

Mehnat muhofazasi va texnika xavfsizligida Data Science texnologiyalarining o'ri va ahamiyati

Nozima Lazizjon-qizi Yuldasheva

Akmaljon Zohidjon-o'g'li Yoqubjonov

"Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti" Milliy Tadqiqot Universiteti

Annotatsiya: Ushbu maqolada mehnat muhofazasi va texnika xavfsizligi sohasida Data Science texnologiyalarining tutgan o'ri, ahamiyati va amaliy qo'llanilish yo'nalishlari ilmiy jihatdan tahlil qilingan. Zamonaviy sanoat korxonalarida baxtsiz hodisalar sonini kamaytirish, xavfli vaziyatlarni oldindan aniqlash va ishchilar hayotini muhofaza qilish borasida mashinali o'qitish, chuqur o'qitish, kompyuter ko'rish, IoT sensorlari va bashoratli tahlil kabi zamonaviy texnologiyalarning imkoniyatlari ko'rib chiqildi. Tadqiqotda an'anaviy mehnat muhofazasi usullari bilan raqamli texnologiyalarga asoslangan yondashuvlar qiyosiy tahlil qilindi, shuningdek zavod, qurilish, konchilik va energetika sohalaridan amaliy misollar keltirildi. Maqola natijalari Data Science texnologiyalarining mehnat sharoitini yaxshilash, ishlab chiqarish xavfsizligini oshirish va iqtisodiy yo'qotishlarni kamaytirishda muhim vosita ekanligini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: mehnat muhofazasi, texnika xavfsizligi, Data Science, Machine Learning, Deep Learning, Predictive Analytics, Computer Vision, IoT, Predictive Maintenance, Industry 4.0, Digital Twin, baxtsiz hodisalar

The role and importance of Data Science technologies in occupational health and safety

Nozima Lazizzjon-kyzi Yuldasheva

Akmaljon Zohidjon-o'gli Yokubjonov

National Research University "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers"

Abstract: This article scientifically analyzes the role, significance, and practical applications of Data Science technologies in the field of occupational health and safety. The capabilities of modern technologies such as machine learning, deep learning, computer vision, IoT sensors, and predictive analytics are examined in terms of reducing the number of accidents, predicting hazardous situations, and protecting workers' lives in modern industrial enterprises. The study provides a comparative

analysis of traditional occupational safety methods and digital technology-based approaches, while also presenting practical examples from manufacturing, construction, mining, and energy sectors. The results of the article indicate that Data Science technologies serve as an essential tool for improving working conditions, increasing production safety, and reducing economic losses.

Keywords: occupational health, safety engineering, Data Science, Machine Learning, Deep Learning, Predictive Analytics, Computer Vision, IoT, Predictive Maintenance, Industry 4.0, Digital Twin, accidents

KIRISH

Jahon Mehnat Tashkiloti (ILO) ma'lumotlariga ko'ra, har yili dunyo bo'ylab 2,78 milliondan ortiq ishchi mehnat sharoiti bilan bog'liq baxtsiz hodisalar va kasbiy kasalliklar oqibatida halok bo'ladi, yana 374 milliondan ortiq ishchi og'ir bo'lmagan jarohatlarni oladi.

Bu ko'rsatkichlarning katta qismi qurilish, konchilik, energetika va og'ir sanoat tarmoqlariga to'g'ri kelmoqda. An'anaviy mehnat muhofazasi tizimlari asosan davriy tekshiruvlar, me'yoriy hujjatlar va inspektorlarning tajribasiga tayangan holda tashkil etilgan bo'lib, ular ko'pincha hodisa allaqachon yuz berganidan so'ng amalga oshiriladigan tahlilga asoslanadi. Bunday yondashuv reaktiv xarakterga ega bo'lib, xavfni oldindan bartaraf etish imkoniyatini cheklaydi.

So'nggi o'n yillikda raqamli iqtisodiyot va Industry 4.0 kontsepsiyasining rivojlanishi bilan Data Science texnologiyalari - xususan, mashinali o'qitish, chuqur o'qitish, katta ma'lumotlar tahlili, IoT sensorlari va kompyuter ko'rish tizimlari - mehnat muhofazasi sohasida keng qo'llanila boshlandi. Ushbu texnologiyalar sanoat korxonalarida yig'iladigan ulkan hajmdagi ma'lumotlarni real vaqt rejimida tahlil qilish, xavf omillarini erta bosqichda aniqlash va profilaktik chora-tadbirlarni ishlab chiqish imkonini beradi.

