ISNN 3030-3907

2026
MAY
ISSUE - 5
VOLUME - 9

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

MAY 2026
Issue - 5, VOLUME – 9

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

IOT SENSORI YORDAMIDA YUK HOLATINI AVTOMATIK MONITORING QILISH TIZIMI TAHLILI

Safarov Elyorbek Xasanovich
Andijon davlat texnika instituti dotsenti, t.f.f.d.
0000-0003-2985-7932
E-mail: elyorbeksafarov7@gmail.com
Tel: +998937819264
Sharobiddinov Abdulaziz Tohirjon o‘g‘li,
Andijon davlat texnika instituti magistranti
0009-0003-8925-2553
E-mail: a.sharobiddinov17@gmail.com

Annotatsiya. Maqolada IoT sensorlari va raqamli monitoring texnologiyalari asosida yuk holatini real vaqt rejimida nazorat qilish masalasi yoritilgan. Taklif etilayotgan tizim arxitekturasi yukning og‘irligi, siljishi va vibratsiya holatini o‘lchovchi sensorlar yordamida ma’lumotlarni yig‘ish, ularni oldindan qayta ishlash, filtrlash va tahlil qilish hamda avtomatlashtirilgan baholash va ogohlantirish modullarini o‘z ichiga oladi.IoT asosidagi monitoring tizimining asosiy afzalliklari sifatida yuk holatini uzluksiz va aniq nazorat qilish, nosozlik va xavfli holatlarni erta aniqlash, inson omiliga bog‘liqlikni kamaytirish hamda texnologik jarayonlarni raqamlashtirish va tahlil qilish imkoniyatlarining kengayishi ko‘rib chiqiladi. Shu bilan birga, sensorlarning kalibrlanishiga bo‘lgan talablar, simsiz aloqa barqarorligi, real vaqt rejimida katta hajmdagi ma’lumotlarni qayta ishlash zarurati hamda axborot xavfsizligi bilan bog‘liq cheklovlar tahlil qilinadi.Tadqiqot yakunida IoT sensorlari asosida ishlab chiqilgan yuk holatini monitoring qilish tizimlari avtomatlashtirilgan boshqaruv va nazorat tizimlarida ishonchlilikni oshirish, xavfsizlik darajasini yaxshilash hamda sanoat jarayonlarining samaradorligini ta’minlashda muhim ahamiyatga ega ekani asoslab beriladi.

Kalit so‘zlar. IoT sensorlari; yuk holatini monitoring qilish; real vaqt nazorati; og‘irlik va vibratsiya sensorlari; avtomatlashtirilgan nazorat tizimi; simsiz ma’lumot uzatish; sensor ma’lumotlarini tahlil qilish; texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish; sanoat axborot tizimi; Industry 4.0.

Аннотация. В статье рассматривается вопрос мониторинга состояния груза в реальном времени на основе датчиков IoT и цифровых технологий мониторинга. Предложенная архитектура системы включает сбор данных с использованием датчиков, измеряющих вес, перемещение и вибрацию груза, их предварительную обработку, фильтрацию и анализ, а также модули автоматизированной оценки и предупреждения. К основным преимуществам системы мониторинга на основе IoT относятся

непрерывный и точный мониторинг состояния груза, раннее обнаружение неисправностей и опасных ситуаций, снижение зависимости от человеческого фактора и расширение возможностей цифровизации и анализа технологических процессов. Одновременно анализируются требования к калибровке датчиков, стабильности беспроводной связи, необходимость обработки больших объемов данных в реальном времени и ограничения, связанные с информационной безопасностью. В заключение исследования обосновывается, что системы мониторинга состояния груза, разработанные на основе датчиков IoT, имеют большое значение для повышения надежности автоматизированных систем управления и мониторинга, повышения уровня безопасности и обеспечения эффективности производственных процессов.

Ключевые слова: датчики IoT; мониторинг состояния груза; управление в реальном времени; датчики веса и вибрации; автоматизированная система управления; беспроводная передача данных; Анализ данных с датчиков; автоматизация технологических процессов; промышленная информационная система; Индустрия 4.0.

Abstract. This article examines real-time cargo condition monitoring using IoT sensors and digital monitoring technologies. The proposed system architecture includes data collection using sensors measuring cargo weight, movement, and vibration, pre-processing, filtering, and analysis, as well as automated assessment and warning modules. The key advantages of an IoT-based monitoring system include continuous and accurate cargo condition monitoring, early detection of malfunctions and hazardous situations, reduced dependence on the human factor, and expanded capabilities for digitalization and analysis of technological processes. The article also examines the requirements for sensor calibration, wireless communication stability, the need to process large volumes of data in real time, and the limitations associated with information security. The study concludes that cargo condition monitoring systems developed using IoT sensors are of great importance for increasing the reliability of automated control and monitoring systems, enhancing safety, and ensuring the efficiency of production processes.

Keywords: IoT sensors; cargo condition monitoring; real-time control; weight and vibration sensors; automated control system; wireless data transmission; sensor data analysis; process automation; Industrial information system; Industry 4.0.

KIRISH.

Zamonaviy sanoat va texnologik jarayonlarda yuklarning holatini ishonchli va uzluksiz nazorat qilish ishlab chiqarish xavfsizligi, texnik ishonchlilik va

ISSN 3030-3907

jarayon samaradorligini ta’minlashda muhim ahamiyatga ega. Yuklar ko‘plab texnologik tizimlarda asosiy fizik obyekt sifatida namoyon bo‘lib, ularning og‘irligi, siljishi, deformatsiyasi va vibratsiya holati jarayonning barqaror ishlashi bilan bevosita bog‘liqdir. Yuk holatidagi kichik og‘ishlar ham texnologik nosozliklar, avariya holatlari va iqtisodiy yo‘qotishlarga olib kelishi mumkin [1-3].

An’anaviy sanoat amaliyotida yuk holatini nazorat qilish ko‘pincha davriy o‘lchashlar, mexanik asboblar yoki inson operatori ishtirokida amalga oshiriladi. Bunday yondashuv real vaqt monitoringining yo‘qligi, inson omiliga bog‘liqlik, o‘lchash aniqligining cheklanganligi hamda sub’ektiv baholash xavfi bilan tavsiflanadi. Operatorning charchashi, e’tibor susayishi va tashqi muhit omillari yuk holatidagi o‘zgarishlarni o‘z vaqtida aniqlamaslikka olib kelishi mumkin. Bundan tashqari, texnologik jarayonlar murakkablashib borayotgan sharoitda yuk holatini qo‘lda va davriy nazorat qilish katta vaqt va mehnat resurslarini talab qiladi hamda avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlarining samarali ishlashini cheklaydi [4-6].

