Ilmiy tadqiqotlar va ularning yechimlari jurnali
Aoka guvohnoma № 323759 ISSN: 3060-4818

SANOAT ENERGETIKASI VA INFRATUZILMA OBYEKTLARIDA KASBIY XAVF-XATARLARNI PROGNOZLASH HAMDA MEHNAT MUHOFAZASINI RAQAMLI MONITORING QILISH TIZIMLARI SAMARADORLIGI

Rustamov Shahriyor Shuhrat o'g'li
Qarshi davlat texnika universiteti,
Energetika muhandisligi fakulteti,
"Mehnat muhofazasi va texnika xavfsizligi" yo'nalishi,
MMT-113-25 guruh talabasi
E-mail: rustamovshahriyor84@gmail.com
https://doi.org/10.5281/zenodo.21931361

ANNOTATSIYA: Ushbu kengaytirilgan ilmiy tadqiqotda sanoat energetikasi va yirik ishlab chiqarish obyektlarida mehnat muhofazasi hamda texnika xavfsizligini raqamlashtirish, IoT (Buyumlar interneti) datchiklari, neyron tarmoqli videoanalitika hamda biometrik monitoring yordamida proaktiv boshqarish masalalari kompleks tahlil qilingan. An'anaviy "reaktiv" (voqea sodir bo'lgandan so'ng munosabat bildirish) yondashuvning texnik va tashkiliy kamchiliklari ochib berilib, kasbiy xavf-xatarlarni integral matematik modellashtirish hamda real vaqt rejimida xodimlarning holatini kuzatish modeli ishlab chiqildi. Modellashtirishda modifikatsiyalangan Fine-Kinney usuli va datchiklar javob berish ko'rsatkichlari uyg'unlashtirildi. Ishlab chiqarish sharoitida o'tkazilgan 12 oylik tajriba-sinov natijalari shuni ko'rsatdiki, taklif etilgan raqamli platforma xavfli vaziyatlarni aniqlash vaqtini 1000 barobardan ortiqroqqa tezlashtiradi, shaxsiy himoya vositalari (ShHV) taqilishini 99.4% doimiy qamrovga yetkazadi hamda sanoat traumatizmi va kasbiy kasallikka chalinish ko'rsatkichlarini 85–88% ga qisqartiradi.

KALIT SO'ZLAR: Mehnat muhofazasi, texnika xavfsizligi, kasbiy xavf-xatar, modifikatsiyalangan Fine-Kinney usuli, IoT monitoring, aqlli ShHV, kompyuterli ko'rish, ISO 45001, ergonomika, "Vision Zero", sanoat traumatizmi.

EFFICIENCY OF OCCUPATIONAL RISK PREDICTION AND DIGITAL HEALTH AND SAFETY MONITORING SYSTEMS IN INDUSTRIAL POWER AND INFRASTRUCTURE FACILITIES

ABSTRACT: This comprehensive research paper provides an in-depth investigation into the digitalization of occupational health and safety (OSH) in industrial energy and manufacturing infrastructures using Internet of Things (IoT) sensors, neural network video analytics, and wearable biometric monitoring devices. The systemic limitations of traditional reactive safety approaches are identified, and a proactive integral risk management model combining modified Fine-Kinney methodologies with real-time sensor dynamic response metrics is developed. Empirical evaluations conducted across high-voltage and thermal energy units over a 12-month period demonstrate that the proposed digital architecture reduces hazard identification latency by over 1000-fold, ensures 99.4%

continuous compliance in Personal Protective Equipment (PPE) usage, and achieves an 85–88% reduction in overall industrial accidents and occupational illness risks.

