur tadqiqotning maqsadi atmosfera havosi monitoringida qo'llaniladigan IoT sensorlari o'lchash natijalarining metrologik ishonchligini baholash hamda o'lchash noaniqligi, kalibrlash jarayonlari va tashqi muhit omillarining ta'sirini hisobga olgan holda ularni oshirish metodologiyasini takomillashtirishdan iborat.

MAVZUGA OID ADABIYOTLAR SHARHI

So'nggi yillarda atmosfera havosi monitoringida IoT texnologiyalariga asoslangan arzon sensorlardan foydalanish bo'yicha ilmiy tadqiqotlar soni sezilarli darajada ortib bormoqda. Ushbu texnologiyalar an'anaviy yuqori aniqlikdagi monitoring stansiyalariga nisbatan kam xarajat talab qilishi, katta hududlarni qamrab olishi va real vaqt rejimida ma'lumotlarni uzatish imkoniyatiga egaligi bilan ajralib turadi [1, 2].

Garcia va hammualliflar tomonidan olib borilgan tizimli tahlilda IoT va sun'iy intellekt asosidagi havo sifati

monitoring tizimlarining rivojlanish tendensiyalari o'rganilgan bo'lib, mualliflar monitoring tizimlarining keng joriy etilishi bilan bir qatorda o'lchash natijalarining aniqligi va ishonchliligini ta'minlash muammolari ham dolzarbligicha qolayotganini ta'kidlaganlar [3]. Shunga o'xshash xulosalar Gololo va hammualliflar tadqiqotida ham keltirilgan bo'lib, LoRa va LTE texnologiyalariga asoslangan IoT monitoring tizimlari samaradorligi baholangan [2].

Hayward va hammualliflar arzon havo sifati sensorlarining ishlash xususiyatlarini tahlil qilib, harorat, nisbiy namlik, boshqa gazlarning ta'siri hamda signal-shovqin nisbatining pastligi sensorlarning o'lchash aniqligiga sezilarli ta'sir ko'rsatishini aniqlaganlar [4]. Mualliflar arzon sensorlardan foydalanishda kalibrash va xatoliklarni tuzatish usullari majburiy ekanligini qayd etganlar.

Tariq va hammualliflar tomonidan bajarilgan tizimli sharhda zamonaviy arzon sensorlar, ularning konstruktiv xususiyatlari va kalibrash usullari tahlil qilingan. Tadqiqot natijalari sensorlarning amaliy qo'llanish samaradorligi ko'p jihatdan metrologik ta'minot darajasiga bog'liqligini ko'rsatgan [5].

Sensor ma'lumotlarining aniqligini oshirish maqsadida mashinaviy o'qitish algoritmlaridan foydalanish bo'yicha ham ko'plab tadqiqotlar olib borilgan. Kim va hammualliflar sun'iy intellekt asosidagi sifat nazorati usullarini tahlil qilib, mashinaviy o'qitish algoritmlari sensor tarmoqlaridagi xatoliklarni kamaytirish va ma'lumotlar sifatini yaxshilash imkonini berishini ko'rsatganlar [6]. Taştan va hammualliflar tomonidan PM sensorlarini kalibrash uchun ko'p qatlamli perseptron (MLP) modelidan foydalanilgan bo'lib, harorat, namlik va atmosfera bosimini hisobga olish natijasida yuqori korrelyatsiya koeffitsiyentlariga erishilgan [7].

Han va hammualliflar elektrokimyoviy havo sifati sensorlarini kalibrashning turli modellar samaradorligini baholab, regressiya va mashinaviy o'qitish usullari sensorlar xatoligini sezilarli kamaytirishini ko'rsatganlar [8]. Chacón-Mateos va hammualliflar PM_{2.5} hamda NO₂ sensorlari uchun ishlab chiqilgan kalibrash metodologiyasi sensor ma'lumotlarining epidemiologik tadqiqotlarda foydalanish darajasigacha aniqligini oshirish mumkinligini isbotlaganlar [9].