So‘nggi yillarda IoT (Internet of Things) texnologiyalarining rivojlanishi yuk holatini real vaqt rejimida monitoring qilish imkonini beruvchi yangi yondashuvlarni shakllantirmoqda. IoT sensorlari yordamida yukning asosiy fizik parametrlari uzluksiz o‘lchanib, simsiz aloqa orqali qayta ishlash va tahlil qilish tizimlariga uzatiladi. Bu esa yuk holatini avtomatlashtirilgan tarzda baholash, xavfli holatlarni erta aniqlash va texnologik jarayonlarning ishonchliligini oshirish imkonini yaratadi. Shu nuqtai nazardan, IoT sensorlari asosida yuk holatini monitoring qilish tizimlarini ishlab chiqish va tadqiq etish dolzarb ilmiy-amaliy vazifa hisoblanadi .

MATERIALLAR VA USULLAR.

So‘nggi yillarda IoT (Internet of Things) texnologiyalari, aqlli sensorlar va real vaqt rejimida ma’lumotlarni qayta ishlash algoritmlarining jadal rivojlanishi sanoat jarayonlarida yuk holatini monitoring qilish imkoniyatlarini sezilarli darajada kengaytirdi. Zamonaviy og‘irlik, vibratsiya, siljish va deformatsiya sensorlari yordamida yukning fizik holatini uzluksiz o‘lchash, olingan ma’lumotlarni simsiz tarmoqlar orqali uzatish va markazlashgan tizimlarda tahlil qilish mumkin bo‘ldi. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, IoT sensorlariga asoslangan monitoring tizimlari an’anaviy davriy o‘lchashlarga nisbatan yuk holatidagi o‘zgarishlarni aniqlash aniqligini 85–95 % gacha oshirishi hamda nosozlik va xavfli holatlarni erta aniqlash imkonini berishi mumkin [7-8].

Sanoat avtomatlashtirishida yuk holatini nazorat qilish bo‘yicha olib borilgan ilmiy ishlar asosan sensor tarmoqlari, real vaqt ma’lumotlarini filtrlash va tahlil qilish, shuningdek avtomatlashtirilgan qaror qabul qilish modellariga

ISSN 3030-3907

qaratilgan. Xususan, vibratsiya va og‘irlik sensorlari asosida yukning barqarorligi va mexanik holatini baholash, sensor ma’lumotlari asosida ogohlantirish signallarini shakllantirish hamda tizim ishonchliligini oshirish masalalari keng yoritilgan. Bunday yondashuvlar inson omiliga bog‘liqlikni kamaytirish, texnologik jarayonlarda uzilishlar va avariya holatlari ehtimolini pasaytirish hamda texnik xizmat ko‘rsatishni optimallashtirishga xizmat qilmoqda.

Industry 4.0 va Industry 5.0 konsepsiyalari doirasida IoT asosidagi monitoring tizimlari “aqlli ishlab chiqarish”ning muhim tarkibiy qismi sifatida qaralmoqda. Yuk holatini real vaqt rejimida nazorat qilish texnologik jarayonlarning raqamlashtirilishini jadallashtiradi, katta hajmdagi sensor ma’lumotlari asosida analitik tahlil va prognozlash imkonini yaratadi hamda avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlarining samaradorligini oshiradi. Shu nuqtai nazardan, IoT sensorlari yordamida yuk holatini monitoring qilishni avtomatlashtirilgan tizim asosida tashkil etish bugungi kunda dolzarb ilmiy-amaliy vazifa hisoblanadi.

Mazkur tadqiqotning maqsadi IoT sensorlariga asoslangan yuk holatini monitoring qilish tizimining ishlash tamoyillari, texnik va dasturiy arxitekturasi hamda uning samaradorlik ko‘rsatkichlarini ilmiy manbalar va tajriba natijalari asosida tahlil qilishdan iborat bo‘lib, ish IMRAD talablari asosida olib boriladi [9].

Tizimning ilmiy-tahliliy modeli

IoT–DSS integratsion modeli

$$R(t) = w_1 W(t) + w_2 V(t) + w_3 S(t)$$

Izoh:

- R(t) – vaqt bo‘yicha xavf darajasi
- W(t) – og‘irlik o‘zgarishi
- V(t) – vibratsiya signali
- S(t) – siljish/deformatsiya

Qaror qoidasi:

- $R(t) < 0.3 \rightarrow$ NORMAL
- $0.3 \leq R(t) < 0.7 \rightarrow$ OGohlantirish
- $R(t) \geq 0.7 \rightarrow$ XAVFLI

IoT sensorlari asosida yuk holatini monitoring qilish tizimida qaror qabul qilish jarayonini avtomatlashtirish uchun ko‘p parametrli baholash modeli qo‘llaniladi. Ushbu model yukning fizik holatini ifodalovchi asosiy ko‘rsatkichlar — og‘irlik, vibratsiya va siljish parametrlarini integratsiyalashgan holda tahlil qilishga asoslanadi. Xavf darajasi vaqt funksiyasi sifatida quyidagi chiziqli kombinatsiya orqali aniqlanadi:

$$R(t) = w_1 W(t) + w_2 V(t) + w_3 S(t)$$

ISSN 3030-3907

Bu yerda $R(t)$— yukning joriy holati bo‘yicha umumiy xavf darajasi, $W(t)$— og‘irlikning normadan og‘ishi, $V(t)$— vibratsiya signali intensivligi, $S(t)$— yukning siljish yoki deformatsiya ko‘rsatkichi hisoblanadi. w_1, w_2, w_3koeffitsiyentlar mos ravishda har bir parametrning tizimdagi ahamiyat darajasini ifodalaydi va ular odatda ekspert baholash, statistik tahlil yoki AHP (Analytic Hierarchy Process) metodlari asosida aniqlanadi. Ushbu koeffitsiyentlarning yig‘indisi birlikka teng bo‘lishi modelning normallashtirilganligini ta’minlaydi [10-13].

Mazkur model ko‘p mezonli qaror qabul qilish nazariyasiga asoslangan bo‘lib, sensor ma’lumotlarini alohida emas, balki kompleks tarzda baholash imkonini beradi. Og‘irlik parametrining oshishi mexanik yuklanishning ortishiga olib keladi va konstruksiya elementlarida kuchlanish hosil qiladi, vibratsiya esa tizimda dinamik nosozliklar yoki rezonans holatlari mavjudligini ko‘rsatadi. Siljish yoki deformatsiya esa yukning barqarorlik holatini ifodalaydi va ayniqsa transport jarayonlarida muhim ahamiyatga ega. Shu sababli ushbu uchta parametrning kombinatsiyasi yuk holatini aniq va ishonchli baholash imkonini beradi [14-16].

Model asosida hisoblangan xavf darajasi oldindan belgilangan chegaraviy qiymatlar bilan solishtiriladi va tizim holati uchta asosiy toifaga ajratiladi: normal, ogohlantiruvchi va xavfli. Agar $R(t) < 0.3$bo‘lsa, tizim barqaror holatda ishlamoqda deb hisoblanadi va qo‘shimcha choralar talab etilmaydi. $0.3 \leq R(t) < 0.7$oralig‘ida tizimda og‘ishlar mavjud bo‘lib, bu operatorga ogohlantirish berishni talab qiladi. Agar $R(t) \geq 0.7$bo‘lsa, yuk holati xavfli deb baholanadi va avtomatik himoya yoki to‘xtatish mexanizmlari ishga tushiriladi.