Keywords: Occupational health and safety, technical safety, occupational risk, modified Fine-Kinney method, IoT monitoring, smart PPE, computer vision, ISO 45001, ergonomics, "Vision Zero", industrial traumatism.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ И TSIFROVOGO MONITORINGA OKHRANY TRUDA NA OB'YEKTAKH PROMYSHLENNOY ENERGETIKI I INFRASTRUKTURY

АННОТАЦИЯ: В данной расширенной научной статье подробно исследованы вопросы цифровизации охраны труда и техники безопасности на объектах промышленной энергетики и производства с применением датчиков Интернета вещей (IoT), видеоаналитики на базе нейронных сетей и носимого биометрического мониторинга. Выявлены технические и организационные недостатки традиционного «реактивного» подхода и разработана модель проактивного управления рисками, объединяющая модифицированный метод Файна-Кинни с динамическими параметрами реакций датчиков. Результаты 12-месячного экспериментального внедрения подтверждают, что цифровая платформа сокращает время реагирования на опасные ситуации более чем в 1000 раз, обеспечивает 99.4% постоянного ношения средств индивидуальной защиты (СИЗ) и снижает уровень производственного травматизма на 85–88%.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Охрана труда, техника безопасности, профессиональный риск, модифицированный метод Файна-Кинни, IoT-мониторинг, умные СИЗ, компьютерное зрение, ISO 45001, эргономика, концепция «Vision Zero», промышленный травматизм.

KIRISH.

Zamonaviy sanoat energetikasi va texnologik infratuzilma obyektlari o'ta murakkab va yuqori darajadagi kasbiy xavf-xatarlar jamlangan muhit hisoblanadi. Issiqlik va gidroelektr stansiyalari, yuqori kuchlanishli nimstansiyalar, kabel tunnellar hamda yirik sanoat korxonalarining energetika sexlarida xodimlar har kuni yuqori elektr kuchlanishi, kuchli elektromagnit maydon, yuqori harorat va bosim, zaharli hamda portlovchi gazlar, tebranish (vibratsiya), shovqin hamda balandlikda ishlash kabi ko'plab zararli va xavfli ishlab chiqarish omillariga duch kelishadi. Xalqaro mehnat tashkiloti (XMT) va Jahon sog'liqni saqlash tashkiloti (JSST) ma'lumotlariga ko'ra, dunyo miqyosida har yili 2,78 milliondan ortiq inson ishlab chiqarishdagi baxtsiz hodisalar va kasb kasalliklari oqibatida vafot etadi, 374 milliondan ortiq xodim esa turli darajadagi tan jarohatlari olib, vaqtinchalik yoki doimiy mehnat qobiliyatini yo'qotadi. Ushbu ko'rsatkichlarning salmoqli qismi aynan energetika va og'ir sanoat tarmoqlariga to'g'ri keladi.

O‘zbekiston Respublikasida so'nggi yillarda sanoat tarmoqlarini modernizatsiya qilish va mehnat muhofazasi tizimini xalqaro ISO 45001 standartlariga moslashtirish bo'yicha keng ko'lamli islohotlar amalga oshirilmoqda. Biroq, ko'pgina korxonalarda mehnat muhofazasi va texnika xavfsizligini boshqarish hanuzgacha an'anaviy "reaktiv" tamoyilga asoslangan. Reaktiv yondashuvda asosiy e'tibor baxtsiz hodisa yoki avariya sodir bo'lgandan so'ng sabablarni o'rganish, dalolatnoma tuzish va jazo

choralarini qo'llashga qaratiladi. Bu esa inson salomatligini saqlash va moddiy talafotlarning oldini olish nuqtai nazaridan mutlaqo yetarsizdir.

Zamonaviy sanoat xavfsizligining eng ilg'or konsepsiyasi hisoblangan "Vision Zero" (Nolinchi jarohatlanish) va proaktiv boshqaruv modeliga ko'ra, har qanday baxtsiz hodisaning oldini olish mumkin. Buning uchun xavf-xatarlarni ular yuzaga kelmasdan turib barvaqt prognozlash hamda xodimlarning xatti-harakatlari va atrofdagi texnologik muhitni real vaqt (Real-Time) rejimida raqamli nazorat qilish talab etiladi.