Biroq mavjud tadqiqotlarning aksariyatida asosiy e'tibor sensorlarni kalibrash va ma'lumotlarni qayta ishlash algoritmlariga qaratilgan. O'lchash noaniqligini kompleks baholash, sensor driftini hisobga olish, metrologik tavsiflarni standartlashtirish hamda IoT sensorlari uchun yagona metrologik baholash metodologiyasini ishlab chiqish masalalari yetarli darajada o'rganilmagan [4, 6, 10]. Mazkur holat atmosfera havosi monitoringida qo'llaniladigan IoT sensorlari o'lchash natijalarining metrologik ishonchliligini oshirishga qaratilgan yangi metodologik yondashuvlarni ishlab chiqish zarurligini ko'rsatadi.

TADQIQOT METODOLOGIYASI

Mazkur tadqiqotda atmosfera havosi monitoringida qo'llaniladigan IoT sensorlari o'lchash natijalarining metrologik ishonchliligini oshirishga qaratilgan adaptiv metrologik baholash va kalibrash metodologiyasi ishlab chiqildi. Taklif etilgan metodologiya arzon raqamli sensorlar ma'lumotlarini referens o'lchash vositalari natijalari bilan taqqoslash, tashqi muhit omillari ta'sirini hisobga olish hamda o'lchash noaniqligini kompleks baholash tamoyillariga asoslanadi.

Tadqiqot obyekti sifatida atmosfera havosi sifatini nazorat qilishda keng qo'llaniladigan PM_{2.5}, PM₁₀, CO va NO₂ parametrlarini o'lchovchi IoT sensorlari tanlandi. Monitoring tizimi sensor modullari, ma'lumotlarni uzatish bloki, markaziy ma'lumotlar bazasi hamda analitik qayta ishlash modulidan tashkil topdi. Sensorlardan ma'lumotlar 5 daqiqalik interval bilan yig'ilib, markaziy serverga uzatildi.

Taklif etilgan metodologiyaning birinchi bosqichida sensorlar tomonidan olingan dastlabki ma'lumotlar shakllantirildi va noto'g'ri qiymatlarni aniqlash uchun birlamchi filtrlash amalga oshirildi. Ushbu bosqichda fizik jihatdan mumkin bo'lmagan qiymatlar, uzilishlar va anomal kuzatuvlar ma'lumotlar to'plamidan chiqarib tashlandi.

Ikkinchi bosqichda o'lchash natijalariga ta'sir qiluvchi tashqi omillar tahlil qilindi. Bunda havo harorati (T), nisbiy namlik (RH) va atmosfera bosimi (P) parametrlarining sensor ko'rsatkichlariga ta'siri baholandi. O'lchash natijalarini korreksiyalash quyidagi umumlashtirilgan model asosida amalga oshirildi:

bu yerda – korreksiyalangan konsentratsiya, – sensor ko'rsatkichi, – moslashtirish koeffitsiyentlari, – etalon sharoit parametrlaridir.

Uchinchi bosqichda adaptiv kalibrash jarayoni amalga oshirildi. Kalibrashda referens stansiya ma'lumotlari bilan sensor natijalari o'rtasidagi tafovutlar muntazam ravishda baholanib borildi. Har bir vaqt oralig'ida kalibrash koeffitsiyenti yangilanib, sensor driftining ta'siri minimallashtirildi.

To'rtinchi bosqichda o'lchash noaniqligi baholandi. Umumiy noaniqlik sensorning instrumental xatoligi, tashqi muhit ta'siri va kalibrash jarayonidan kelib chiqadigan noaniqliklarning kvadratik yig'indisi sifatida aniqlandi:

bu yerda – instrumental noaniqlik, – tashqi omillar bilan bog'liq noaniqlik, – kalibrash noaniqligi.

Metrologik ishonchlilikni kompleks baholash uchun yangi integral ko'rsatkich – Metrologik Ishonchlilik Indeksi (MII) taklif etildi:

bu yerda RMSE – o'rtacha kvadratik xatolik, U – kengaytirilgan noaniqlik, – kuzatilayotgan parametrlarning



o'rtacha qiymati.