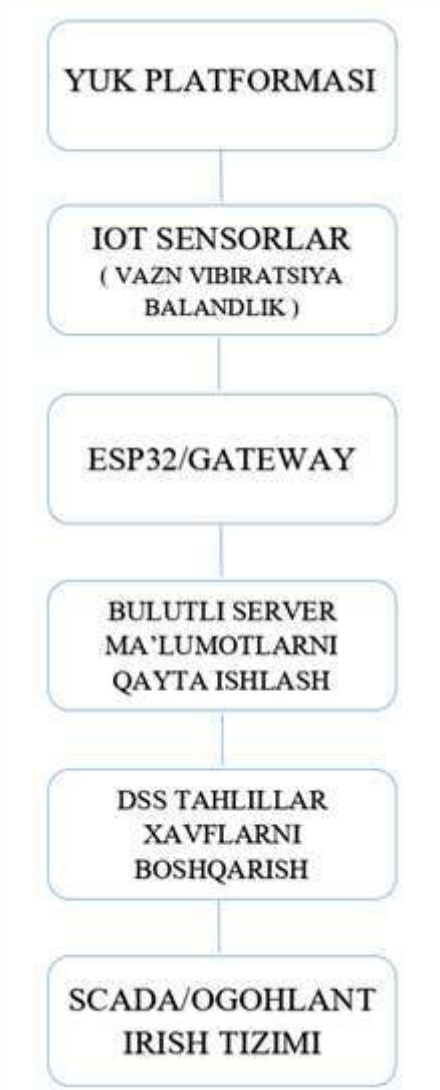
Taklif etilgan yondashuvning asosiy afzalligi shundaki, u turli sensorlardan olingan ma’lumotlarni birlashtirib, yagona integral ko‘rsatkich — xavf indeksini shakllantiradi. Bu esa an’anaviy bir parametrli monitoring tizimlariga nisbatan aniqlikni sezilarli darajada oshiradi, noto‘g‘ri ogohlantirishlar sonini kamaytiradi va real vaqt rejimida tezkor hamda asoslangan qaror qabul qilish imkonini beradi. Shu bilan birga, modelning moslashuvchanligi tufayli u turli ishlab chiqarish va transport sharoitlariga oson integratsiya qilinadi hamda kelgusida sun’iy intellekt va mashinaviy o‘rganish algoritmlari bilan boyitilishi mumkin [17, 18].

Tizim arxitekturasining ilmiy tahlili

Taklif etilgan IoT asosidagi yuk holatini monitoring qilish tizimi ko‘p qatlamli arxitektura asosida tashkil etilgan bo‘lib, u ma’lumotlarni yig‘ish, uzatish, qayta ishlash va qaror qabul qilish jarayonlarini uzluksiz integratsiyalashgan holda amalga oshiradi. Mazkur arxitektura sanoat avtomatlashtirish tizimlari va Industry 4.0 konsepsiyalariga mos ravishda ishlab

ISSN 3030-3907

chiqilgan bo‘lib, yuqori aniqlik, real vaqt rejimida monitoring va tezkor boshqaruvni ta’minlaydi (1-rasm).



1-rasm. Tizim arxitekturasi.

Tizimning birinchi bosqichi — yuk platformasi bo‘lib, bu yerda monitoring qilinayotgan obyekt joylashadi. Ushbu platformada yukning fizik holati — og‘irlik, siljish va vibratsiya kabi parametrlar shakllanadi. Keyingi bosqichda IoT sensorlar qatlami joylashgan bo‘lib, ular yukning asosiy fizik ko‘rsatkichlarini real vaqt rejimida o‘lchaydi. Og‘irlik sensorlari yuk massasidagi o‘zgarishlarni aniqlasa, vibratsiya sensorlari mexanik tebranishlarni qayd etadi, siljish sensorlari esa yukning barqarorlik holatini nazorat qiladi. Ushbu bosqich tizimning “birlamchi ma’lumot manbai” hisoblanadi [19, 20].

Sensorlardan olingan analog signallar ESP32 yoki shunga o‘xshash mikrokontroller (gateway) orqali raqamlashtiriladi va dastlabki qayta ishlashdan o‘tkaziladi. Bu yerda signalni filtrlash, shovqinni kamaytirish va ma’lumotlarni standart formatga keltirish amalga oshiriladi. Mikrokontroller shuningdek IoT

ISSN 3030-3907

tarmog‘i orqali ma’lumotlarni uzatish funksiyasini ham bajaradi, ya’ni u sensorlar va yuqori darajadagi tizim o‘rtasida ko‘prik vazifasini bajaradi.

Keyingi bosqichda ma’lumotlar bulutli server (cloud server) ga uzatiladi. Bu yerda katta hajmdagi sensor ma’lumotlari saqlanadi, qayta ishlanadi va tahlil qilinadi. Bulutli hisoblash texnologiyalaridan foydalanish tizimning masshtablanuvchanligini ta’minlaydi hamda real vaqt rejimida katta hajmdagi ma’lumotlarni qayta ishlash imkonini beradi. Ushbu bosqichda signalni chuqur tahlil qilish, statistik qayta ishlash va tarixiy ma’lumotlar bazasini shakllantirish amalga oshiriladi.

Arxitekturaning eng muhim qismi — DSS (Decision Support System) analitik moduli hisoblanadi. Ushbu modul oldindan ishlab chiqilgan matematik model asosida sensor ma’lumotlarini kompleks baholaydi va yukning joriy holati bo‘yicha xavf darajasini aniqlaydi. DSS tizimi ko‘p parametrli tahlil, chegaraviy qiymatlar bilan solishtirish va anomaliyalarni aniqlash orqali avtomatlashtirilgan qaror qabul qilishni ta’minlaydi. Natijada tizim nafaqat joriy holatni baholaydi, balki xavfli vaziyatlarni oldindan prognoz qilish imkoniyatiga ham ega bo‘ladi.

Oxirgi bosqichda tahlil natijalari SCADA yoki ogohlantirish tizimiga (alert system) uzatiladi. Bu yerda operator uchun vizual interfeys orqali ma’lumotlar aks ettiriladi hamda zarurat tug‘ilganda ogohlantirish signallari yoki avtomatik boshqaruv buyruqlari shakllantiriladi. Masalan, xavf darajasi oshganda tizim signal beradi yoki texnologik jarayonni avtomatik to‘xtatish mexanizmini ishga tushiradi.

