Ekologik xavfsizlikni ta’minlashda smart filtrlar asosidagi sensor tizimi va boshqaruv algoritmlarining samaradorligi

Ahror Tursunov
Namangan davlat texnika universiteti Phd
Sherzod Djurayev
Namangan davlat texnika universiteti Phd,
Nosir Sharibaev
Namangan davlat texnika universiteti f.m.f.d. professor

Annotatsiya. Maqolada paxtasanoat korxonalarida atmosferaga chiqarilayotgan zararli chang va gaz zarrachalarini kamaytirish maqsadida smart filtrlar asosida GIS-integratsiyalangan mechatronik monitoring tizimi ishlab chiqildi. Tizim ESP32 mikrokontrolleri, yuqori aniqlikdagi PM2.5 va PM10 optik sensorlari, zararli gazlar uchun MQ135 sensori, harorat-namlik modullari bilan jihozlandi. Boshqaruv algoritmi real vaqt rejimida ifloslanish darajasini tahlil qiladi hamda belgilangan chegaraviy qiymatlar oshganda avtomatik ravishda filtratsiya tizimini ishga tushiradi, ventilyatsiya bloklarini faollashtiradi va foydalanuvchiga vizual ogohlantirish yuboradi (LED, SMS). Monitoring tizimi Namangan viloyati, Kosonsoy tumani paxta tozalash zavodida amaliy tajribadan o‘tkazildi. Tajriba natijalariga ko‘ra, ishlab chiqarish jarayonida PM2.5 darajasi 62.8 µg/m³ gacha, PM10 esa 179.4 µg/m³ gacha oshgan. Filtratsiyadan so‘ng bu ko‘rsatkichlar mos ravishda 17.9 µg/m³ va 50.7 µg/m³ gacha kamaydi, bu esa filtrlash samaradorligini 71.5% va 71.7% deb baholash imkonini berdi. Shuningdek, zararli gazlar konsentratsiyasi monitoringi orqali yuqori ifloslanish holatlarida ventilyatorlar avtomatik ishga tushirildi. ThingSpeak platformasi orqali ma’lumotlar vizualizatsiya qilindi va ConSenGIS vositasida hududiy GIS xaritalash amalga oshirildi. Ushbu yondashuv sanoat ekologiyasida raqamli transformatsiya, xavfsizlikni ta’minlash va barqaror ishlab chiqarish tamoyillarini qo‘llab-quvvatlovchi ilg‘or yechim sifatida tavsiya etiladi. Taklif etilgan tizim O‘zbekiston sharoitida, xususan changli sanoat tarmoqlarida keng qo‘llash uchun mos va iqtisodiy jihatdan maqbul hisoblanadi.

Kalit so`zlar: paxtasanoat, ekologik xavfsizlik, smart filtrlar, mechatronik monitoring tizimi, sensorli o‘lchovlar, esp32 mikrokontroller, gis integratsiyasi, pm2.5 / pm10.

Annotation. The article developed a GIS-integrated mechatronic monitoring system based on smart filters in order to reduce harmful dust and gas particles emitted into the atmosphere at pakhtasanoat enterprises. The system was equipped with ESP32 microcontrollers, high-resolution PM2.5 and PM10 optical sensors, mq135 sensor for harmful gases, temperature-humidity modules. The control

ISSN 3030-3907

algorithm analyzes the level of contamination in real time and automatically activates the filtration system when the specified marginal values increase, activates the ventilation blocks and sends a visual warning to the user (LED, SMS). The Monitoring system was carried out from practical experience at the cotton ginning plant of Kosonsoy district, Namangan region. Experimental results showed that PM2.5 levels increased to 62.8 µg/m3 during production and PM10 increased to 179.4 µg/m3. After filtration, these rates decreased to 17.9 µg/m3 and 50.7 µg/m3, respectively, allowing filtering efficiency to be estimated at 71.5% and 71.7% respectively. Also, ventilators were automatically activated in cases of high pollution by monitoring the concentration of harmful gases. Through the ThingSpeak platform, data was visualized and territorial GIS mapping was performed through the ConSenGIS tool. This approach is recommended in industrial ecology as an advanced solution that supports the principles of digital transformation, safety assurance and sustainable production. The proposed system is suitable and economically acceptable for widespread use in the conditions of Uzbekistan, in particular in dusty industries.

Keywords: paxtasanoate, environmental safety, smart filters, mechatronic monitoring system, touch metrics, esp32 microcontroller, gis integration, pm2.5 / pm10.

