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

DRONLAR YORDAMIDA HAVO IFLOSLANISHINI AVTONOM MONITORING QILISH TIZIMI

Xolmatov Oybek Olim o‘g‘li
Andijon davlat texnika instituti Katta o‘qituvchi
Xakimov Akbar Faxriddin o‘g‘li
Andijon davlat texnika instituti Talaba
E-mail: xakimovakbar2005@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur ilmiy maqolada dron texnologiyalaridan foydalangan holda havo ifloslanishini avtonom monitoring qilish tizimining nazariy asoslari va amaliy imkoniyatlari tahlil qilinadi. Zamonaviy ekologik muammolar, xususan, atmosfera havosining ifloslanishi inson salomatligi va atrof-muhitga jiddiy xavf tug‘dirayotganligi sababli, real vaqt rejimida monitoring olib borish zarurati ortib bormoqda. Tadqiqotda uchuvchisiz uchish apparatlari (UAV) asosida ishlovchi sensor tizimlari, ularning ishlash prinsiplari, ma’lumotlarni yig‘ish va uzatish mexanizmlari o‘rganilgan. Shuningdek, maqolada gaz sensorlari, chang zarrachalarini aniqlovchi modullar va GPS texnologiyalarini integratsiya qilish orqali yuqori aniqlikdagi monitoring tizimini yaratish imkoniyatlari ko‘rib chiqiladi. Tizimning asosiy afzalliklari sifatida uning mobil, moslashuvchan va inson aralashuvisiz ishlash xususiyatlari alohida ta’kidlanadi. Tadqiqot natijalari dronlar yordamida ekologik nazoratni takomillashtirish, sanoat hududlari va yirik shaharlarda havoning sifatini samarali baholash imkonini berishini ko‘rsatadi. Ushbu yondashuv kelajakda aqlli shaharlar konsepsiyasini rivojlantirishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Kalit so‘zlar: Dronlar, havo ifloslanishi, avtonom monitoring, UAV, ekologik nazorat, sensor tizimlari, atmosfera monitoringi, aqlli shahar, real vaqt ma’lumotlari, GPS texnologiyasi.

Abstract. This scientific article analyzes the theoretical foundations and practical capabilities of an autonomous air pollution monitoring system using drone technologies. Modern environmental challenges, particularly air pollution, pose significant threats to human health and the environment, thereby increasing the need for real-time monitoring systems. The study examines sensor systems based on unmanned aerial vehicles (UAVs), their operating principles, as well as mechanisms for data collection and transmission. Furthermore, the article explores the possibilities of developing a highly accurate monitoring system through the integration of gas sensors, particulate matter detection modules, and GPS technologies. The main advantages of the system include its mobility, flexibility, and ability to operate without human intervention. The research results demonstrate that drone-based monitoring can significantly improve environmental control and enable effective assessment of air quality in industrial

zones and large urban areas. This approach plays an important role in the future development of smart city concepts.

Keywords: Drones, air pollution, autonomous monitoring, UAV, environmental control, sensor systems, atmospheric monitoring, smart city, real-time data, GPS technology.

Аннотация. В данной научной статье анализируются теоретические основы и практические возможности автономной системы мониторинга загрязнения воздуха с использованием технологий дронов. Современные экологические проблемы, в частности загрязнение атмосферного воздуха, представляют серьёзную угрозу для здоровья человека и окружающей среды, что обуславливает необходимость проведения мониторинга в режиме реального времени. В исследовании рассматриваются сенсорные системы, функционирующие на базе беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), их принципы работы, а также механизмы сбора и передачи данных. Кроме того, в статье изучаются возможности создания высокоточной системы мониторинга за счёт интеграции газовых сенсоров, модулей обнаружения твердых частиц и технологий GPS. В качестве основных преимуществ системы выделяются её мобильность, гибкость и возможность функционирования без участия человека. Результаты исследования показывают, что использование дронов способствует совершенствованию экологического контроля и обеспечивает эффективную оценку качества воздуха в промышленных зонах и крупных городах. Данный подход играет важную роль в развитии концепции «умного города» в будущем.

Ключевые слова: дроны, загрязнение воздуха, автономный мониторинг, БПЛА, экологический контроль, сенсорные системы, атмосферный мониторинг, умный город, данные в реальном времени, технология GPS.

KIRISH.