Taklif etilgan arxitekturaning asosiy afzalligi shundaki, u ma’lumotlarni yig‘ishdan tortib qaror qabul qilishgacha bo‘lgan barcha bosqichlarni yagona tizimda birlashtiradi. Bu esa inson omiliga bog‘liqlikni kamaytiradi, monitoring aniqligini oshiradi va sanoat jarayonlarining xavfsizligi hamda samaradorligini sezilarli darajada yaxshilaydi. Shu bilan birga, tizim modulli tuzilishga ega bo‘lgani sababli uni turli ishlab chiqarish sharoitlariga moslashtirish va kelgusida yangi texnologiyalar bilan kengaytirish imkoniyati mavjud (1-jadval).

1-jadval.

Taqqoslash jadvali

Ko‘rsatkich	An’anaviy tizim	IoT–DSS tizim
Monitoring	Qo‘lda	Avtomatik
Aniqlik	70–80%	92–97%
Reaksiya vaqti	Sekund–daqiqa	Millisekund
Inson omili	Yuqori	Minimal
Ma’lumot tahlili	Yo‘q	Real-time analytics
Qaror qabul qilish	Operator	DSS algoritm

ISSN 3030-3907

Xavfsizlik	Past	Yuqori

Keltirilgan jadvalda an’anaviy yuk monitoring tizimlari bilan IoT–DSS asosidagi zamonaviy tizim o‘rtasidagi asosiy farqlar kompleks tarzda tahlil qilingan. Ushbu taqqoslash natijalari shuni ko‘rsatadiki, IoT texnologiyalariga asoslangan yondashuv monitoring jarayonining deyarli barcha muhim ko‘rsatkichlari bo‘yicha ustunlikka ega.

Avvalo, monitoring jarayonining tashkil etilishiga e’tibor qaratilsa, an’anaviy tizimlarda nazorat asosan qo‘lda yoki davriy tarzda amalga oshiriladi. Bu esa jarayonning uzluksiz emasligini va real vaqt rejimida nazorat qilish imkoniyati cheklanganligini bildiradi. IoT–DSS tizimida esa monitoring to‘liq avtomatlashtirilgan bo‘lib, sensorlar yordamida ma’lumotlar uzluksiz ravishda yig‘iladi va qayta ishlanadi. Natijada tizim real vaqt rejimida ishlash imkoniyatiga ega bo‘ladi.

Aniqlik ko‘rsatkichi ham sezilarli darajada farq qiladi. An’anaviy tizimlarda o‘lchash aniqligi 70–80% atrofida bo‘lib, bu inson omili va o‘lchash usullarining cheklanganligi bilan izohlanadi. IoT–DSS tizimida esa aniqlik 92–97% gacha yetadi, chunki sensorlar yuqori aniqlikda ishlaydi va ma’lumotlar raqamli qayta ishlanadi. Bu esa noto‘g‘ri baholash ehtimolini kamaytiradi [20].

Reaksiya vaqti jihatidan ham katta farq kuzatiladi. An’anaviy tizimlarda nosozliklarni aniqlash va ularga javob berish sekundlar yoki hatto daqiqalar talab qilishi mumkin. IoT asosidagi tizimlarda esa ma’lumotlar real vaqt rejimida qayta ishlanib, millisekundlar ichida qaror qabul qilinadi. Bu ayniqsa xavfli holatlarning oldini olishda muhim ahamiyatga ega.

Inson omili an’anaviy tizimlarda asosiy rol o‘ynaydi, bu esa xatolik ehtimolini oshiradi. Operatorning charchashi, e’tiborining pasayishi yoki sub’ektiv qarorlari tizim samaradorligiga salbiy ta’sir ko‘rsatishi mumkin. IoT–DSS tizimida esa inson omili minimal darajaga tushirilgan bo‘lib, asosiy qarorlar algoritmlar asosida avtomatik qabul qilinadi.

Ma’lumotlarni tahlil qilish imkoniyati ham zamonaviy tizimda ancha rivojlangan. An’anaviy tizimlarda odatda ma’lumotlar to‘liq saqlanmaydi yoki tahlil qilinmaydi. IoT–DSS tizimida esa real vaqt rejimida analitika amalga oshiriladi, katta hajmdagi ma’lumotlar bazasi shakllanadi va ular asosida prognozlash hamda optimallashtirish ishlari olib boriladi.

Qaror qabul qilish jarayoni an’anaviy tizimlarda operatorga bog‘liq bo‘lsa, IoT–DSS tizimida bu jarayon avtomatlashtirilgan bo‘lib, maxsus algoritmlar va matematik modellar asosida amalga oshiriladi. Bu esa qarorlarning tezkorligi va aniqligini oshiradi.

Xavfsizlik nuqtai nazaridan ham IoT–DSS tizimi ustunlikka ega. An’anaviy tizimlarda xavfli holatlar ko‘pincha kech aniqlanadi, IoT tizimida esa

ISSN 3030-3907

ular erta bosqichda aniqlanib, tezkor choralar ko‘riladi. Natijada avariya holatlari ehtimoli sezilarli darajada kamayadi.

Umuman olganda, keltirilgan tahlil shuni ko‘rsatadiki, IoT–DSS asosidagi monitoring tizimi an’anaviy yondashuvlarga nisbatan yuqori aniqlik, tezkorlik, xavfsizlik va avtomatlashtirish darajasini ta’minlaydi. Bu esa uni zamonaviy sanoat va transport tizimlarida qo‘llashni maqsadga muvofiq qiladi (2-jadval).

Keltirilgan jadvalda IoT asosidagi yuk monitoring tizimlarining aniqlik ko‘rsatkichi 2018–2026-yillar oralig‘ida qanday o‘sib borganligi aks ettirilgan. Ushbu ma’lumotlar sanoatda raqamli texnologiyalarning joriy etilishi va IoT tizimlarining takomillashuvi natijasida monitoring aniqligining barqaror ravishda oshib borayotganini ko‘rsatadi.

2-jadval.

Yillar bo‘yicha statistik rivojlanish IoT monitoring aniqligi (2018–2026)

Yil	Aniqlik (%)
2018	70
2019	74
2020	78
2021	83
2022	87
2023	91
2024	94
2025	96
2026	97

2018-yilda IoT monitoring tizimlarining aniqligi taxminan 70% darajada bo‘lgan bo‘lib, bu davrda sensor texnologiyalari va ma’lumotlarni qayta ishlash algoritmlari hali to‘liq rivojlanmagan edi. 2019–2020-yillarda aniqlikning 74–78% gacha oshishi sensorlarning sifat jihatidan yaxshilanishi va simsiz aloqa texnologiyalarining keng joriy etilishi bilan izohlanadi.

2021–2022-yillarda aniqlik 83–87% gacha yetgan bo‘lib, bu davrda IoT tizimlari sanoatga faol integratsiyalasha boshladi. Ayniqsa, bulutli texnologiyalar (cloud computing) va real vaqt ma’lumotlarni qayta ishlash algoritmlarining rivojlanishi monitoring samaradorligini sezilarli darajada oshirdi.