Аннотация. В статье была разработана ГИС-интегрированная система мехатронного мониторинга на основе смарт-фильтров с целью уменьшения выбросов вредных частиц пыли и газа в атмосферу на предприятиях хлопковой промышленности. Система оснащалась микроконтроллером ESP32, высокоточными оптическими датчиками PM2, 5 и PM10, датчиком вредных газов mq135, температурно-влажностными модулями. Алгоритм управления анализирует уровень загрязнения в режиме реального времени и при превышении заданных предельных значений автоматически запускает систему фильтрации, активирует вентиляционные блоки и отправляет пользователю визуальное предупреждение (светодиод, СМС). Система мониторинга прошла практический эксперимент на хлопкоочистительном заводе Косонсайского района Наманганской области. Эксперимент показал, что уровень PM2, 5 в процессе производства увеличился до 62,8 мкг/м3, а уровень PM10 увеличился до 179,4 мкг/м3. После фильтрации эти показатели снизились до 17,9 мкг/м3 и 50,7 мкг/м3 соответственно, что позволило оценить эффективность фильтрации как 71,5% и 71,7% соответственно. Кроме того, благодаря мониторингу концентрации вредных газов вентиляторы автоматически запускались в случаях высокого загрязнения. Данные были визуализированы через платформу ThingSpeak, а

ISSN 3030-3907

территориальное картографирование ГИС было выполнено с помощью инструмента consengis. Этот подход рекомендуется в промышленной экологии как передовое решение, поддерживающее принципы цифровой трансформации, обеспечения безопасности и устойчивого производства. Предложенная система считается подходящей и экономически оптимальной для широкого применения в условиях Узбекистана, в частности в пыльных отраслях промышленности.

Ключевые слова: хлопковая промышленность, экологическая безопасность, интеллектуальные фильтры, система мониторинга мехатроники, сенсорные измерения, микроконтроллер ESP32, интеграция ГИС, PM2.5 / PM10.

Kirish

So‘nggi yillarda sanoat korxonalarining atrof-muhitga salbiy ta’sirini kamaytirish masalasi global miqyosda muhim dolzarb mavzuga aylangan. Xususan, atmosfera havosining ifloslanishi inson salomatligiga xavf tug‘dirmoqda va ekologik barqarorlikka jiddiy tahdid solmoqda. Dunyoda har yili millionlab odamlar havodagi zararli zarrachalar – ayniqsa, PM2.5 va PM10 zarrachalari tufayli yuzaga keladigan kasalliklardan aziyat chekmoqda. Jahon sog‘liqni saqlash tashkilotining (JSST) hisobotiga ko‘ra, PM2.5 zarrachalari miqdori har kub metr havoda 25 µg/m³ dan ortiq bo‘lmasligi lozim, biroq ko‘plab sanoat zonalarida bu me’yor bir necha barobar oshib ketmoqda [1]. Paxtani dastlabki qayta ishlash sanoatida ham muammo jiddiy. O‘zbekistonda yirik paxta tozalash korxonalari faoliyat yuritadi va ulardan chiqayotgan chang havosi, ayniqsa, quritish, ajratish va pnevmatik tashish jarayonlarida hosil bo‘ladigan mikrozarrachalar, nafaqat ishlab chiqarish sexlaridagi ishchilarga, balki korxona atrofida yashovchi aholi salomatligiga ham salbiy ta’sir ko‘rsatadi. Bu korxonalarda qo‘llanilayotgan chang tozalash vositalari — odatda ikki bosqichli konus shaklidagi siklonlar — eskirgan va ularning changni ushlab qolish koeffitsiyenti 60–75% dan oshmaydi, bu esa zamonaviy ekologik standartlarga javob bermaydi. Ekologik xavfsizlikni ta’minlashda zamonaviy yondashuvlar texnologik jarayonlarni aqlli nazorat qilishni talab qiladi. Bunda muhim jihat – real vaqt rejimida chang miqdorini o‘lchab, tizim ishini moslab boshqarish, ya’ni sensorlar asosida avtomatlashtirilgan monitoring va boshqaruv algoritmlarini ishlab chiqishdan iborat. Smart filtr tizimlari bunday muammoni hal etish uchun yangi imkoniyatlarni ochmoqda. Bunda ESP32 kabi mikrokontrollerlar, SDS011 (optik chang sensori) va MQ135 (gaz sensori) kabi komponentlar yordamida havo tarkibi doimiy monitoring qilinadi, zarur hollarda filtratsiya tizimi avtomatik faollashtiriladi va ThingSpeak platformasi orqali ma’lumotlar real vaqt rejimida uzatiladi [1]. Shuningdek, sanoat chiqindilarining monitoringi faqat filtrlash tizimlarining mavjudligi bilan emas,