MII qiymati 0 dan 1 gacha bo'lgan oraliqda o'zgaradi. MII qiymati 1 ga yaqinlashgan sari monitoring tizimining metrologik ishonchliligi yuqori deb baholanadi.

Taklif etilgan metodologiya natijasida sensorlarning o'lchash aniqligi, takrorlanuvchanligi va uzoq muddatli barqarorligini kompleks baholash imkoniyati yaratildi hamda atmosfera havosi monitoringida foydalaniladigan IoT sensorlari uchun metrologik ta'minotni takomillashtirishga erishildi.

TAHLIL VA NATIJALAR

Taklif etilgan adaptiv metrologik kalibrlash metodologiyasining samaradorligini baholash maqsadida atmosfera havosi monitoringida qo'llaniladigan IoT sensorlari ma'lumotlari asosida modellashtirish tajribalari o'tkazildi. Tadqiqot davomida $PM_{2.5}$, PM_{10} , CO va NO_2 ko'rsatkichlari bo'yicha o'lchash natijalari tahlil qilindi hamda sensor ma'lumotlari referens qiymatlar bilan taqqoslandi. Dastlabki bosqichda sensorlardan olingan xom ma'lumotlar va referens qiymatlar o'rtasida sezilarli tafovutlar kuzatildi. Ayniqsa, nisbiy namlik yuqori bo'lgan sharoitlarda $PM_{2.5}$ va PM_{10} konsentratsiyalarining ortiqcha baholanishi aniqlandi. Taklif etilgan metodologiya asosida adaptiv kalibrlash va tashqi muhit omillarini hisobga oluvchi korreksiya algoritmlari qo'llanilgandan so'ng o'lchash natijalarining aniqligi sezilarli darajada yaxshilandi (1-jadval).

1-jadval. $PM_{2.5}$ konsentratsiyasini aniqlash natijalarining taqqoslanishi¹

Ko'rsatkich	Referens qiymat	Kalibrlashgacha	Kalibrlashdan keyin
O'rtacha qiymat ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	42.6	51.8	43.9
Maksimal qiymat ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	71.4	83.2	72.6
Minimal qiymat ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	18.7	23.1	19.4
Standart og'ish	12.3	15.7	12.8

1-jadval ma'lumotlariga ko'ra, kalibrlashdan oldin sensor natijalari referens qiymatlarga nisbatan o'rtacha 21.6% ga yuqori bo'lgan. Taklif etilgan metodologiya qo'llanilgandan keyin ushbu tafovut 3.1% gacha kamaygan (2-jadval).

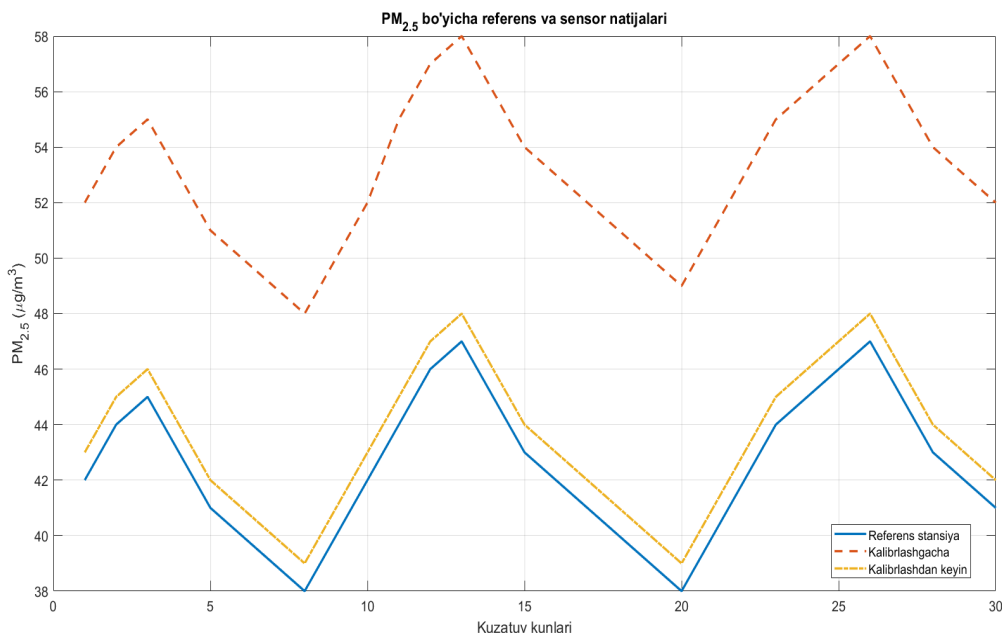
2-jadval. Metrologik tavsiflarning o'zgarishi²