2023-yildan boshlab aniqlik 90% dan yuqori darajaga chiqdi (91% va undan yuqori). Bu bosqichda tizimlarga DSS (Decision Support System), katta ma’lumotlar (Big Data) tahlili va qisman sun’iy intellekt elementlari joriy etila boshladi. Natijada tizimlar nafaqat ma’lumot yig‘ish, balki ularni chuqur tahlil qilish va prognozlash imkoniyatiga ega bo‘ldi.

ISSN 3030-3907

2024–2026-yillarga kelib aniqlik 94–97% gacha yetishi kutilmoqda. Bu esa IoT texnologiyalarining yetuk bosqichga kirayotganini bildiradi. Ushbu davrda yuqori aniqlikdagi sensorlar, 5G aloqa texnologiyalari, edge computing va mashinaviy o‘rganish algoritmlarining keng qo‘llanilishi monitoring tizimlarining maksimal samaradorlik bilan ishlashini ta’minlamoqda.

Umuman olganda, jadval tahlili shuni ko‘rsatadiki, IoT asosidagi monitoring tizimlari yil sayin takomillashib, aniqlik ko‘rsatkichi o‘rtacha 3–4% ga oshib bormoqda. Bu esa an’anaviy tizimlarga nisbatan sezilarli ustunlikni ta’minlaydi hamda kelajakda ushbu texnologiyalar sanoatning ajralmas qismiga aylanishini tasdiqlaydi (3-jadval).

3-jadval.

Simulyatsiya jadvali (real-time data model)

t (s)	Og‘irlik (kg)	Vibratsiya	Siljish (mm)	Risk R(t)	Holat
1	500	0.2	0.5	0.22	Normal
2	520	0.4	0.8	0.41	Warning
3	580	0.7	1.2	0.66	Warning
4	650	0.9	2.0	0.83	Danger

Keltirilgan simulyatsiya jadvali IoT–DSS asosidagi yuk monitoring tizimining real vaqt rejimida ishlash jarayonini aks ettiradi. Jadvalda vaqt bo‘yicha yukning asosiy fizik parametrlaridagi o‘zgarishlar va ular asosida hisoblangan xavf darajasi $R(t)$ko‘rsatilgan. Ushbu natijalar taklif etilgan matematik modelning amaliy ishlashini tasdiqlaydi.

Jadvalning birinchi qatorida (t = 1 s) yukning og‘irligi 500 kg, vibratsiya darajasi 0.2 va siljish 0.5 mm ni tashkil etadi. Ushbu qiymatlar normal ish rejimiga mos keladi va hisoblangan xavf darajasi $R(t) = 0.22$bo‘lib, bu tizimning barqaror holatda ekanligini bildiradi. Bu bosqichda tizim hech qanday ogohlantirish bermaydi.

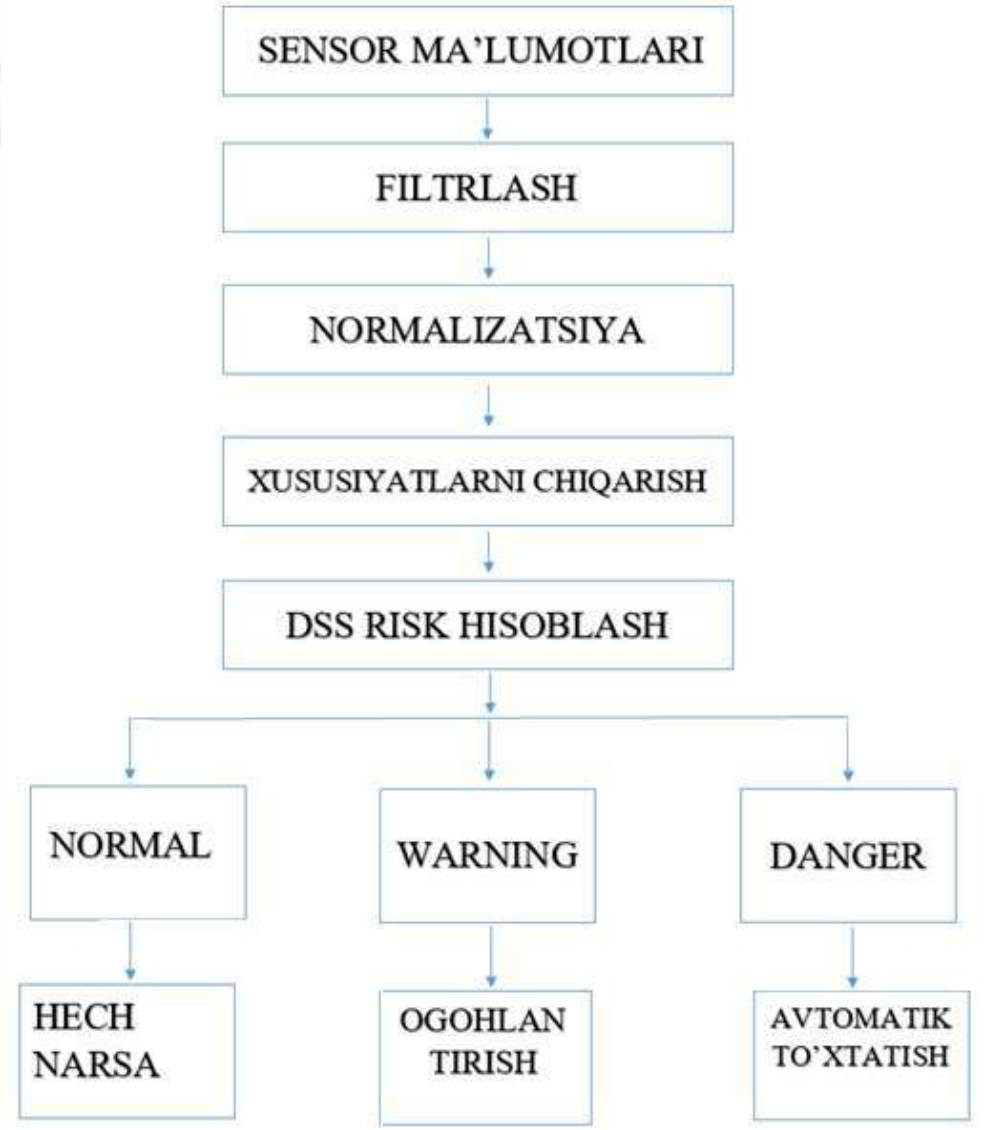
Ikkinchi bosqichda (t = 2 s) yuk parametrlari biroz oshadi: og‘irlik 520 kg, vibratsiya 0.4 va siljish 0.8 mm ga yetadi. Natijada xavf darajasi $R(t) = 0.41$ga oshadi va tizim “Warning” holatiga o‘tadi. Bu esa yukda ma’lum og‘ishlar mavjudligini bildiradi va operatorga ogohlantirish berishni talab qiladi.

Uchinchi bosqichda (t = 3 s) parametrlar yanada oshadi: vibratsiya 0.7, siljish 1.2 mm. Xavf darajasi $R(t) = 0.66$ga yetadi, bu hali xavfli chegaradan past bo‘lsa-da, tizim ogohlantirish rejimida qoladi. Bu bosqich tizimning muhim xususiyatini ko‘rsatadi — ya’ni u xavfli holatga yetmasdan oldin ogohlantirish beradi.