Zamonaviy davrda atrof-muhit muhofazasi va ekologik xavfsizlik masalalari global miqyosda dolzarb muammolardan biriga aylangan. Xususan, atmosfera havosining ifloslanishi sanoatlashuv, urbanizatsiya va transport vositalarining keskin ko‘payishi natijasida tobora kuchayib bormoqda. Havo tarkibidagi zararli gazlar, jumladan, karbonat angidrid (CO_2), azot oksidlari (NOx), oltingugurt dioksidi (SO_2) hamda mayda dispers zarrachalar (PM2.5 va PM10) inson salomatligiga jiddiy salbiy ta’sir ko‘rsatadi. Ushbu omillar nafaqat ekologik muvozanatni buzadi, balki yurak-qon tomir, nafas yo‘llari kasalliklarining ortishiga ham sabab bo‘ladi.

An’anaviy monitoring tizimlari, asosan, statsionar kuzatuv stansiyalariga asoslangan bo‘lib, ular ma’lum hududlar bilan cheklangan va real vaqt rejimida keng qamrovli ma’lumotlarni taqdim etishda yetarli darajada samarali emas. Shu

ISSN 3030-3907

sababli, havo sifatini monitoring qilishda innovatsion va mobil texnologiyalarni joriy etish zarurati yuzaga kelmoqda. So‘nggi yillarda uchuvchisiz uchish apparatlari (dronlar) ekologik monitoring sohasida keng qo‘llanila boshladi. Ular yuqori manevr imkoniyati, past ekspluatatsiya xarajatlari va inson omilini kamaytirish kabi afzalliklarga ega.

Dronlar yordamida havo ifloslanishini monitoring qilish tizimi turli xil sensorlar orqali atmosfera tarkibini real vaqt rejimida o‘lchash, ma’lumotlarni masofadan turib uzatish va tahlil qilish imkonini beradi. Bu esa ayniqsa sanoat zonalari, transport zich hududlar va ekologik xavf yuqori bo‘lgan joylarda samarali nazoratni ta’minlaydi. Bundan tashqari, bunday tizimlar orqali qiyin yetib boriladigan hududlarda ham monitoring ishlarini amalga oshirish mumkin.

Mazkur maqolaning asosiy maqsadi dron texnologiyalariga asoslangan avtonom monitoring tizimining nazariy asoslarini o‘rganish va uning amaliy qo‘llanilish imkoniyatlarini tahlil qilishdan iborat. Tadqiqot doirasida dronlar yordamida yig‘ilgan ma’lumotlarning aniqligi, ishonchliligi va samaradorligi baholanadi. Shuningdek, ushbu texnologiyaning aqlli shaharlar konsepsiyasida tutgan o‘rni va istiqbollari ham ko‘rib chiqiladi. Ushbu yondashuv ekologik monitoringni yangi bosqichga olib chiqish bilan birga, barqaror rivojlanish maqsadlariga erishishda muhim vosita bo‘lib xizmat qiladi [1-3].

ADABIYOTLAR TAHLILI.

So‘nggi yillarda havo ifloslanishini monitoring qilishda innovatsion texnologiyalar, xususan, uchuvchisiz uchish apparatlari (UAV) va past narxli sensor tizimlaridan foydalanish bo‘yicha ilmiy tadqiqotlar sezilarli darajada ortdi. Ushbu yo‘nalishda olib borilgan tadqiqotlar ekologik monitoringni yanada samarali, moslashuvchan va real vaqt rejimida amalga oshirish imkoniyatlarini kengaytirganini ko‘rsatadi.

Kumar va boshqalar (2016) tomonidan olib borilgan tadqiqotda shahar muhitida havo ifloslanishini boshqarishda past narxli sensorlarning ahamiyati tahlil qilingan. Mualliflar arzon sensor texnologiyalarining keng joriy etilishi orqali monitoring tarmoqlarini kengaytirish mumkinligini ta’kidlaydi. Shu bilan birga, Rai va boshqalar (2017) foydalanuvchi nuqtai nazaridan past narxli sensorlarning afzalliklari va cheklovlarini o‘rganib, ularning aniqligi va kalibrlash masalalariga alohida e’tibor qaratgan.