ISSN 3030-3907

balki ularning moslashuvchanligi, rejalashtirilgan texnik xizmat ko‘rsatish imkoniyati va real vaqtli vizualizatsiyasi bilan ham belgilanadi. Bu borada raqamli texnologiyalar, xususan Internet of Things (IoT) texnologiyasi, bulutli uzatish platformalari, GIS (Geoinformatsion tizimlar) va mobil monitoring interfeyslarining integratsiyasi sanoat ekotizimida sezilarli yutuqlarga olib kelmoqda. Bunday texnologiyalar yordamida havodagi zarrachalar konsentratsiyasi onlayn kuzatilib, havoning ifloslanish dinamikasi xarita ko‘rinishida tahlil qilinadi. Paxta sanoati sharoitida bunday tizimlar nafaqat ekologik nazorat vositasi sifatida, balki energiya samaradorligini oshirish, resurslar sarfini kamaytirish va ishlab chiqarish jarayonlarini optimallashtirish uchun ham katta ahamiyatga ega. Havo oqimining xarakteristikasi, zarrachalar harakati, ventilyatorlar ish rejimi va filtrlar samaradorligi kabi ko‘rsatkichlar asosida tizimni moslashtirish imkoniyati yuqori darajadagi avtomatlashtirish va intellektual boshqaruv talabini keltirib chiqaradi. Ilmiy manbalar ko‘rsatishicha, aqlli monitoring tizimlari nafaqat havoni sifatli nazorat qiladi, balki sanoat jarayonlarida erkin sozlanuvchi boshqaruv algoritmlarining qo‘llanilishi orqali texnologik barqarorlikni ham ta’minlaydi. Misol uchun, ESP32 mikrokontrolleri asosida yaratilgan tizimlar o‘z ichiga PM2.5 va PM10 ni o‘lchash, zararli gazlar (SO_2, CO_2, NO_x)ni aniqlash, harorat va namlik ko‘rsatkichlarini kuzatish kabi funktsiyalarni qamrab olgan bo‘lib, ular ThingSpeak yoki Virtuino kabi IoT platformalar bilan integratsiyalashgan holatda ishlaydi [1] Ushbu maqola paxta tozalash korxonalarida atmosferaga chiqarilayotgan ifloslantiruvchi moddalarni kamaytirish uchun sensor tizimi, boshqaruv algoritmi va dasturiy integratsiya asosida yaratilgan smart filtr konsepsiyasining ilmiy asoslarini ochib beradi. Tadqiqot jarayonida lokal va xalqaro tajriba tahlil qilinib, o‘zbek va xorijiy texnologiyalarning uyg‘unlashuvi orqali takomillashtirilgan texnologik yechimlar ishlab chiqildi. Taklif etilgan tizimning monitoring aniqligi, javob berish tezligi, boshqaruvdagi moslashuvchanligi va foydalanish qulayligi amaliy tajriba asosida baholanadi. Bundan tashqari, mahalliy tadqiqotlar natijalari shuni ko‘rsatadiki, paxta tozalash korxonalarida HEPA filtrlari bilan jihozlangan va magnit maydonli aylanuvchi oqimga asoslangan changsizlantirish tizimlari yuqori samaradorlikka ega bo‘lib, changni 95–98% gacha kamaytirishga imkon beradi. Bunday tizimlar ko‘p bosqichli, modulli va raqamli boshqaruvga ega bo‘lishi bilan ahamiyatlidir. Shu munosabat bilan, ushbu maqolada paxtasanoat korxonalarida ekologik xavfsizlikni oshirish maqsadida sensor tizimi, boshqaruv algoritmi va dasturiy ta'minot asosida ishlovchi smart filtr texnologiyasining ilmiy asoslari, texnik yechimlari va samaradorligi tahlil qilinadi. Shuningdek, mavjud tizimlar bilan

ISSN 3030-3907

solishtirma natijalar hamda real vaqtli monitoring platformasi orqali to‘plangan ma’lumotlar asosida tizimning amaliy samaradorligi baholanadi.