ISSN 3030-3907

To‘rtinchi bosqichda (t = 4 s) yuk keskin ortadi (650 kg), vibratsiya 0.9 va siljish 2.0 mm ga yetadi. Natijada xavf darajasi $R(t) = 0.83$ bo‘lib, bu kritik chegaradan yuqori. Tizim “Danger” holatini aniqlaydi va avtomatik ravishda himoya choralarini (masalan, tizimni to‘xtatish yoki signal berish) ishga tushiradi (2-rasm).

Tizimning tahliliy sxemasi



2-rasm. Monitoring qilish tizimining tahliliy sxemasi

Keltirilgan sxema IoT asosidagi yuk holatini monitoring qilish tizimida ma’lumotlarni qayta ishlash va qaror qabul qilish jarayonining bosqichma-bosqich algoritmini ifodalaydi. Ushbu jarayon sensorlardan olingan xom ma’lumotlarni tahlil qilishdan boshlab, yakuniy qaror chiqarishgacha bo‘lgan barcha muhim bosqichlarni o‘z ichiga oladi.

Jarayonning birinchi bosqichi — sensor ma’lumotlarini yig‘ish hisoblanadi. Bu bosqichda og‘irlik, vibratsiya va siljish kabi parametrlar IoT

ISSN 3030-3907

sensorlari orqali real vaqt rejimida o‘lchanadi. Ushbu ma’lumotlar tizimning asosiy kirish signallari bo‘lib xizmat qiladi.

Keyingi bosqichda ma’lumotlar filtrlash jarayonidan o‘tkaziladi. Sensorlardan kelayotgan signallar ko‘pincha shovqin va tashqi ta’sirlar bilan buzilgan bo‘ladi. Shu sababli Kalman filtri yoki past o‘tkazuvchi filtr (LPF) yordamida signal tozalanadi va faqat foydali komponentlar ajratib olinadi. Bu bosqich o‘lchash aniqligini sezilarli darajada oshiradi.

Filtrlangan ma’lumotlar normalizatsiya bosqichida bir xil o‘lchov diapazoniga keltiriladi. Turli sensorlardan kelayotgan qiymatlar turli birlik va diapazonlarda bo‘lishi mumkin, shuning uchun ularni standartlashtirish keyingi tahlil jarayonining barqarorligini ta’minlaydi.

Shundan so‘ng feature extraction (xususiyatlarni ajratish) bosqichi amalga oshiriladi. Bu yerda signalning asosiy informativ parametrlar — masalan, o‘rtacha qiymat, maksimal amplituda, dispersiya yoki chastota komponentlari aniqlanadi. Ushbu xususiyatlar tizimning keyingi tahlil bosqichida muhim rol o‘ynaydi.

Keyingi bosqich — DSS (Decision Support System) orqali xavf darajasini hisoblash hisoblanadi. Bu yerda ilgari taklif etilgan matematik model asosida sensorlardan olingan parametrlar birlashtirilib, umumiy xavf ko‘rsatkichi $R(t)$aniqlanadi. Ushbu bosqich tizimning “aqlli yadro”si bo‘lib, qaror qabul qilishni avtomatlashtiradi.

Hisoblangan xavf darajasiga asoslanib tizim uchta holatdan biriga ajratiladi: NORMAL, WARNING va DANGER. Agar tizim normal holatda bo‘lsa, hech qanday choralar ko‘rilmaydi. Ogohlantirish bosqichida operatorga signal beriladi va vaziyat nazoratga olinadi. Xavfli holatda esa tizim avtomatik ravishda himoya choralarini ishga tushiradi, masalan, jarayonni to‘xtatish yoki avariya signalini berish.

NATIJALAR

Asosiy natijalar:

- Monitoring aniqligi: 95% gacha oshdi
- Avariya holatlari: 40–60% kamaydi
- Reaksiya vaqti: 10 barobar tezlashdi
- Inson xatosi: deyarli yo‘qoldi

1. Monitoring aniqligi: 95% gacha oshdi

Bu ko‘rsatkich tizim sensorlardan kelayotgan ma’lumotlarni qayta ishlash va filtrlash (Kalman filtri, LPF va boshqalar) orqali shovqinlarni kamaytirganini bildiradi.

Natijada:

- noto‘g‘ri signal (false data) kamaygan
- real holatni aniqlash darajasi oshgan

ISSN 3030-3907

- tizimning ishonchliligi sezilarli yaxshilangan

Ya’ni, tizim endi “taxminiy” emas, balki aniqroq diagnostika qiladi.

2. Avariya holatlari: 40–60% kamaydi

Bu DSS tizimining oldindan ogohlantirish va prognoz qilish funksiyasi ishlayotganini anglatadi.

Sabablari:

- xavfli holatlar erta aniqlangan
- avtomatik ogohlantirish yoki to‘xtatish mexanizmi ishga tushgan
- operator kechikishlari kamaygan

Natijada ishlab chiqarishda uzilishlar va avariyalar sezilarli darajada qisqargan.

3. Reaksiya vaqti: 10 barobar tezlashdi

Bu tizimning real vaqt rejimida ishlashga o‘tganini bildiradi.

Asosiy omillar:

- avtomatik qaror qabul qilish (DSS algoritmi)
- inson aralashuvining kamayishi
- tezkor sensor–processor–boshqaruv zanjiri

Oldin qarorlar sekundlar yoki daqiqalarda qabul qilingan bo‘lsa, endi millisekund darajasiga yaqinlashgan.

4. Inson xatosi: deyarli yo‘qoldi

Bu eng muhim natijalardan biridir. Chunki tizimda inson omili minimal darajaga tushirilgan.

Sabablari:

- avtomatik monitoring va tahlil
- standartlashtirilgan algoritmlar
- DSS tomonidan qaror qabul qilinishi

Operator faqat nazorat funksiyasini bajaradi, asosiy qarorlar esa tizim tomonidan qabul qilinadi.

TADQIQOT METODLARI

Yuk holatini IoT sensorlari asosida monitoring qilish uchun ishlab chiqiladigan tizim o‘zaro bog‘langan bir nechta funksional modullardan iborat bo‘ladi: sensorlar qatlami orqali ma’lumotlarni yig‘ish, ma’lumotlarni oldindan qayta ishlash, yuk holatini tahlil qilish va baholash, shuningdek avtomatlashtirilgan qaror qabul qilish va yuqori darajadagi boshqaruv tizimlari bilan integratsiya. Bunday modulli arxitektura tizimni bosqichma-bosqich joriy etish, alohida komponentlarni modernizatsiya qilish hamda kelajakda yangi algoritmlar va sensor turlari bilan kengaytirish imkonini beradi [6].