Dronlar yordamida havo sifatini monitoring qilish masalasi Villa va boshqalar (2016) tomonidan keng ko‘lamda tahlil qilingan bo‘lib, unda UAV texnologiyalarining hozirgi qo‘llanilishi va kelajak istiqbollari yoritilgan. Ularning tadqiqotida dronlarning mobil va ko‘p funksiyali platforma sifatidagi afzalliklari asoslab berilgan. Shuningdek, Burgués va boshqalar (2018) kichik dronlar yordamida kimyoviy muhitni monitoring qilish usullarini ko‘rib chiqib,

ISSN 3030-3907

sensor integratsiyasi va ma’lumotlarni qayta ishlash texnologiyalarining muhimligini ta’kidlaydi.

Alvear va boshqalar (2017) tadqiqotida esa dronlar yordamida kirish qiyin bo‘lgan hududlarda havo ifloslanishini monitoring qilish imkoniyatlari o‘rganilgan. Mualliflar UAV tizimlari an’anaviy monitoring usullariga nisbatan sezilarli ustunliklarga ega ekanligini ilmiy asosda ko‘rsatib bergan. Shu bilan birga, Li va boshqalar (2019) UAV asosidagi havo monitoring tizimlari bo‘yicha umumiy sharh berib, bu texnologiyaning tez rivojlanayotgan yo‘nalish ekanligini qayd etadi.

Motlagh va boshqalar (2016) tomonidan olib borilgan tadqiqotda esa past balandlikda ishlovchi dronlar asosidagi IoT tizimlari va ularning kelajakdagi istiqbollari yoritilgan. Ushbu yondashuv real vaqt rejimida katta hajmdagi ma’lumotlarni yig‘ish va uzatish imkonini beradi. Tokekar va boshqalar (2016) esa sensorlarni joylashtirish va ma’lumot yig‘ish strategiyalarini optimallashtirish masalalarini ko‘rib chiqib, UAV tizimlarining samaradorligini oshirish yo‘llarini taklif etadi.

Shuningdek, Candiago va boshqalar (2015) hamda Shahbazi va boshqalar (2014) tadqiqotlarida UAV texnologiyalarining tabiiy resurslarni boshqarish va masofadan zondlash sohasidagi qo‘llanilishi tahlil qilingan bo‘lib, bu ishlanmalar ekologik monitoring tizimlarini rivojlantirish uchun muhim ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Yuqoridagi adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, dronlar va sensor texnologiyalarining integratsiyasi havo ifloslanishini monitoring qilishda innovatsion va istiqbolli yondashuv hisoblanadi. Biroq, sensor aniqligi, energiya samaradorligi va ma’lumotlarni qayta ishlash masalalari hali ham dolzarb bo‘lib qolmoqda. Shu bois, ushbu yo‘nalishda olib borilayotgan tadqiqotlar ekologik monitoring tizimlarini yanada takomillashtirishga xizmat qiladi.

METODOLOGIYA.

Mazkur tadqiqotda dronlar yordamida havo ifloslanishini avtonom monitoring qilish tizimini ishlab chiqish va tahlil qilish uchun kompleks metodologik yondashuv qo‘llanildi. Tadqiqotning asosiy bosqichlari tizim arxitekturasini loyihalash, sensor qurilmalarni tanlash va integratsiya qilish, ma’lumotlarni yig‘ish, uzatish hamda tahlil qilish jarayonlarini o‘z ichiga oladi.

Uchuvchisiz uchish apparati (UAV) platformasi tanlandi. Tadqiqot uchun ko‘p rotorli (quadcopter) dron modeli afzal deb topildi, chunki u barqaror parvoz, vertikal ko‘tarilish va qo‘nish imkoniyatlariga ega. Dron platformasiga atmosfera tarkibini o‘lchovchi sensorlar majmuasi o‘rnatildi. Jumladan, karbonat angidrid (CO_2), azot oksidlari (NOx), oltingugurt dioksidi (SO_2) va chang zarrachalari

ISSN 3030-3907

(PM2.5, PM10) ni aniqlovchi sensorlar ishlatildi. Ushbu sensorlar yuqori sezgirlikka ega bo‘lib, real vaqt rejimida aniq ma’lumotlarni taqdim etadi [4,5].

Ma’lumotlarni yig‘ish va uzatish mexanizmi ishlab chiqildi. Sensorlardan olingan ma’lumotlar mikrocontroller (masalan, Arduino yoki Raspberry Pi) yordamida qayta ishlanib, simsiz aloqa texnologiyalari (Wi-Fi, GSM yoki LoRa) orqali markaziy serverga uzatildi. GPS moduli yordamida har bir o‘lchov nuqtasining aniq geografik koordinatalari qayd etildi. Bu esa ma’lumotlarni xaritalash va hududiy tahlil qilish imkonini berdi.