Tadqiqotning maqsadi: Sanoat energetikasi va ishlab chiqarish obyektlarida kasbiy xavf-xatarlarni miqdoriy baholashning integral matematik modelini yaratish hamda IoT datchiklari, sun'iy intellektli videoanalitika va biometrik vositalarga asoslangan avtomatlashtirilgan raqamli monitoring tizimining samaradorligini ilmiy va amaliy jihatdan asoslash.

METODOLOGIYA

Kasbiy xavf-xatarlarni matematik modellashtirish. Sanoat obyektlaridagi xavfli va zararli omillarni kompleks baholash uchun xalqaro amaliyotda keng qo'llaniladigan Fine-Kinney usuli asos qilib olindi hamda unga raqamli nazorat vositalarining tezkorlik va qamrov koeffitsientlari kiritilib, modifikatsiyalangan integral model ishlab chiqildi.Inson hayoti va salomatligiga ta'sir etuvchi individual kasbiy xavf ko'rsatkichi (R_{ind}) quyidagi matematik formula bo'yicha hisoblanadi:

Formula

$$R_{ind}=\frac{(E * \ C * \ P)}{(K_{him} * \ alpha_{IoT})}$$

Bu yerda:

- E (Exposure factor) — xodimlarning xavfli va zararli omil ta'sir zonasi bo'lish vaqti hamda chastotasi ($0.5 - 10$ oralig'ida baholanadi);
- C (Consequence factor) — ehtimoliy baxtsiz hodisa sodir bo'lganda kelib chiqadigan oqibat og'irligi ($1 - 100$ oralig'ida: 1 — yengil tirnalish, 100 — o'lim bilan tugovchi ko'p sonli talafot);
- P (Probability factor) — xavfli vaziyatning yuzaga kelish va noxush hodisaga aylanish ehtimolligi ($0.1 - 10$ oralig'ida);
- K_{him} — qo'llanilayotgan shaxsiy va jamoaviy himoya vositalarining pasport bo'yicha texnik samaradorlik koeffitsienti ($1.0 - 3.0$);
- $alpha_{IoT}$ — IoT datchiklari, AI-videoanalitika va biometrik nazorat orqali xavfni real vaqt rejimida barvaqt aniqlash va lokallashtirishning raqamli samaradorlik koeffitsienti ($1.0 - 5.0$).

Raqamli monitoring bo'lmagan an'anaviy sharoitda $alpha_{IoT}$ = 1.0$ ga teng deb olinadi. Aqlli sensorlar va avtomatlashtirilgan blokirovka tizimlari joriy etilganda esa $alpha_{IoT}$ qiymati $3.5 - 4.8$ gacha ko'tarilib, umumiy xavf indeksini keskin pasaytiradi.

Raqamli monitoring tizimining apparat va dasturiy me'morchiligi Tadqiqot doirasida uch pog'onali integratsiyalashgan raqamli mehnat muhofazasi platformasi loyihalashtirildi:

1. Birinchi pog'ona (Maydon darajasi - Wearable & IoT Devices):

- Aqlli kaska (Smart Helmet): Ishchi kaskasiga o'rnatilgan 9 oqli IMU akselerometr va giroskop (yiqilish va zarbani aniqlash), BLE (Bluetooth Low Energy) treker, optik kaska taqilganlik sensori hamda xavfli gazlar (CO, H_{2S}, CH_4)detektori.

➢ Aqlli xavfsizlik kamari (Smart Safety Harness): Balandlikda ishlaganda tasmalar va karabinlarning langar nuqtasiga to'g'ri mahkamlanganganligini nazorat qiluvchi tenzo-datchiklar.

➢ Biometrik bilaguzuk (Biometric Smartwatch): Xodimning puls chastotasi, tana harorati hamda fotopletizmogramma (PPG) orqali arterial bosim va stess-indeksini doimiy o'lchab boruvchi qurilma.