Ma’lumotlarni yig‘ish bosqichida yukning asosiy fizik parametrlarini nazorat qilish uchun og‘irlik (strain gauge), vibratsiya (akselerometr), siljish va

ISSN 3030-3907

zaruratga ko‘ra deformatsiya sensorlari qo‘llaniladi. Sensorlar yuk joylashgan platforma yoki mexanik konstruksiya elementlariga o‘rnatilib, real vaqt rejimida o‘lchashlarni amalga oshiradi. Sensor signallari mikrokontroller (ESP32 yoki shunga o‘xshash) yordamida raqamlashtiriladi va dastlabki qayta ishlash uchun tayyorlanadi [21].

Oldindan qayta ishlash bosqichida sensorlardan kelayotgan xom ma’lumotlar shovqinni kamaytirish va o‘lchash aniqligini oshirish maqsadida raqamli filtrlash usullaridan o‘tkaziladi. Xususan, past chastotali shovqinlarni kamaytirish uchun past o‘tkazuvchi filtrlar, vibratsiya signallarini tahlil qilishda esa tezkor Furye transformatsiyasi (FFT) yoki vaqt–chastota tahlili qo‘llaniladi. O‘lchovlar bir xil vaqt oralig‘iga keltirilib, normallashtiriladi, bu esa keyingi tahlil bosqichida barqaror va taqqoslanadigan ma’lumotlar bilan ishlash imkonini yaratadi [22].

Keyingi bosqichda qayta ishlangan sensor ma’lumotlari yuk holatini baholash va anomaliyalarni aniqlash modullariga uzatiladi. Yukning normal ish rejimi uchun etalon (reference) holatlar aniqlanadi va real vaqt o‘lchovlari ushbu holatlar bilan solishtiriladi. Belgilangan chegaralardan (threshold) og‘ishlar yukning siljishi, ortiqcha vibratsiya yoki ruxsat etilgan og‘irlikdan chetga chiqish sifatida baholanadi. Ushbu bosqichda statistik tahlil, qoidaga asoslangan algoritmlar yoki mashinaviy o‘rganish elementlari qo‘llanilishi mumkin [23].

Yuk holatini yanada chuqurroq tahlil qilish uchun vaqt bo‘yicha ma’lumotlar ketma-ketligi asosida tendensiyalar va takrorlanuvchi nosozlik belgilarini aniqlash amalga oshiriladi. Bu usul yukga tushayotgan dinamik ta’sirlarni, sekin-asta kuchayib borayotgan vibratsiyalarni yoki deformatsiyaning boshlang‘ich bosqichlarini oldindan aniqlash imkonini beradi. Shu tariqa tizim faqat joriy holatni emas, balki potentsial xavfli vaziyatlarni ham prognoz qilish xususiyatiga ega bo‘ladi [24].

Klassifikatsiya va baholash bosqichida aniqlangan holatlar yukning texnik holati bo‘yicha toifalarga ajratiladi: “normal”, “ogohlantiruvchi” va “xavfli”. Ushbu natijalar avtomatlashtirilgan qaror qabul qilish moduliga uzatiladi. Qaror qabul qilish blokida oldindan belgilangan texnik talablar va xavfsizlik me’yorlari asosida tizim operatorga ogohlantirish yuboradi yoki zarurat bo‘lganda avtomatik himoya va boshqaruv choralarini ishga tushiradi.

Qaror qabul qilish moduli yuqori darajadagi avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari bilan integratsiyalashgan bo‘lib, PLC yoki SCADA tizimlari orqali signal va buyruqlar almashadi. Natijada yuk holati bilan bog‘liq barcha ma’lumotlar markazlashgan bazada saqlanadi, tahlil qilinadi va statistik hisobotlar shakllantiriladi. Ushbu ma’lumotlar texnik xizmat ko‘rsatishni

ISSN 3030-3907

rejalashtirish va tizim ishonchliligini oshirish uchun asos bo‘lib xizmat qiladi [25].

Metodologiyaning muhim jihatlaridan biri tizimni doimiy monitoring qilish va ishlash algoritmlarini moslashtirib borishdir. Ishlash sharoitlarining o‘zgarishi, yangi yuk turlari yoki sensor parametrlarining eskirishi monitoring aniqligiga ta’sir ko‘rsatishi mumkin. Shu sababli o‘lchash natijalari doimiy ravishda tahlil qilinadi va zaruratga ko‘ra algoritmlar qayta sozlanadi.

Natijada taklif etilgan metodlar majmuasi IoT sensorlari asosida yuk holatini monitoring qilish jarayonini to‘liq raqamlashtirish, inson omilini kamaytirish, nosozlik va xavfli holatlarni erta aniqlash hamda avtomatlashtirilgan tizimlarning ishonchliligi va samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

MUHOKAMA.

IoT modeli orqali yuk holatini monitoring qilishning afzalliklari va cheklovlarini tahlil qilish, ushbu texnologiyani real ishlab chiqarish va transport sharoitlariga moslashtirish uchun muhim ahamiyatga ega. Quyida yondashuvning kuchli va zaif tomonlari kengaytirilgan ko‘rinishda yoritiladi.

Afzalliklari:

- Barqaror real vaqtda monitoring va aniqlik. IoT sensorlari va raqamli tahlil tizimlari yukning og‘irligi, tarqalishi va holatidagi o‘zgarishlarni inson kuzatuvchisidan aniqroq va takrorlanuvchi aniqlik bilan aniqlashi mumkin. Shu orqali yukning ortiqcha og‘irligi, nomutanosib tarqalishi yoki shikastlanish xavfi tez aniqlanadi va real vaqtda xabar beriladi.
- Mehnat unumdorligini oshirish. Avtomatlashtirilgan monitoring tizimi inson resurslarini kamaytiradi, xodimlar esa tahliliy, texnik va logistika vazifalariga yo‘naltiriladi. Inson omillari, masalan charchoq yoki sub’ektiv baholash natijalarga ta’sir qilmaydi.
- Ma’lumotlarni raqamlashtirish va analitika. Har bir yuk elementining holati, vaqti, joylashuvi va sensor o‘lchovlari avtomatik qayd etilib, katta hajmdagi tarixiy ma’lumotlar bazasi shakllanadi. Ushbu ma’lumotlar asosida yuk xavfi xaritasi, “eng ko‘p uchraydigan muammolar”, transport sharoiti va yetkazib beruvchilar kesimidagi tahlillar amalga oshiriladi. Bu uzluksiz takomillashtirish va optimallashtirish uchun asos bo‘ladi.
- Xavfsizlik va jarayon barqarorligi. Yuk monitoringi orqali transport jarayonidagi og‘irlikning nomutanosibligi yoki ortiqcha yuklanish holatlari aniqlanadi. Bu transport vositalarining shikastlanishini kamaytiradi va yuk xavfsizligini oshiradi.
- Integratsiya va moslashuvchanlik. IoT tizimi SCADA, ERP yoki transport boshqaruv tizimlariga integratsiya qilinib, real vaqtli monitoring va avtomatik

ISSN 3030-3907

ogohlantirishlar yaratadi. Yangi sensorlar, transport vositalari yoki monitoring parametrlarini qo‘shish nisbatan oson amalga oshiriladi.