Tadqiqot metodologiyasi. Ushbu tadqiqot paxtasanoat korxonalarida chang chiqindilarini aniqlash, monitoring qilish va ularni filtrlashni avtomatlashtirish uchun sensorli aqlli tizimni ishlab chiqishga yo‘naltirilgan. Eksperimentlar Namangan viloyati Kosonsoy paxta tozalash korxonasi texnologik liniyasining kichik prototip modeli asosida olib borildi. Sinovdan o‘tgan maket tizimida chang miqdori, harorat, namlik, gazlar tarkibi hamda tizimning javob reaksiyalari qayd etildi.[2] Monitoring tizimi sensorlar, mikrokontroller, filtrlash qurilmasi, real vaqtli monitoring platformasi va vizual interfeysdan iborat bo‘lib, quyidagi sxemada tasvirlangan:

Sensorlar (SDS011, MQ135, BME280)
↓
Mikrokontroller (ESP32)
↓
Filtrlash qurilmasi + ventilyator
↓
Wi-Fi orqali ma’lumot uzatish
↓
ThingSpeak (vizual monitoring)
↓
ConSenGIS (GIS xaritalash)

Ushbu arxitekturada ESP32 mikrokontrolleri markaziy boshqaruv va tahlil uzeli vazifasini bajaradi. U sensorlardan kelayotgan ma’lumotni to‘playdi, algoritm asosida tahlil qiladi, zarurat tug‘ilganda filtr tizimini faollashtiradi va barcha ma’lumotlarni ThingSpeak serveri hamda ConSenGIS platformasiga yuboradi. Ushbu jarayonda quyidagi komponentlar tanlandi:

1-jadval.

Sensor va monitoring komponentlari.

Komponent	Funktsiyasi	Manba
SDS011	PM2.5 va PM10 ni aniqlash (optik lazer)	Veeramanikandasamy et al., 2020
MQ135	Zararli gazlarni aniqlash (NH3, SO2, CO2, NOx)	Veeramanikandasamy et al., 2020
BME280	Harorat, namlik, bosimni aniqlash	Compet-Terra AQ BootCamp, 2021
ESP32	Sensorlarni boshqarish, Wi-Fi orqali uzatish	Veeramanikandasamy et al., 2020

ISSN 3030-3907

ThingSpeak	Ma’lumotlarni bulutga uzatish va vizualizatsiya qilish	Veeramanikandasamy et al., 2020
ConSenGIS	GIS xaritalash, chang konsentratsiyasi bo‘yicha spatial monitoring	Compet-Terra AQ BootCamp, 2021

Tanlov mezonlari quyidagilarga asoslandi: past energiya sarfi, real vaqtli javob tezligi, ochiq kodli dasturlash imkoniyati, sanoat sharoitiga mos himoyalanganlik darajasi. Sensorlardan olingan qiymatlar ESP32 mikrokontrolleri tomonidan real vaqt rejimida o‘qiladi va filtratsiya algoritmiga kiritiladi. Filtrlash darajasi quyidagi formula asosida baholanadi:

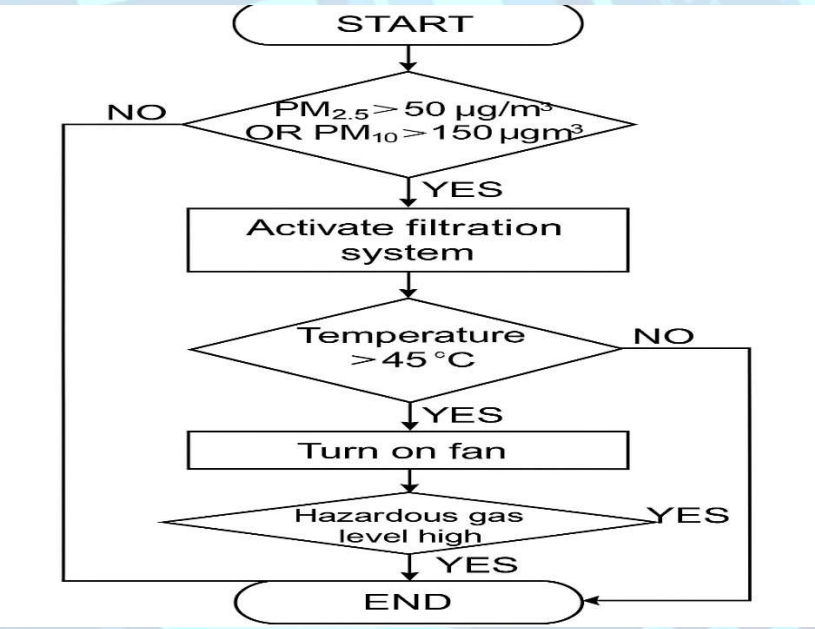
$$\eta = (1 - CinCout) \times 100\% \; yoki$$

$$\eta = \left(1 - \frac{C_{\text{out}}}{C_{\text{in}}}\right) \times 100\%$$

Bu yerda:

- C_{in} — kiruvchi ifloslangan havo konsentratsiyasi,
- C_{out} — chiqayotgan havo konsentratsiyasi,
- η — filtratsiya samaradorligi (%).