Mazkur maqolaning maqsadi - mehnat muhofazasi va texnika xavfsizligi sohasida Data Science texnologiyalarining nazariy asoslarini, amaliy qo'llanilish yo'nalishlarini hamda ularning afzalliklari va cheklovlarini tizimli tahlil qilishdan iborat. Tadqiqot vazifalari sifatida quyidagilar belgilandi: mehnat muhofazasi va Data Science tushunchalarining nazariy jihatlarini yoritish; bashoratli tahlil, mashinali o'qitish, IoT monitoringi, kompyuter ko'rish va bashoratli texnik xizmat ko'rsatish texnologiyalarining amaliy imkoniyatlarini ko'rsatish; turli sohalardan real misollar orqali ularning samaradorligini asoslash; kelajakdagi rivojlanish yo'nalishlarini belgilash.

MEHNAT MUHOFAZASI VA TEXNIKA XAVFSIZLIGINING NAZARIY ASOSLARI

Mehnat muhofazasi - ishlab chiqarish jarayonida ishchilarning hayoti va sog'lig'ini saqlashga qaratilgan huquqiy, tashkiliy-texnik, sanitariya-gigiyenik va davolash-profilaktika tadbirlari tizimidir. Texnika xavfsizligi esa ushbu tizimning tarkibiy qismi bo'lib, ishlab chiqarish jihozlari, texnologik jarayonlar va ish joylarini xavfsiz ekspluatatsiya qilish qoidalarini o'rganadi va amalda tatbiq etadi.

Mehnat muhofazasi nazariyasida xavf (risk) tushunchasi markaziy o'rin egallaydi. Xavf - muayyan zararli omil ta'sirida jarohat yoki kasallik yuz berish ehtimoli va uning og'irlik darajasi kombinatsiyasi sifatida belgilanadi. Klassik yondashuvda xavfni boshqarish jarayoni to'rt bosqichdan iborat: xavfni aniqlash, uni baholash, boshqarish choralarini rejalashtirish va nazorat qilish. Ushbu bosqichlarning barchasida ma'lumotlarning to'g'ri yig'ilishi va tahlil qilinishi hal qiluvchi ahamiyatga ega, chunki noaniq yoki yetarli bo'lmagan ma'lumotlar asosida qabul qilingan qarorlar xavfni past baholashga olib kelishi mumkin.

An'anaviy mehnat muhofazasi tizimlarining asosiy kamchiligi shundaki, ular ko'proq retrospektiv (orqaga qarab) tahlilga tayanadi - ya'ni hodisa yuz berganidan keyin uning sabablari o'rganiladi va shunga mos chora ko'riladi. Zamonaviy sharoitda esa proaktiv, ya'ni hodisa yuz berishidan oldin xavfni bashorat qilishga asoslangan yondashuvlarga ehtiyoj ortib bormoqda. Aynan shu ehtiyoj Data Science texnologiyalarining mehnat muhofazasi sohasiga kirib kelishiga asos bo'ldi.

DATA SCIENCE TUSHUNCHASI VA UNING ASOSIY KOMPONENTLARI

Data Science (ma'lumotlar ilmi) - statistika, matematika, dasturlash va sohaviy bilimlarni birlashtirgan holda, xom ma'lumotlardan foydali bilim va bashoratlar chiqarishga qaratilgan fanlararo yo'nalishdir. Sodda qilib aytganda, Data Science - bu katta hajmdagi ma'lumotlarni yig'ish, tozalash, tahlil qilish va ulardan amaliy xulosalar chiqarish jarayonidir.

Data Science tarkibiga bir necha asosiy komponent kiradi. Machine Learning (mashinali o'qitish) - kompyuter tizimlariga aniq dasturlashtirilmagan holda, ma'lumotlar asosida qonuniyatlarni aniqlash va bashorat qilishni o'rgatuvchi usullar majmuidir. Deep Learning (chuqur o'qitish) esa mashinali o'qitishning bir turi bo'lib, inson miyasi neyronlari tuzilishiga o'xshash ko'p qatlamli sun'iy neyron tarmoqlaridan foydalanadi va u tasvir, ovoz, matn kabi murakkab, tuzilmalanmagan ma'lumotlarni tahlil qilishda ayniqsa samarali hisoblanadi.

Predictive Analytics (bashoratli tahlil) - tarixiy ma'lumotlar, statistik algoritmlar va mashinali o'qitish usullaridan foydalanib, kelajakda yuz berishi mumkin bo'lgan hodisalar ehtimolini aniqlashga xizmat qiladi. Computer Vision (kompyuter ko'rish) - kompyuter tizimlariga rasm va video ma'lumotlarni inson ko'zi kabi "ko'rish" va tahlil qilish imkonini beruvchi sun'iy intellekt yo'nalishidir. IoT (Internet of Things - narsalar interneti) - jismoniy obyektlarga o'rnatilgan sensorlar orqali ma'lumotlarni real vaqtda internet orqali uzatish va tahlil qilish tizimidir. Predictive Maintenance

(bashoratli texnik xizmat ko'rsatish) esa uskunalarining texnik holatini sensor ma'lumotlari asosida uzluksiz kuzatib borish va nosozlik yuz berishidan oldin ta'mirlash ishlarini rejalashtirish usulidir.