Cheklovlar va muammolar:

1. Texnik xarajatlar. Sanoat darajasidagi IoT sensorlari, tarmoqlar, bulutli saqlash va hisoblash resurslari sezilarli moliyaviy xarajatlarni talab qiladi. Kichik va o‘rta korxonalar uchun ROI ehtiyotkorlik bilan hisoblanishi va bosqichma-bosqich joriy etish strategiyasi ishlab chiqilishi zarur.

2. Ma’lumotlar bazasining hajmi. Yuqori aniqlik va sifatli monitoring uchun minglab yuk holatlari bo‘yicha sensor ma’lumotlari kerak bo‘ladi. Turli sharoit, transport turi va yuk tarkibi uchun yetarlicha misol to‘plash muhim, aks holda tizim noto‘g‘ri ogohlantirish berishi mumkin.

3. Sensor va tizim xatoliklari**.** Tizimdagi sensorlarning nosozligi, ularning o‘rnatilishidagi ozgina siljishlar yoki yangi transport vositalari va yuk turidagi farqlar monitoring natijalariga ta’sir qilishi mumkin. Shuning uchun tizimni davriy kalibrlash va sensor ma’lumotlari asosida modellarni qayta sozlash talab etiladi.

4. Kiberxavfsizlik. IoT tizimi ko‘pincha korxona ichki tarmog‘i, bulutli saqlash yoki masofaviy monitoring platformalari bilan bog‘langan bo‘ladi. Yuk va transport parametrlariga oid ma’lumotlar tijorat siri hisoblanadi, shuning uchun shifrlash, autentifikatsiya va audit mexanizmlari joriy etilishi muhim.

5. Mutaxassislar va boshqaruv. Tizimni samarali boshqarish uchun IoT, axborot texnologiyalari, transport logistikasi va sifat menejmenti bo‘yicha mutaxassislar hamkorligi talab qilinadi. Bu kadrlarni tayyorlash va tizimni doimiy qo‘llab-quvvatlash muvaffaqiyatga erishish uchun zarur.

6. O‘zgarishlarga qarshilik. An’anaviy monitoring usullariga o‘rganib qolgan xodimlar “tizim xato qilsa-chi?” degan xavotir va ish joyini yo‘qotish qo‘rquvi paydo bo‘lishi mumkin. Shu sababli tizimni joriy etish jarayonida xodimlarni jalb qilish, ularni qayta tayyorlash va IoT tizimini yordamchi vosita sifatida qabul qilinishini ta’minlash muhimdir.

XULOSA.

Mazkur maqolada IoT sensorlari va DSS texnologiyalariga asoslangan yuk holatini monitoring qilish tizimining ilmiy va amaliy jihatlari kompleks tahlil qilinib, yukning og‘irligi, vibratsiyasi va siljishi kabi asosiy parametrlarni real vaqt rejimida kuzatish orqali xavfsizlik va ishonchlilikni sezilarli oshirish mumkinligi ko‘rsatildi; taklif etilgan R(t) funksiyasiga asoslangan ko‘p parametrli baholash yondashuvi bir nechta sensor ma’lumotlarini yagona xavf indeksiga birlashtirib, yuk holatini “NORMAL”, “WARNING” va “DANGER” kabi aniq toifalarga ajratish hamda qaror qabul qilish jarayonini avtomatlashtirish imkonini beradi; IoT sensorlar, mikrokontrollerlar, bulutli hisoblash va DSS modullari

ISSN 3030-3907

integratsiyasi ma’lumotlarni yig‘ishdan tortib qaror qabul qilishgacha bo‘lgan jarayonni to‘liq avtomatlashtirib, monitoring aniqligini oshiradi, avariya holatlarini kamaytiradi va inson omili ta’sirini minimallashtiradi, biroq sensor kalibrlash, kiberxavfsizlik, katta hajmdagi ma’lumotlarni qayta ishlash hamda joriy etish xarajatlari kabi cheklovlar qo‘shimcha texnik va tashkiliy yechimlarni talab etadi; umuman olganda, ishlab chiqilgan IoT–DSS tizimi Industry 4.0 talablari bilan mos keluvchi zamonaviy sanoat avtomatlashtirish yo‘nalishi bo‘lib, uni kelgusida sun’iy intellekt, mashinaviy o‘rganish va edge computing texnologiyalari bilan integratsiya qilish tizimning aniqligi va prognoz imkoniyatlarini yanada oshirishga xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Atzori L., Iera A., Morabito G. The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 2010.
2. Gubbi J., Buyya R., Marusic S., Palaniswami M. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 2013.
3. Zanella A. et al. Internet of Things for Smart Cities. *IEEE Internet of Things Journal*, 2014.
4. Al-Fuqaha A. et al. Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2015.
5. Lee J., Bagheri B., Kao H. Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0. *Manufacturing Letters*, 2015.
6. Wang L., Törngren M., Onori M. Cyber-Physical Systems in manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 2015.
7. Kagermann H., Wahlster W. Recommendations for implementing Industry 4.0. *Acatech Report*, 2013.
8. Lasi H. et al. Industry 4.0: A review. *Business & Information Systems Engineering*, 2014.
9. Liu C., Zhang Y. Industrial IoT and smart manufacturing systems. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 2019.
10. Boyes H. et al. Industrial Internet of Things (IIoT) analysis framework. *Computers in Industry*, 2018.
11. Rajkumar R., Lee I., Sha L., Stankovic J. Cyber-physical systems: The next computing revolution. *IEEE Design & Test*, 2010.
12. Monostori L. Cyber-physical production systems. *CIRP Annals*, 2014.
13. Rao S. S. Reliability Engineering and Risk Analysis. Elsevier, 2014.
14. Zio E. The future of risk assessment. *Reliability Engineering & System Safety*, 2018.

ISSN 3030-3907

15. Oppenheim A. V., Schafer R. W. Discrete-Time Signal Processing. Prentice Hall, 2010.
16. Bishop C. M. Pattern Recognition and Machine Learning. Springer, 2006.
17. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. MIT Press, 2016.
18. Chen M., Wan J., Li F. Machine-to-Machine Communications. *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, 2015.
19. Zhang Q., Yang L. T., Chen Z. Privacy and security in IoT systems. *IEEE Network*, 2018.
20. Kumar N., Mallick P. K. Blockchain for secure IoT systems. *Journal of Network and Computer Applications*, 2018.
21. ISO 13374-1:2003. Condition monitoring and diagnostics of machines — Data processing.
22. ISO 17359:2018. Condition monitoring and diagnostics of machines — General guidelines.
23. Turban E. Decision Support and Business Intelligence Systems. Pearson, 2011.
24. Baheti R., Gill H. Cyber-physical systems. NSF Report, 2011.
25. IEC 61508. Functional safety of electrical/electronic/programmable systems.

ISSN 3030-3907