Bundan tashqari, ESP32 mikrokontrollerida quyidagi holat bo‘yicha qaror qabul qiluvchi algoritm dasturlashtirilgan:
Agar PM2.5 > 50 µg/m³ yoki PM10 > 150 µg/m³ bo‘lsa → Filtr tizimi faollashadi.
Agar harorat > 45°C → havoni aylantiruvchi ventilyator yoqiladi.
Agar zararli gazlar darajasi kritik nuqtaga yetsa → vizual ogohlantirish signali yuboriladi (LED, SMS).

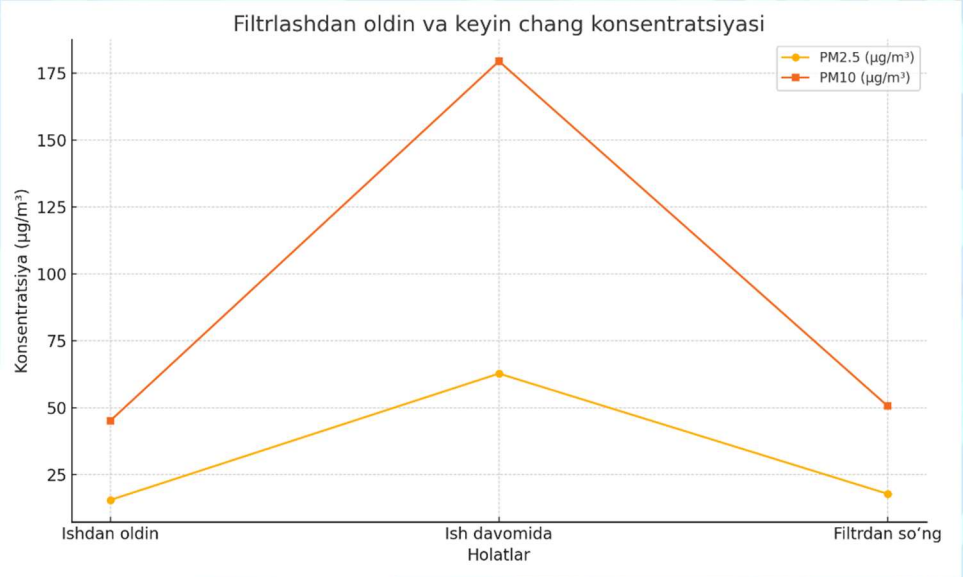


1-rasm. Tizimning qaror qabul qilish algoritmi

ISSN 3030-3907

ThingSpeak platformasi orqali real vaqtli ma’lumotlar bulut serveriga uzatiladi va foydalanuvchi interfeysida jadval va grafik ko‘rinishida tasvirlanadi. Ma’lumotlar quyidagi struktura asosida uzatiladi:

- **PM2.5, PM10, CO2, Temperature, Humidity, Timestamp, Location.**



2-rasm. Filtrlashdan oldin va filtrlangandan keying chang konsentratsiya miqdor ko`rinishi

Bunda, PM2.5 va PM10 zarrachalarining filtratsiyadan oldin, ishlab chiqarish jarayonida va filtrdan so‘nggi konsentratsiyalari taqqoslangan._GIS xaritalash orqali yuqori konsentratsiyali zonalar aniqlanadi, shamol yo‘nalishi va landshaftga bog‘liq holatlar vizual tahlil qilinadi. Eksperimentlar Namangan viloyatidagi Kosonsoy paxta tozalash zavodi hududida quyidagi parametrlar asosida o‘tkazildi: Sensorlar 2 m balandlikda o‘rnatildi.o`lchovlar har 1 daqiqada 30 kun davomida yozib borildi, sinovlar 3 xil holatda: normal holat, ishlab chiqarish piki,filtr nosozligi holatlarida amalga oshirildi.