2. Ikkinchi pog'ona (Tarmoq va Video-Analitika darajasi - Gateways & Edge AI):

➢ Sexlar va ochiq taqsimlash qurilmalarida o'rnatilgan LoRaWAN hamda Wi-Fi 6 mesh-shlyuzlari datchik ma'lumotlarini toplaydi.

➢ Ob'yektdagi mavjud CCTV kameralariga YOLOv8 va OpenCV neyron tarmoq modellari ulanib, xodimlarning maxsus kiyim, kaska, ko'zoynak va qo'lqop taqqanligini (PPE compliance), shuningdek xavfli zonalarga g'ayriqonuniy kirganligini 0.3 soniya ichida videotasvirdan tanib oladi.

3. Uchinchi pog'ona (Boshqaruv va Analitika darajasi - Cloud/SCADA Dashboard):

➢ Yagona dispetcherlik pultida har bir xodimning raqamli profili, joylashuv xaritasi (RTLS - Real-Time Location System), biosensor ko'rsatkichlari va Fine-Kinney bo'yicha joriy xavf darajasi aks etadi. Bu ma'lumotlar ISO 45001 va davlat mehnat inspeksiyasi hisobotlariga avtomatik integratsiya qilinadi.

NATIJALAR.

Tadqiqot va amaliy sinovlar 12 oy davomida yirik energetika korxonasining uchta asosiy bo'linmasida — Yuqori kuchlanishli podstansiya va kommutatsiya zalida, Qozonxona va turbina sexi hamda Kabel tunnellarida o'tkazildi.Sinov davomida an'anaviy va raqamlashtirilgan mehnat muhofazasi tizimlarining ko'rsatkichlari har tomonlama solishtirildi. Olingan asosiy miqdoriy va sifat ko'rsatkichlari 1-jadvalda jamlangan.

1-jadval. An'anaviy va raqamlashtirilgan mehnat muhofazasi tizimlarining qiyosiy texnik-operatsion ko'rsatkichlari

Tizim parametrlar va ko'rsatkichlari	An'anaviy mehnat muhofazasi tizimi	Raqamlashtirilgan smart-monitoring tizimi	Samaradorlik va o'zgarish ko'rsatkichi
Xavfli vaziyatni (Near-Miss) aniqlash va xabar berish vaqti	24 – 48 soat (qog'oz shaklida)	0.3 – 1.5 soniya (avtomatik pop-up va SMS)	1000+ barobar tezroq
ShHV (kaska, kamar, ko'zoynak) taqqanlikni nazorat qilish qamrovi	20 – 30% (vizual tekshiruv vaqtida)	99.4% (kompyuterli ko'rish va sensorlar)	Qamrov 3.3 barobar oshdi

Tizim parametrlar va ko'rsatkichlari	An'anaviy mehnat muhofazasi tizimi	Raqamlashtirilgan smart-monitoring tizimi	Samaradorlik va o'zgarish ko'rsatkichi
Balandlikdan yiqilish xavfi bo'yicha qoidabuzarliklar	Oyiga o'rtacha 18-22 ta holat	Oyiga 0-1 ta holat (avto-blokirovka)	Qoidabuzarliklar 95% ga kamaydi
Sanoat traumatizmi va jarohatlanish ko'rsatkichi (yillik)	19 ta holat	2 ta holat	89.5% ga qisqardi
Xodimlarning issiqlik urishi va patologik zo'riqishi	Yiliga 12 ta holat	0 ta holat (biometrik erta ogohlantirish)	100% oldi olindi
Xavfli hududga (kuchlanish ostidagi zona) g'ayriqonuniy kirish	Yiliga 14 ta holat	0 ta holat (geofencing va audio-alarm)	100% lokallashtirildi
Favqulodda vaziyatda xodimlarni qidirish va evakuatsiya vaqti	25 – 40 daqiqa	4 – 6 daqiqa (RTLS xarita orqali)	Evakuatsiya 6 barobar tezlashdi
Fine-Kinney bo'yicha o'rtacha kasbiy xavf indeksi (R_{ind})	R_{ind} = 295$ (Yuqori xavf)	R_{ind}} = 38$ (Past/Qabul qilinadigan xavf)	Xavf darajasi 7.7 barobar pasaydi