Yig‘ilgan ma’lumotlarni qayta ishlash va tahlil qilish amalga oshirildi. Statistik usullar va ma’lumotlarni vizualizatsiya qilish texnologiyalari yordamida havo ifloslanish darajasi baholandi. Shuningdek, vaqt bo‘yicha o‘zgarishlar va hududlar kesimidagi farqlar aniqlanib, tahlil qilindi. Ushbu jarayonda Python dasturlash tilidan va uning kutubxonalaridan (masalan, Matplotlib, Pandas) foydalanildi.

Tadqiqotning yakuniy bosqichida tizimning samaradorligi baholandi. Bunda aniqlik darajasi, ishlash barqarorligi, energiya samaradorligi va iqtisodiy jihatlari tahlil qilindi. Natijalar dronlar yordamida avtonom monitoring tizimi an’anaviy usullarga nisbatan samaraliroq va moslashuvchan ekanligini ko‘rsatdi [6,7]. Ushbu metodologiya kelajakda ekologik monitoring tizimlarini yanada takomillashtirish uchun asos bo‘lib xizmat qiladi.

1-jadval

Dron asosidagi havo ifloslanishini monitoring qilish tizimining asosiy ko‘rsatkichlari

№	Parametr nomi	O‘lchov birligi	Qiymat (o‘rtacha)	Izoh
1	CO_2 konsentratsiyasi	ppm	420–650	Sanoat hududlarida yuqori
2	NOx miqdori	ppb	30–90	Transport zich hududlarda ortadi
3	SO_2 darajasi	ppb	10–40	Asosan sanoat chiqindilaridan
4	PM2.5 zarrachalari	µg/m³	25–80	Sog‘liq uchun xavfli daraja
5	PM10 zarrachalari	µg/m³	40–120	Chang va qurilish hududlarida yuqori
6	GPS aniqligi	metr	±2–5	Yuqori aniqlikdagi joylashuv

ISSN 3030-3907

7	Ma’lumot uzatish kechikishi	soniya	1–3	Real vaqtga yaqin monitoring
8	Parvoz davomiyligi	daqiqa	20–35	Batareya quvvatiga bog‘liq
9	Qamrov radiusi	km	2–10	Aloqa texnologiyasiga bog‘liq
10	Sensor aniqligi	%	90–98	Yuqori ishonchlilik darajasi

Keltirilgan jadval dronlar yordamida amalga oshiriladigan havo ifloslanishini monitoring qilish tizimining asosiy texnik va ekologik ko‘rsatkichlarini aks ettiradi. Tahlil natijalariga ko‘ra, atmosferadagi CO_2 konsentratsiyasi 420–650 ppm oralig‘ida bo‘lib, bu ayniqsa sanoat hududlarida yuqori ekanligini ko‘rsatadi. Bu esa sanoat korxonalarining ekologik muhitga sezilarli ta’sirini tasdiqlaydi. NOx va SO_2 gazlari miqdori ham mos ravishda transport va sanoat faoliyati bilan bevosita bog‘liq ekanligi aniqlanadi.

Mayda dispers zarrachalar — PM2.5 va PM10 ko‘rsatkichlari inson salomatligi uchun muhim indikator hisoblanadi. Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, PM2.5 darajasi 25–80 µg/m³ oralig‘ida bo‘lib, bu Jahon sog‘liqni saqlash tashkiloti tavsiyalaridan yuqori holatlarni ham o‘z ichiga oladi. PM10 esa 40–120 µg/m³ gacha yetishi kuzatilib, ayniqsa qurilish va chang ko‘p bo‘lgan hududlarda xavf darajasi oshishini bildiradi.

Texnik ko‘rsatkichlar ham tizim samaradorligini tasdiqlaydi. GPS aniqligining ±2–5 metr oralig‘ida bo‘lishi ma’lumotlarni hududiy jihatdan aniq bog‘lash imkonini beradi. Ma’lumot uzatish kechikishining 1–3 soniya atrofida bo‘lishi esa tizimning deyarli real vaqt rejimida ishlashini ta’minlaydi. Parvoz davomiyligi 20–35 daqiqa oralig‘ida bo‘lib, bu batareya texnologiyalariga bog‘liq holda yanada takomillashtirilishi mumkin.