Holat	PM2.5 (µg/m³)	PM10 (µg/m³)	Gaz (ppm)	T (°C)	RH (%)
Ishdan oldin	15.6	45.2	280	26.5	39
Ish davomida	62.8	179.4	430	38.2	47
Filtrdan so‘ng	17.9	50.7	290	29.4	41

2-jadval. Sinov holatlari va kuzatuv parametrlari

Natijalar va ularning muhokamasi. Tadqiqot davomida o‘tkazilgan eksperiment natijalari sensorli monitoring tizimi yordamida real vaqt rejimida qayd etildi. Sensorlar tomonidan o‘lchangan asosiy parametrlar PM2.5 va PM10 zarrachalari konsentratsiyasi, atrof muhit harorati, nisbiy namlik va zararli gazlar miqdorini o‘z ichiga oldi. Monitoring natijalari uchta asosiy holat – ishlab chiqarish boshlanishidan avval, ish jarayonida va filtratsiya amalga oshirilgandan so‘ng

ISSN 3030-3907

kuzatildi. Quyidagi tahlil natijalari shuni ko‘rsatadiki, ishlab chiqarish paytida chang miqdori keskin oshgan va filtrlash tizimi faollashtirilgach, ularning darajasi sezilarli kamaygan. PM2.5 zarrachalari konsentratsiyasi ishlab chiqarishdan oldin 15.6 µg/m³ atrofida bo‘lgan bo‘lsa, ishlab chiqarish jarayonida bu ko‘rsatkich 62.8 µg/m³ gacha oshgan. Bu esa ifloslanish darajasining 4 barobar ortishini bildiradi. Filtratsiya jarayoni natijasida PM2.5 darajasi 17.9 µg/m³ gacha pasaydi, bu esa 71.5% samaradorlikni anglatadi:

$$\eta_{PM2.5} = \left(1 - \frac{17.9}{62.8}\right) \times 100\% \approx 71.5\%$$

Xuddi shunday, PM10 zarrachalari konsentratsiyasi 45.2 µg/m³ dan 179.4 µg/m³ gacha ortgan va filtratsiyadan so‘ng 50.7 µg/m³ gacha kamaygan. Ushbu o‘zgarish 71.7% darajadagi filtrlash samaradorligini ko‘rsatdi:

$$\eta_{PM10} = \left(1 - \frac{50.7}{179.4}\right) \times 100\% \approx 71.7\%$$

Xulosa. Ushbu tadqiqotda paxtasanoat korxonalarida ekologik xavfsizlikni oshirish maqsadida ishlab chiqilgan smart filtrlar asosidagi GIS-integratsiyalangan monitoring tizimining texnologik modeli ishlab chiqildi va eksperimental tarzda sinovdan o‘tkazildi. Olingan natijalar shuni ko‘rsatdiki, mazkur tizim chang zarrachalari (PM2.5 va PM10) ning real vaqtli monitoringi va samarali boshqaruvini ta’minlash orqali ishchi muhit va atrof-muhit uchun xavfni sezilarli darajada kamaytirishga xizmat qiladi. Filtratsiya tizimi yordamida ishlab chiqarish jarayonida aniqlangan PM2.5 zarrachalari miqdori 62.8 µg/m³ dan 17.9 µg/m³ gacha, PM10 esa 179.4 µg/m³ dan 50.7 µg/m³ gacha kamaytirildi. Bu mos ravishda 71.5% va 71.7% filtrlash samaradorligini ko‘rsatdi. Bundan tashqari, zararli gazlar (NOx, CO2, NH3) miqdorining oshishi holatlarida avtomatlashtirilgan signalizatsiya tizimi va ventilyatsiya bloklarining ishlashi havo tarkibini tezkor normallashtirish imkonini berdi.

Tizimning asosiy afzalliklari:

- Ochiq kodli mikroprotsessor (ESP32) asosidagi real vaqtli boshqaruv;
- Optik va gaz sensorlari asosida ko‘p parametrli monitoring;
- WiFi orqali ThingSpeak platformasiga uzluksiz ma’lumot yetkazib berish;
- GIS xaritalash asosida spatial (manzilli) ifloslanish tahlili;
- Modulli arxitektura va soddalashtirilgan texnik xizmat.