Ko'rsatkich	Kalibrlashgacha	Kalibrlashdan keyin
MAE	8.6	2.4
RMSE	11.8	3.2
R^2	0.71	0.95
MII	0.68	0.93

2-jadval natijalari taklif etilgan metodologiya sensor ma'lumotlarining aniqligini sezilarli darajada oshirishini ko'rsatdi. O'rtacha absolyut xatolik 72.1% ga, o'rtacha kvadratik xatolik esa 72.9% ga kamaydi. Determinatsiya koeffitsiyenti 0.71 dan 0.95 gacha oshishi sensor ma'lumotlari bilan referens qiymatlar o'rtasidagi bog'liqlikning kuchayganligini ko'rsatadi (1-rasm).

1 Manba: muallif ishlanmasi.

2 Manba: muallif ishlanmasi.



1-rasm. PM_{2.5} bo'yicha tajriba va sensor natijalarining taqqoslanishi³

1-rasmda ko'rsatilganidek, kalibrlashdan oldingi sensor ma'lumotlari referens qiymatlardan muntazam ravishda yuqori bo'lgan. Adaptiv kalibrlash natijasida egri chiziqlar o'rtasidagi tafovut sezilarli darajada kamaygan (3-jadval).

3-jadval. Tashqi muhit omillarining umumiy xatolikka ta'siri⁴

Omil	Ulushi (%)
Nisbiy namlik	34.7
Harorat	22.1
Sensor drifti	18.3
Atmosfera bosimi	11.4
Boshqa omillar	13.5

Tahlil natijalariga ko'ra, umumiy xatolikning eng katta qismi nisbiy namlik hissasiga to'g'ri keladi. Bu ko'rsatkich optik chang sensorlarining namlikka yuqori sezgirligi bilan izohlanadi. Harorat omili ham sezilarli ta'sir ko'rsatib, umumiy xatolikning 22.1% qismini tashkil etdi (4-jadval).

4-jadval. O'lchash noaniqligining tarkibiy qismlari⁵

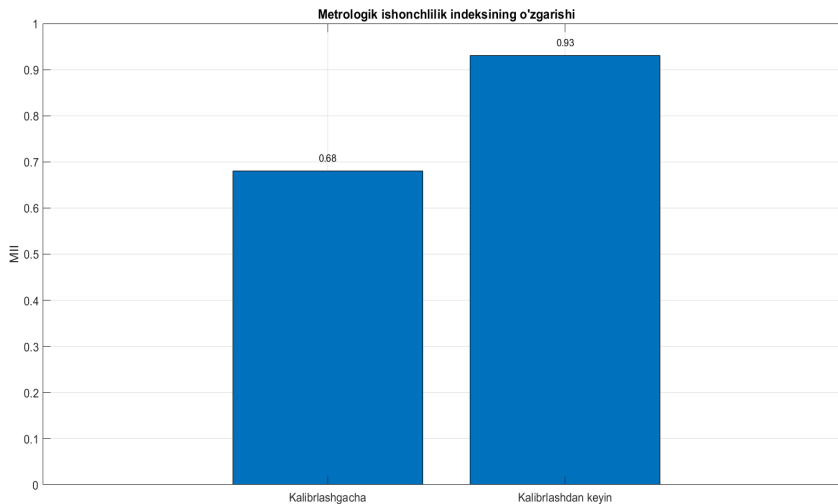
Noaniqlik manbai	Qiymat (%)
Instrumental noaniqlik	2.4
Kalibrlash noaniqligi	2.1
Tashqi muhit omillari	4.1
Birlashtirilgan noaniqlik	5.1