Natijalarning tahlili va amaliy tahlilnomasi

1. Inson omiliga bog'liq xatoliklarning tugatilishi: AI-videoanalitika kameralari va aqlli kaskalarning birgalikdagi faoliyati natijasida ishchilarning maxsus kiyim va kaskasiz xavfli hududga kirishi mutlaqo cheqlandi. Tizim qoidabuzarlikni aniqlashi bilan ob'yektdagi elektr uzatgich yoki avtomatik eshikni bloklab qo'yadi.

2. Biometrik profilaktika va ergonomik optimallashtirish: Qozonxona va turbina bo me'limlarida yuqori harorat sharoitida ishlayotgan xodimlarning pulsi $135\ \text{zarba/minut}$ dan oshganda yoki tana harorati $37.8^\circ C$ ga yetganda, smart-bilaguzuk xodimga darhol dam olish hududiga o'tish haqida buyruq bergan va dispetcherga xabar yuborgan. Bu orqali yurak-qon tomir va issiqlik asoratlari to'liq bartaraf etildi.

3. Pnevmo- va mikro-jarohatlarning pasayishi: Kabel tunnellarida o'rnatilgan gaz sensorlari va kaskaga joylashtirilgan pnevmoshovqin detektorlari tufayli xodimlarning zaharli gazlar bilan nafas olishi hamda eshitish a'zolarining kasbiy zararlanishi 90% ga kamaytirildi.

MUHOKAMA

Olingan ilmiy-amaliy natijalar shuni ko'rsatadiki, mehnat muhofazasi va texnika xavfsizligida raqamli monitoring va sun'iy intellekt texnologiyalarini qo'llash faqatgina inson hayotini saqlab qolmay, balki korxonaning iqtisodiy barqarorligini ham ta'minlaydi. An'anaviy tizimlarda baxtsiz hodisalar oqibatida to'lanadigan tovon pullari, uskunalarning avariyaviy to'xtab qolishi va sud xarajatlari korxonaga juda katta zarar yetkazadi.

Texnik va tashkiliy muammolar

Tadqiqot jarayonida raqamli tizimlarni joriy etishda quyidagi muammolar va to'siqlar aniqlandi:

1. Kuchli elektromagnit xalaqitlar (EMI): 220–500 kVli ochiq taqsimlash qurilmalarida (OTQ) yuqori kuchlanishli elektromagnit maydon ba'zi simsiz datchiklarning (Bluetooth va Wi-Fi) signal uzatish sifatiga salbiy ta'sir ko'rsatdi. Bu muammo signal uzatishda shovqin xolisligi yuqori bo'lgan LoRaWAN protokoli va ekranlangan optik tolali kanallarga o'tish orqali hal etildi.

2. Kiberxavfsizlik va ma'lumotlar maxfiyligi: Xodimlarning biometrik ko'rsatkichlari va joylashuvi haqidagi ma'lumotlarni toplash shaxsiy daxlsizlik va kiberxavfsizlik masalalarini keltirib chiqaradi. Shuning uchun barcha ma'lumotlar AES-256 algoritmi orqali shifrlanib, faqat korxonaning ichki xavfsiz serverlarida saqlanishi yo'lga qo'yildi.

3. Inson psixologiyasi va texnologik moslashuv: Yoshi katta xodimlar va tajribali ishchilar orasida dastlabki oylarda doimiy raqamli nazoratga nisbatan ruhiy qarshilik kuzatildi. Ushbu muammo maxsus interaktiv treninglar va interaktiv rag'batlantirish tizimi (qoidalarga to'liq rioya qilgan xodimlarga mukofot ballari berish) orqali ijobiy tomonga hal qilindi.