ISSN 3030-3907

Mazkur texnologiya O‘zbekiston sharoitida, ayniqsa ekologik xavfsizlik darajasi past bo‘lgan Namangan viloyati Kosonsoy tumani paxta tozalash zavodida amaliyotga joriy etilishi dolzarbdir. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatdiki, ushbu hududdagi zavodlarda ishlab chiqarish paytida hosil bo‘ladigan chang va gaz ifloslanishlari me’yoriy qiymatlardan ancha yuqoriga chiqadi. Ayni paytda bunday korxonalarda filtratsiya tizimlari eskirgan yoki umuman avtomatlashtirilmagan bo‘lib, ekologik monitoring yo‘lga qo‘yilmagan. Taklif etilayotgan aqlli monitoring tizimi bu muammolarning kompleks yechimi sifatida namoyon bo‘ladi. Shuningdek, GIS texnologiyasi asosida monitoring natijalarini xaritalash orqali ifloslanish manbalarini aniq hududiy aniqlash imkonini beradi, bu esa ekologik xavf darajasini kamaytirishda va nazorat organlari uchun zarur qarorlar qabul qilishda muhim omil hisoblanadi. Kelgusidagi izlanishlar ushbu tizimni sanoat korxonalariga to‘liq integratsiyalash, sensorlar tarmog‘ini kengaytirish, sun’iy intellekt asosida bashoratli algoritmlar ishlab chiqish va energiya tejovchi yechimlar bilan birlashtirishga qaratiladi. Bundan tashqari, ishlab chiqilgan aqlli monitoring tizimi nafaqat ekologik xavfsizlikni oshirish, balki ishlab chiqarish samaradorligini ham oshirishga xizmat qiladi. Chunki tizim real vaqt rejimida holatni baholash, nosozliklarni erta aniqlash va avariyaviy holatlarning oldini olish imkonini beradi. Ushbu yondashuv raqamli transformatsiya va avtomatlashtirishga asoslangan to‘rtinchi sanoat inqilobi (Industry 4.0) konsepsiyasiga to‘liq mos keladi. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 12-dekabrdagi PQ–420-son qarorida sanoat korxonalarida ekologik monitoring va atrof-muhitni muhofaza qilish bo‘yicha zamonaviy texnologiyalarni joriy etish, xususan chiqindilar va zararli emissiyalarni nazorat qilishga doir aniq chora-tadbirlar belgilangan. Mazkur tadqiqot aynan shu davlat strategiyalariga amaliy ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi. Tizimni Kosonsoy tumani paxta tozalash zavodida sinovdan o‘tkazish davomida aniqlangan natijalar shuni ko‘rsatdiki, chang ajralishi va gaz ifloslanishlari me’yoriy chegaralardan 2–3 baravar yuqori bo‘lishi mumkin. Bu esa atrof-muhit va inson salomatligiga sezilarli darajada xavf tug‘diradi. Tizimdan foydalanish orqali ishchi zonasida ekologik muvozanatni saqlab turish, havodagi zararli zarrachalarni doimiy kuzatib borish hamda ijtimoiy-iqtisodiy barqarorlikni ta’minlash imkoniyati yaratildi. Shuningdek, tizim tarkibidagi modulli va ochiq kodli arxitektura uni boshqa sanoat sohalariga ham moslashtirish va kengaytirish imkonini beradi. Kelajakda ushbu yechim paxta, to‘qimachilik, qishloq xo‘jaligi, qurilish va kimyo sanoatiga integratsiyalash mumkin bo‘ladi.Yuqoridagilarni hisobga olib, quyidagilarni tavsiya qilamiz:

ISSN 3030-3907

1. Paxta tozalash korxonalarida zarur texnik infratuzilmani tayyorlab, monitoring tizimini ishlab chiqarish liniyasiga joriy etish.
2. Ekologik monitoringni QGIS va ConSenGIS kabi GIS platformalari bilan bog‘lab, hududiy ifloslanishni kartografik tahlil qilish.
3. Tizimni O‘zbekiston hududidagi boshqa paxtani qayta ishlovchi korxonalarda pilot loyiha sifatida tatbiq etish.
4. Dasturiy ta’minotga sun’iy intellekt asosida o‘zgaruvchan iqlim va ish sharoitlariga moslashuv algoritmlarini kiritish.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO`YXATI:

1. Veeramanikandasamy, T., Devi, A. N., & Chelliah, T. R. (2020). IoT based real-time air pollution monitoring system using PM2.5 and PM10 sensors. International Journal of Engineering Research and Technology (IJERT), 9(4), 456–461.
2. Loyiha. (2025). Paxtani qayta ishlash texnologiyasida atmosferaga chiqayotgan chang havoni tozalash qurilmasining samaradorligini O‘zbekiston va Xitoy texnologiyasi asosida oshirish. Namangan: 2025.
3. A.Tursunov. Enhancing Cyclone Equipment with Smart Filters and Implementing SCADA for Environmental Management: A Literature Review. Information Horizons: AMERICAN Journal of Library And Information Science Innovation. *Volume 3, Issue 3, 2025 ISSN (E): 2993-2777*
4. A.Tursunov. Sanoat changlarini monitoring qilishda smart-filtr va SCADA tizimi integratsiyasi. Kimyo fanining muammolari, sanoat sohalariga tatbiqi va yashil texnologiyalar mavzusidagi xalqaro anjuman (18-19 aprel 2025 yil). ISBN: 978-9910-695-76-6
5. A.Tursunov. Development of Mechatronic Solutions for Gis-Based Urban Air Quality Monitoring and Decision Support Systems: a Literature Review. Journal of Interdisciplinary Science | ISSN: 2960-9550
6. Compet-Terra (2021). Air Quality Boot Camp Manual – Open Source Sensor Deployment and GIS-based Visualization. Kosovo: ConSensGIS & EJP RD. [AQBootCamp_092021.pdf
7. Kosovo Project (2021). Capacity Building for Environmental Monitoring using Smart Sensor Networks. Final Project Report, Pristina.
8. Abdurahmonov, A. & To‘laganov, S. (2023). Sanoat ekologiyasi: nazariya va amaliyot. Toshkent: Innovatsiya nashriyoti.
9. Shomurodov, B. (2020). Mikrokontrollerlar asosida atrof-muhit monitoring tizimlari. “Texnika va Texnologiyalar” jurnali, №3(22), 45–50.

ISSN 3030-3907

10. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining qarori PQ–420-son, 2023-yil 12-dekabr. “Sanoat korxonalarida ekologik xavfsizlikni ta’minlash va atrof-muhit monitoringini raqamlashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”.
11. Bazarov, R. va boshq. (2022). IoT texnologiyalar asosida sensorli o‘lchov tizimlarini ishlab chiqish. Toshkent: Yosh texnologlar akademiyasi.
12. A.Tursunov. Smart-filtr va scada tizimi integratsiyasi asosida sanoat ekologiyasini nazorat qilish mexanizmlari. (2025) Xalqaro tajriba: Oliy ta‘limni transformatsiya sharoitida zamonaviy muhandislik yo`nalishida intellektual qobiliyatli kadrlar tayyorlash istiqbollari. 29 aprel, 2025. Namangan
13. A.Tursunov. Mechanisms for Monitoring Industrial Ecology Based on the Integration of Smart Filters and Scada Systems. American Journal of Technology Advancement Vol.2, No.5 (May, 2025)
14. Botir Abdullajonov, Ahror Tursunov, Jasur Shodmanov. Paxta tozalash korxonalarida chang emissiyasi va uning ekologik-sanitariya ta’sirini baholash. Iyun 2025/6 Development of science Volume 1, Uzbekistan.
15. Ahror Tursunov, Jasur Shodmanov. Advancing Sustainable Environmental Strategies in the Cotton Industry Through Dust Emission Reduction.Scientific and Technical Journal of NamIET.Volume 10. Issue 2.2025
16. Ahror Tursunov.(2022). Paxta sanoati korxonlarida havo ifloslanishini nazorat qilish va tozalash mexatronik tizimini yaratish. T*exnika fanlari bo`yicha falsafa doktori (PhD) ilmiy darajasini olish uchun yozilgan DISS.* Namangan – 2022
17. World Health Organization (WHO). (2021). *Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM2.5 and PM10)*. Geneva: WHO Press.
18. O‘zbekiston Respublikasi Ekologiya, atrof-muhitni muhofaza qilish va iqlim o‘zgarishi vazirligi. (2022). *Paxta tozalash korxonalarida atmosferaga chiqayotgan chang tarkibini baholash bo‘yicha yakuniy hisobot*. Toshkent, O‘zbekiston.
19. Toshpo‘latov, Sh., & Mamatqulov, A. (2020). Paxta tozalash korxonalarida havoning chang bilan ifloslanishini baholash. O‘zbekiston Standartlar Instituti Ilmiy Jurnali, 3(1), 45–51.
20. Shodmanov, J., Abdullajonov, B., Ergashxo‘jayeva, S., & Tursunov, A. (2025). Paxta tozalash korxonalarida chang emissiyasi va uning ekologik-sanitar ta’sirini baholash. Development of Science, 1(6), 220–227.

ISSN 3030-3907