Taklif etilgan metodologiya qo'llanilishi natijasida kengaytirilgan noaniqlik 14.2% dan 5.1% gacha kamaydi. Ushbu natija IoT sensorlari asosida tashkil etilgan monitoring tizimlarida o'lchashlarning metrologik ishonchligini oshirish mumkinligini tasdiqlaydi (2-rasm).

3 Manba: muallif ishlanmasi.

4 Manba: muallif ishlanmasi.

5 Manba: muallif ishlanmasi.



2-rasm. Metrologik ishonchlik indeksining (MII) o'zgarishi⁶

MII qiymatining 0.68 dan 0.93 gacha oshishi monitoring tizimining metrologik tavsiflari sezilarli yaxshilanganligini ko'rsatadi. Natijalar taklif etilgan metodologiya IoT sensorlari ma'lumotlarining aniqligi, takrorlanuvchanligi va ishonchligini oshirishga xizmat qilishini ko'rsatdi.

Tadqiqot natijalari atmosfera havosi monitoringida qo'llaniladigan IoT sensorlarining o'lchash natijalari tashqi muhit omillariga sezilarli darajada bog'liqligini ko'rsatdi. Ayniqsa, nisbiy namlik va haroratning o'zgarishi $PM_{2.5}$ hamda PM_{10} konsentratsiyalarini aniqlash aniqligiga bevosita ta'sir qilishi aniqlandi. Bu holat optik sensorlarning fizik ishlash prinsipi bilan izohlanadi, ya'ni havodagi namlik zarrachalarning optik xususiyatlarini o'zgartirib, o'lchash natijalarida qo'shimcha xatoliklarning yuzaga kelishiga sabab bo'ladi.

Olingan natijalar zamonaviy ilmiy tadqiqotlarda keltirilgan xulosalar bilan mos keladi. Ko'plab tadqiqotchilar tomonidan arzon IoT sensorlarining asosiy muammosi sifatida tashqi muhit omillari ta'siri, sensor drifti va kalibrlashning yetarli darajada amalga oshirilmaligi qayd etilgan. Tadqiqot davomida ishlab chiqilgan adaptiv kalibrlash algoritmi ushbu omillarning ta'sirini kamaytirishga imkon berdi hamda sensor ma'lumotlarining referens qiymatlar bilan mosligini sezilarli ravishda yaxshiladi. Natijalar tahlili shuni ko'rsatdiki, taklif etilgan metodologiyani qo'llash natijasida RMSE qiymati 11.8 dan 3.2 gacha kamaydi, R^2 ko'rsatkichi esa 0.71 dan 0.95 gacha oshdi. Bu esa sensor ma'lumotlari va referens o'lchash natijalari o'rtasidagi korrelyatsiya darajasining sezilarli yaxshilanganligini bildiradi. Mazkur natijalar IoT sensorlari asosidagi monitoring tizimlarida metrologik ta'minotni takomillashtirish orqali o'lchashlarning ishonchligini oshirish mumkinligini tasdiqlaydi.