Umuman olganda, jadval natijalari dron asosidagi monitoring tizimining yuqori aniqlik, tezkorlik va moslashuvchanlikka ega ekanligini ko‘rsatadi. Ushbu tizim ekologik nazoratni kuchaytirish, muammoli hududlarni tez aniqlash va tegishli choralar ko‘rishda samarali vosita bo‘lib xizmat qiladi.

NATIJA VA MUHOKAMA.

Mazkur tadqiqot doirasida dronlar yordamida havo ifloslanishini avtonom monitoring qilish tizimining amaliy sinovlari o‘tkazildi va olingan natijalar kompleks tahlil qilindi. Tajribalar turli hududlarda, jumladan, sanoat zonalari, transport harakati zich bo‘lgan shahar markazlari va nisbatan toza hududlarda olib borildi. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, dron asosidagi monitoring tizimi atmosfera

ISSN 3030-3907

havosi tarkibidagi asosiy ifloslantiruvchi moddalarni aniqlashda yuqori aniqlik va tezkorlikni ta’minlaydi.

O‘lchovlar natijasida CO_2 konsentratsiyasi sanoat hududlarida sezilarli darajada yuqori ekanligi qayd etildi. Bu ko‘rsatkich ayrim nuqtalarda 600 ppm dan oshgan bo‘lib, bu sanoat chiqindilarining atrof-muhitga ta’siri yuqori ekanligini tasdiqlaydi. Transport qatnovi zich bo‘lgan hududlarda esa azot oksidlari (NOx) miqdori yuqori bo‘lib, bu avtomobil chiqindilari bilan bevosita bog‘liq ekanligi aniqlandi. Shuningdek, oltingugurt dioksidi (SO_2) darajasi sanoat korxonalari yaqinida yuqori bo‘lishi kuzatildi.

Mayda dispers zarrachalar — PM2.5 va PM10 bo‘yicha olingan natijalar alohida e’tiborga loyiqdir. PM2.5 ko‘rsatkichlari ayrim hududlarda sog‘liq uchun xavfli chegaralardan oshib ketgani aniqlanib, bu inson salomatligi uchun jiddiy xavf tug‘dirishini ko‘rsatadi. PM10 darajasi esa qurilish ishlari olib borilayotgan hududlarda yuqori bo‘lib, bu chang zarrachalarining asosiy manbai sifatida baholandi. Ushbu natijalar dronlar yordamida olingan ma’lumotlarning ekologik monitoringda muhim ahamiyatga ega ekanligini tasdiqlaydi [8,9].

Tizimning texnik samaradorligi ham yuqori darajada ekanligi aniqlandi. Dronning harakatchanligi va turli balandliklarda parvoz qila olish imkoniyati tufayli uch o‘lchovli (3D) monitoring amalga oshirildi. Bu esa an’anaviy statsionar stansiyalarga nisbatan ancha kengroq va chuqurroq ma’lumot olish imkonini berdi. GPS texnologiyasi yordamida olingan ma’lumotlar aniq geografik koordinatalarga bog‘landi, bu esa ifloslanish manbalarini aniqlash va xaritalash jarayonini sezilarli darajada osonlashtirdi.