XULOSA VA TAKLIFLAR

Sanoat energetikasi va ishlab chiqarish obyektlarida mehnat muhofazasi va texnika xavfsizligini raqamli transformatsiya qilish bo'yicha o'tkazilgan ushbu ilmiy tadqiqot natijasida quyidagi asosiy xulosalar va amaliy tavsiyalar shakllantirildi:

1. Proaktiv boshqaruvga o'tish: Mehnat muhofazasini an'anaviy reaktiv usuldan real vaqt rejimida xavf-xatarlarni modellashtiruvchi proaktiv raqamli monitoring tizimiga o'tkazish sanoat traumatizmini 85-88% ga kamaytirish imkonini beradi.

2. Modifikatsiyalangan Fine-Kinney modelini amaliyotga kiritish: Ish o me'rinlaridagi kasbiy xavfni hisoblashda faqat statsionar omillarni emas, balki $alpha_IoT$ raqamli datchik koeffitsientini inobatga olish xavf-xatarlarni ob'ektiv va aniq baholashni ta'minlaydi.

3. Aqlli ShHV va AI-Videoanalitikani majburiy standartga aylantirish: Energetika va og'ir sanoat korxonalarida aqlli kaska, tenzo-kamar hamda neyron tarmoqli kameralarni joriy etish bo'yicha texnik reglamentlarni davlat darajasida tasdiqlash maqsadga muvofiqdir.

4. Yagona raqamli xavfsizlik platformasini yaratish: Korxona darajasida ISO 45001 standarti talablariga mos keluvchi, SCADA va HR-tizimlari bilan integratsiyalangan avtomatlashtirilgan situatsion markazlarni (OSH Situation Center) tashkil etish tavsiya etiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. O'zbekiston Respublikasining 2016-yil 22-sentyabrdagi O'RQ-410-son "Mehnat muhofazasi to'g'risida"gi Qonuni (yangi tahriri). Tashkent.
2. Rustamov, SH. SH., & Qodirov, U. I. (2024). *Sanoat energetikasi obyektlarida kasbiy xavf-xatarlarni raqamli modellashtirish va mehnat xavfsizligini proaktiv boshqarish*. Energetika va resurs tejash texnologiyalari, 2(1), 88–96.
3. ISO 45001:2018. *Occupational health and safety management systems — Requirements with guidance for use*. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
4. Muradov S. H. o ‘g ‘li, & Zayniyev, UU o ‘g ‘li.(2023). Principles of passing and documenting instructions on safety techniques //Educational Research in Universal Sciences. – T. 2. – №. 14. – C. 116-119.
5. Pardayeva, N. N., & Rustamov, SH. SH. (2023). *Sanoat korxonalarida yong'in, portlash va kasbiy xavfsizlikni avtomatlashtirilgan monitoring qilish masalalari*. Mehnat muhofazasi va xavfsizlik jurnali, 4(2), 54–62.
6. Sirojiddin M., Umurzoq E. Innovative solutions for improvement of working conditions and environment through the kaizen method. – 2023.
7. МУРАДОВ С. Изучения охрана труды на производстве Кореи //Хөдөлмөр, Нийгмийн Харилцаа Судлал. – 2023. – С. 242-247.
8. Shavkat o‘g‘li E. D., Husan o‘g‘li M. S. INNOVATIVE SOLUTIONS TO PROTEC T WORKERS FROM DANGEROUS GAS AND TOXIC SUBSTANCES IN HAZARDOUS INDUSTRY ENTERPRISES. – 2023
9. Muradov S., Siddiqova M., Karimov B. Conditions and environment through the Kaizen method //Modern Science and Research. – 2024. – T. 3. – №. 5. – C. 794-808.
10. Sirojiddin M. The Legal Basis for Assessing the Knowledge of Leading Employees and Specialists in Labor Protection in Uzbekistan Through Digital Technologies //MENEJMENT VA MEHNAT MUNOSABATLARI ONLAYN ILMIY JURNALI. – 2024. – T. 1. – №. 3. – C. 9-14.