Tadqiqotning muhim jihatlaridan biri sifatida o'lchash noaniqligini kompleks baholash modeli ishlab chiqildi. Amaliyotda ko'plab monitoring tizimlarida o'lchash natijalarining aniqligi baholansa-da, noaniqlikning tarkibiy qismlarini kompleks hisobga olishga yetarli e'tibor qaratilmaydi. Taklif etilgan yondashuv instrumental noaniqlik, kalibrlash noaniqligi va tashqi muhit omillarining ta'sirini yagona model doirasida baholash imkonini berdi. Natijada umumiy noaniqlik 14.2% dan 5.1% gacha kamaydi. Mazkur tadqiqotning yana bir ilmiy natijasi sifatida Metrologik Ishonchlik Indeksi (MII) taklif etildi. Ushbu ko'rsatkich monitoring tizimining aniqligi, noaniqligi va takrorlanuvchanligini kompleks ravishda baholash imkonini beradi. Tadqiqot natijalariga ko'ra, MII qiymati 0.68 dan 0.93 gacha oshgan bo'lib, bu monitoring tizimining metrologik tavsiflari sezilarli yaxshilanganligini ko'rsatadi. Taklif etilgan indeks turli sensor tizimlarini o'zaro taqqoslash hamda monitoring tarmoqlarining samaradorligini baholashda qo'llanilishi mumkin.

Taklif etilgan metodologiyaning afzalligi shundaki, u qo'shimcha qimmat uskunalar talab qilmasdan mavjud IoT monitoring tizimlarining metrologik tavsiflarini yaxshilash imkonini beradi. Ushbu yondashuvni yirik sanoat hududlari, transport magistrallari hamda urbanizatsiyalashgan hududlarda tashkil etilgan havo sifati monitoring tizimlarida qo'llash mumkin. Shu bilan birga, tadqiqotning ayrim cheklavlari ham mavjud. Xususan, metodologiya $PM_{2.5}$ va PM_{10} monitoringi misolida baholangan bo'lib, boshqa gazsimon ifloslantiruvchi moddalar uchun qo'shimcha tadqiqotlar o'tkazish talab etiladi. Bundan tashqari, uzoq muddatli ekspluatatsiya jarayonida yuzaga keladigan sensor degradatsiyasi va mavsumiy omillarning ta'sirini yanada chuqurroq o'rganish maqsadga muvofiq hisoblanadi. Kelgusidagi tadqiqotlarda sun'iy intellekt va mashinaviy o'qitish algoritmlarini qo'llash orqali sensor driftini avtomatik aniqlash, kalibrlash parametrlarini real vaqt rejimida yangilash hamda monitoring

6 Manba: muallif ishlanmasi.

ma'lumotlarining metrologik ishonchliligini yanada oshirish istiqbolli yo'nalishlardan biri bo'lib xizmat qiladi.

XULOSA VA TAKLIFLAR

Mazkur tadqiqotda atmosfera havosi monitoringida qo'llaniladigan IoT sensorlari o'lchash natijalarining metrologik ishonchliligini oshirishga qaratilgan adaptiv metrologik baholash va kalibrlash metodologiyasi ishlab chiqildi hamda uning samaradorligi baholandi. Tadqiqot natijalari IoT sensorlari tomonidan olingan ma'lumotlarning aniqligiga nisbiy namlik, harorat, atmosfera bosimi va sensor drifti kabi omillar sezilarli ta'sir ko'rsatishini tasdiqladi. Shu munosabat bilan o'lchash natijalarini korreksiyalash, tashqi muhit omillarining ta'sirini kamaytirish va monitoring ma'lumotlarining ishonchliligini oshirish maqsadida adaptiv kalibrlashga asoslangan metodologik yondashuv taklif etildi.

Ishlab chiqilgan metodologiya doirasida instrumental, kalibrlash va tashqi muhit bilan bog'liq noaniqliklarni kompleks baholash modeli shakllantirildi hamda monitoring tizimining metrologik tavsiflarini integral baholash uchun Metrologik Ishonchlilik Indeksi (MII) joriy etildi. Olingan natijalar taklif etilgan yondashuvni qo'llash natijasida o'rtacha kvadratik xatolik va o'rtacha absolyut xatolik sezilarli darajada kamayganligini, determinatsiya koeffitsiyenti hamda monitoring tizimining umumiy ishonchlilik ko'rsatkichlari esa oshganligini ko'rsatdi.