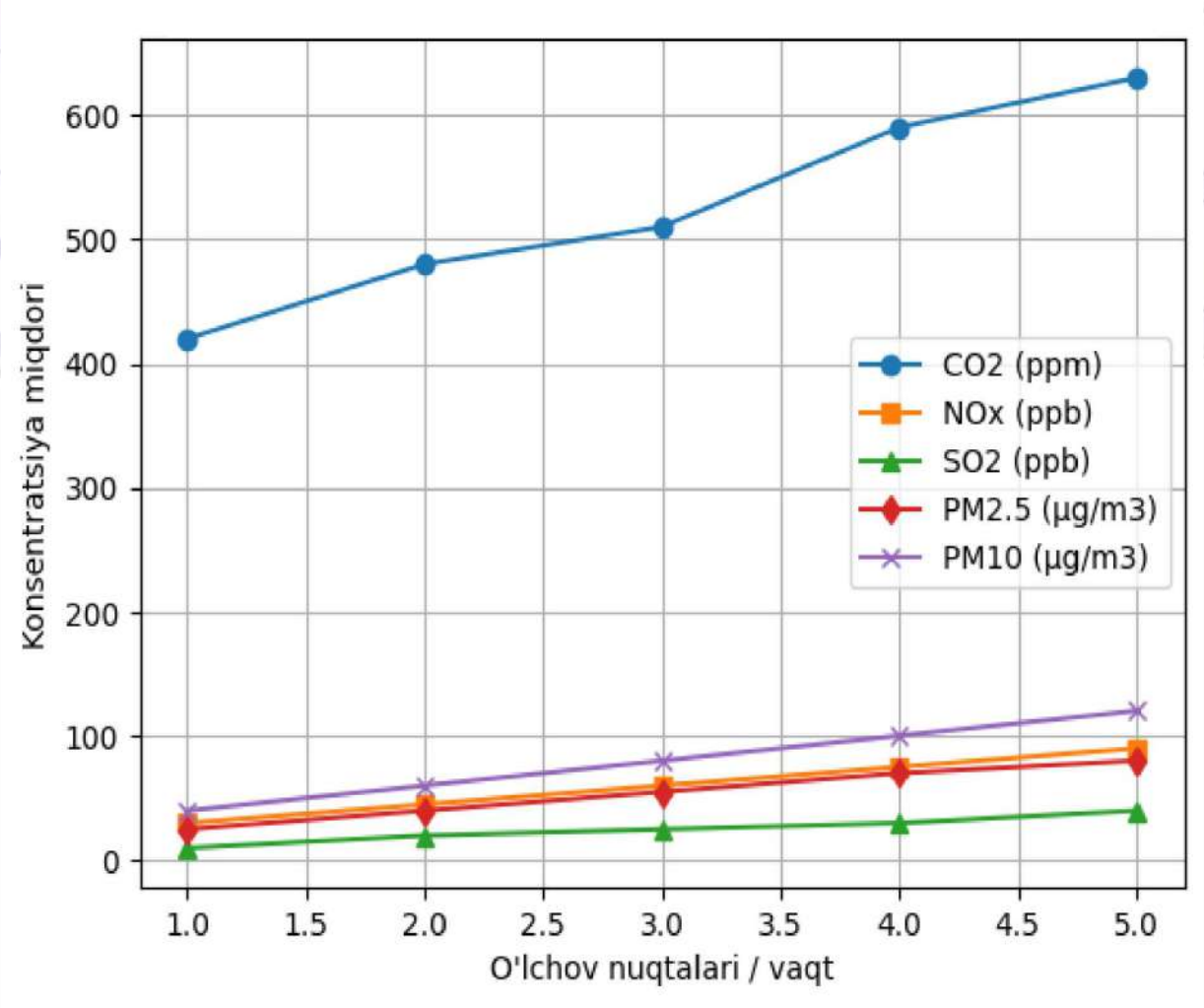
Muhokama jarayonida aniqlanishicha, dron asosidagi monitoring tizimi bir qator ustunliklarga ega. Avvalo, tizim mobil va moslashuvchan bo‘lib, qisqa vaqt ichida turli hududlarda monitoring olib borish imkonini beradi. Ikkinchidan, inson omilining kamayishi natijasida xavfli hududlarda ham xavfsiz o‘lchovlar amalga oshiriladi. Uchinchidan, real vaqt rejimida ma’lumot uzatish imkoniyati tezkor qaror qabul qilishni ta’minlaydi.

Shu bilan birga, ayrim cheklovlar ham mavjud. Jumladan, dronlarning parvoz davomiyligi batareya quvvatiga bog‘liq bo‘lib, uzoq muddatli monitoring uchun qo‘shimcha energiya yechimlari talab etiladi. Ob-havo sharoitlari, xususan, kuchli shamol va yog‘ingarchilik tizim samaradorligiga salbiy ta’sir ko‘rsatishi mumkin. Bundan tashqari, yuqori aniqlikdagi sensorlarning narxi tizimni keng joriy etishda iqtisodiy to‘siq bo‘lishi mumkin.

Umuman olganda, tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, dronlar yordamida havo ifloslanishini avtonom monitoring qilish tizimi ekologik nazoratni yangi bosqichga olib chiqadi. Ushbu texnologiya yordamida real vaqt rejimida aniq, ishonchli va keng qamrovli ma’lumotlar olish mumkin bo‘lib, bu esa ekologik

ISSN 3030-3907

muammolarni tezkor aniqlash va samarali boshqarish imkonini beradi. Kelgusida ushbu tizimni sun’iy intellekt va katta ma’lumotlar (Big Data) texnologiyalari bilan integratsiya qilish orqali uning samaradorligini yanada oshirish mumkin [10].