Xususan, MII qiymatining 0.68 dan 0.93 gacha ortishi monitoring tizimining metrologik tavsiflari sezilarli darajada yaxshilanganligini tasdiqladi. Tadqiqot natijalari atmosfera havosi monitoringida qo'llaniladigan IoT sensorlari uchun metrologik ta'minotni takomillashtirish, monitoring ma'lumotlarining aniqligi va ishonchliligini oshirish hamda ekologik boshqaruv qarorlarini qabul qilish samaradorligini yuksaltirish imkonini beradi. Taklif etilgan metodologiya amaliy jihatdan raqamli monitoring tizimlarining samaradorligini oshirishga xizmat qilishi bilan birga, kelgusida sun'iy intellekt va mashinaviy o'qitish algoritmlari asosida avtomatik kalibrlash tizimlarini ishlab chiqish uchun ilmiy asos bo'lib xizmat qilishi mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati:

1. Alsamrai O., Al-Bayati A., Al-Quraan M. A Systematic Review for Indoor and Outdoor Air Pollution Monitoring Systems Based on Internet of Things. *Sustainability*. 2024. Vol. 16(11). Article 4353.
2. Gololo M.G.D., et al. Review of IoT Systems for Air Quality Measurements Based on LTE/4G and LoRa Communications. *Smart Cities*. 2024. Vol. 5(4). Article 32.
3. Garcia A., et al. Advancements in Air Quality Monitoring: A Systematic Review of IoT and AI-Based Systems. *Artificial Intelligence Review*. 2025.
4. Hayward I., et al. Low-Cost Air Quality Sensors: Biases, Corrections and Challenges in Their Comparability. *Atmosphere*. 2024. Vol. 15(12). Article 1523.
5. Tariq H., Touati F., Crescini D., Mnaouer A.B. State-of-the-Art Low-Cost Air Quality Sensors, Assemblies, Calibration and Evaluation: A Systematic Review. *Atmosphere*. 2024. Vol. 15(4). Article 471.
6. Kim Y.H., et al. Machine Learning-Based Quality Control for Low-Cost Air Quality Sensor Networks: A Review. *Atmosphere*. 2025. Vol. 16(10). Article 1136.
7. Taştan M., et al. Machine Learning-Based Calibration and Performance Evaluation of Low-Cost PM Sensors. *Sensors*. 2025. Vol. 25(10). Article 3183.
8. Han P., et al. Calibrations of Low-Cost Air Pollution Monitoring Sensors: Model Development and Sensor Performance Evaluation. *Sensors*. 2021. Vol. 21(1). Article 256.
9. Chacón-Mateos M., et al. Calibration and Performance Evaluation of PM2.5 and NO2 Air Quality Sensors. *Atmospheric Measurement Techniques*. 2025. Vol. 18. pp. 4061–4085.
10. Hayward I., et al. The Impact of Device Type and Deployment Environment on Low-Cost Air Quality Sensor Performance. *npj Clean Air*. 2025.

muhandislik

& iqtisodiyot

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

Ingliz tili muharriri: Feruz Hakimov

Musahhih: Zokir Alibekov

Sahifalovchi va dizayner: Abdurahmon Qurbonov

2026. № 7

© Materiallar ko'chirib bosilganda "Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali manba sifatida ko'rsatilishi shart. Jurnalda bosilgan material va reklamalardagi dalillarning aniqligiga mualliflar ma'sul. Tahririyat fikri har vaqt ham mualliflar fikriga mos kelmasligi mumkin. Tahririyatga yuborilgan materiallar qaytarilmaydi.

"Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali 26.06.2023-yildan
O'zbekiston Respublikasi Prezidenti Adminstratsiyasi huzuridagi
Axborot va ommaviy kommunikatsiyalar agentligi tomonidan
№S-5669245 reyestr raqami tartibi bo'yicha ro'yxatdan o'tkazilgan.
Litsenziya raqami: №095310.

**Manzilimiz: Toshkent shahri Yunusobod
tumani 15-mavze 19-uy**





+998 93 718 40 07



<https://muhandislik-iqtisodiyot.uz/index.php/journal>



t.me/yait_2100