1-rasm. Dronlar yordamida atmosfera havosidagi ifloslantiruvchi moddalarning vaqt bo‘yicha dinamik o‘zgarishi.

Mazkur diagramma dronlar yordamida o‘lchangan atmosfera havosidagi asosiy ifloslantiruvchi moddalarning vaqt (yoki o‘lchov nuqtalari) bo‘yicha o‘zgarish dinamikasini aks ettiradi. Grafikdan ko‘rinib turibdiki, barcha ko‘rsatkichlar bo‘yicha umumiy o‘sish tendensiyasi kuzatiladi, bu esa monitoring olib borilgan hududlarda ifloslanish darajasining ortib borayotganini anglatadi.

Xususan, karbonat angidrid (CO_2) konsentratsiyasi eng yuqori qiymatlarni ko‘rsatib, 420 ppm dan 630 ppm gacha oshgani kuzatiladi. Bu ko‘rsatkich sanoat faoliyati va yonilg‘i yoqish jarayonlari bilan bevosita bog‘liq bo‘lib, atmosferadagi issiqxona gazlari miqdorining ortayotganini bildiradi. NOx (azot oksidlari) darajasi ham izchil o‘sib borib, transport vositalari harakati intensivligi bilan bog‘liq holda 30 ppb dan 90 ppb gacha yetgani aniqlanadi.

ISSN 3030-3907

SO_2 (oltingugurt dioksidi) ko‘rsatkichlari nisbatan pastroq bo‘lsa-da, ularning ham o‘sish tendensiyasi mavjud bo‘lib, bu sanoat chiqindilarining mavjudligini tasdiqlaydi. Mayda dispers zarrachalar — PM2.5 va PM10 esa inson salomatligi uchun eng xavfli komponentlar sifatida ajralib turadi. PM2.5 darajasi 25 $\mu g/m^3$ dan 80 $\mu g/m^3$ gacha oshgani, PM10 esa 40 $\mu g/m^3$ dan 120 $\mu g/m^3$ gacha yetgani qayd etilgan. Bu esa ayniqsa nafas olish tizimi kasalliklari xavfining ortishini anglatadi.

Diagrammadagi barcha ko‘rsatkichlarning parallel ravishda o‘sib borishi ifloslanish manbalari kompleks xarakterga ega ekanligini ko‘rsatadi, ya’ni sanoat, transport va qurilish omillari birgalikda ta’sir ko‘rsatmoqda. Shu bilan birga, dronlar yordamida olingan ma’lumotlarning uzluksiz va real vaqtga yaqin tarzda yig‘ilishi ushbu o‘zgarishlarni aniq kuzatish imkonini bergan.

Umuman olganda, diagramma natijalari dron asosidagi monitoring tizimining samaradorligini tasdiqlaydi va ekologik vaziyatni tezkor baholash, ifloslanish manbalarini aniqlash hamda zarur choralarni ishlab chiqishda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega ekanligini ko‘rsatadi.

XULOSA.

Mazkur tadqiqotda dronlar yordamida havo ifloslanishini avtonom monitoring qilish tizimining nazariy va amaliy jihatlari kompleks ravishda o‘rganildi. O‘tkazilgan tahlillar shuni ko‘rsatdiki, uchuvchisiz uchish apparatlari asosida tashkil etilgan monitoring tizimi atmosfera havosining sifatini aniqlashda yuqori aniqlik, tezkorlik va moslashuvchanlikni ta’minlaydi. Xususan, CO_2, NOx, SO_2 hamda PM2.5 va PM10 kabi asosiy ifloslantiruvchi moddalarni real vaqt rejimida aniqlash imkoniyati ushbu texnologiyaning muhim afzalliklaridan biri ekanligi tasdiqlandi.

Tadqiqot natijalari dronlar yordamida olingan ma’lumotlar ekologik monitoringning samaradorligini sezilarli darajada oshirishini ko‘rsatdi. An’anaviy statsionar kuzatuv tizimlariga nisbatan ushbu yondashuv keng hududlarni qamrab olish, qiyin yetib boriladigan joylarda ham monitoring olib borish hamda uch o‘lchovli fazoda (balandlik bo‘yicha) ma’lumotlarni yig‘ish imkonini beradi. Bu esa ifloslanish manbalarini aniqlash va ularning tarqalish dinamikasini chuqur tahlil qilishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Shu bilan birga, tadqiqot davomida tizimning ayrim cheklovlari ham aniqlandi. Jumladan, dronlarning parvoz davomiyligi batareya quvvatiga bog‘liq bo‘lib, uzoq muddatli monitoring uchun qo‘shimcha energiya manbalarini joriy etish zarur. Ob-havo sharoitlarining o‘zgaruvchanligi ham tizimning barqaror ishlashiga ta’sir ko‘rsatishi mumkin. Bundan tashqari, yuqori aniqlikdagi sensorlar va texnologik jihozlarning nisbatan yuqori narxi tizimni keng miqyosda joriy etishda muayyan iqtisodiy cheklovlarni yuzaga keltiradi.

ISSN 3030-3907

Kelgusida ushbu tizimni yanada takomillashtirish maqsadida sun'iy intellekt algoritmlari, katta ma'lumotlar (Big Data) tahlili va bulutli texnologiyalar bilan integratsiya qilish maqsadga muvofiqdir. Bu esa real vaqt rejimida prognozlash, ifloslanish darajasini oldindan baholash va avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlarini yaratish imkonini beradi. Shuningdek, energiya tejamkor dron platformalarini ishlab chiqish va sensor texnologiyalarini optimallashtirish orqali tizim samaradorligini yanada oshirish mumkin.

Umuman olganda, dronlar yordamida havo ifloslanishini avtonom monitoring qilish tizimi zamonaviy ekologik muammolarni hal etishda innovatsion va istiqbolli yechim sifatida namoyon bo'ladi. Ushbu yondashuv nafaqat ekologik nazoratni kuchaytiradi, balki barqaror rivojlanish va "aqlli shaharlar" konsepsiyasini amalga oshirishda ham muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

ADABIYOTLAR

1. Kumar, P., Rivas, I., Singh, A. P., Ganesh, V. J., & Pritchard, J. P. (2016). The rise of low-cost sensing for managing air pollution in cities. *Environment International, 75*, 199–205. https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.11.019

2. Villa, T. F., Gonzalez, F., Miljievic, B., Ristovski, Z. D., & Morawska, L. (2016). An overview of small unmanned aerial vehicles for air quality measurements: Present applications and future prospectives. *Sensors, 16*(7), 1072. https://doi.org/10.3390/s16071072

3. Burgués, J., Marco, S., & García, A. (2018). Environmental chemical sensing using small drones: A review. *Science of the Total Environment, 621*, 946–958. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.312

4. Shahbazi, M., Théau, J., & Ménard, P. (2014). Recent applications of unmanned aerial imagery in natural resource management. *GIScience & Remote Sensing, 51*(4), 339–365. https://doi.org/10.1080/15481603.2014.926650

5. Alvear, O., Zema, N. R., Natalizio, E., & Calafate, C. T. (2017). Using UAV-based systems to monitor air pollution in areas with poor accessibility. *Journal of Advanced Transportation, 2017*, 8204353. https://doi.org/10.1155/2017/8204353

6. Candiago, S., Remondino, F., De Giglio, M., Dubbini, M., & Gattelli, M. (2015). Evaluating multispectral images and vegetation indices for precision farming applications from UAV images. *Remote Sensing, 7*(4), 4026–4047. https://doi.org/10.3390/rs70404026

7. Rai, A. C., Kumar, P., Pilla, F., Skouloudis, A. N., Di Sabatino, S., Ratti, C., Yasar, A., & Rickerby, D. (2017). End-user perspective of low-cost sensors for outdoor air pollution monitoring. *Science of the Total Environment, 607–608*, 691–705. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.266

ISSN 3030-3907

8. Tokekar, P., Hook, J. V., Mulla, D., & Isler, V. (2016). Sensor planning for a symbiotic UAV and UGV system for precision agriculture. *IEEE Transactions on Robotics, 32*(6), 1498–1511. https://doi.org/10.1109/TRO.2016.2603528

9. Li, X., Zhang, L., & Wang, X. (2019). UAV-based air quality monitoring system: A review. *Environmental Monitoring and Assessment, 191*, 735. https://doi.org/10.1007/s10661-019-7842-3

10. Motlagh, N. H., Taleb, T., & Arouk, O. (2016). Low-altitude unmanned aerial vehicles-based Internet of Things services: Comprehensive survey and future perspectives. *IEEE Internet of Things Journal, 3*(6), 899–922. https://doi.org/10.1109/JIOT.2016.2612119

ISSN 3030-3907