Ushbu komponentlarning barchasi birgalikda mehnat muhofazasi sohasida yaxlit raqamli ekotizimni tashkil etadi: IoT sensorlari ma'lumot yig'adi, Big Data infratuzilmasi uni saqlaydi, Machine Learning va Deep Learning algoritmlari tahlil qiladi, Predictive Analytics xulosa chiqaradi, natijada esa ishchilarga yoki mas'ul xodimlarga real vaqtda ogohlantirish yuboriladi.

DATA SCIENCE TEXNOLOGIYALARINING MEHNAT MUHOFAZASIDAGI QO'LLANILISHI

Data Science texnologiyalarining mehnat muhofazasidagi qo'llanilishi bir necha yo'nalishda amalga oshiriladi. Birinchidan, korxonalarda yig'ilgan tarixiy hodisalar bazasi (baxtsiz hodisalar, jarohatlanish turlari, ish staji, lavozim, ob-havo sharoiti va boshqa omillar) asosida xavf omillarini aniqlash va tasniflash mumkin. Ikkinchidan, real vaqt rejimidagi sensor ma'lumotlari orqali xavfli holatlarni zudlik bilan aniqlash imkoniyati yaratiladi. Uchinchidan, video kuzatuv tizimlaridan olingan tasvirlarni tahlil qilish orqali shaxsiy himoya vositalaridan foydalanish holati nazorat qilinadi.

Tadqiqotchilar tomonidan olib borilgan tahlillarga ko'ra, mashinali o'qitishga asoslangan bashoratli modellar ilg'or ko'rsatkichlarni (leading indicators) aniqlash va turli xavf omillarini ajratib olish imkoniyatiga ega bo'lgani sababli, so'nggi yillarda mehnat xavfsizligi sohasida keng qo'llanilib kelinmoqda.

Quyidagi jadvalda mehnat muhofazasida qo'llaniladigan asosiy Data Science texnologiyalari, ularning bajaradigan vazifalari va amaliy qo'llanilish misollari keltirilgan.

1-jadval.

Mehnat muhofazasida qo'llaniladigan asosiy Data Science texnologiyalari

Texnologiya	Bajaradigan vazifasi	Amaliy qo'llanilish misoli
Predictive Analytics (bashoratli tahlil)	Tarixiy hodisalar bo'yicha kelajakdagi xavf ehtimolini hisoblash	Konchilik korxonasida shaxta ichidagi gaz portlashi ehtimolini oldindan baholash
Machine Learning (mashinali o'qitish)	Katta hajmdagi mehnat sharoiti ma'lumotlari asosida xavf toifalarini aniqlash	Qurilish maydonchasida yiqilish xavfi yuqori bo'lgan ish o'rinlarini tasniflash
Computer Vision (kompyuter ko'rish)	Video oqim orqali SHV taqilganligini real vaqtda nazorat qilish	YOLO algoritmi yordamida kaska va himoya yeleti kiyilganini avtomatik aniqlash
IoT sensorlari	Harorat, gaz, tebranish va boshqa fizik ko'rsatkichlarni uzluksiz o'lchash	Kimyo zavodida zaharli gaz kontsentratsiyasini onlayn kuzatish
Predictive Maintenance (bashoratli texnik xizmat)	Uskunaning nosozlikka yaqinlashganini tebranish va harorat ma'lumotlari orqali aniqlash	Energetika stansiyasida transformatorning ishdan chiqishini 2-3 hafta oldin bashorat qilish
Deep Learning (chuqur o'qitish)	Murakkab, ko'p qatlamli neyron tarmoqlar orqali tasvir va signallarni tahlil qilish	Konveyer liniyasida ishchi harakatidagi nostandart pozani aniqlash

BAXTSIZ HODISALARNI BASHORAT QILISH (PREDICTIVE ANALYTICS)

Predictive Analytics texnologiyasi mehnat muhofazasida eng istiqbolli yo'nalishlardan biri hisoblanadi. Bu usul tarixiy hodisalar bazasidagi qonuniyatlarni o'rganib, kelajakda muayyan ish joyida yoki muayyan ishchi guruhida baxtsiz hodisa yuz berish ehtimolini raqamli ko'rsatkich (masalan, foiz yoki ball) shaklida ifodalaydi.

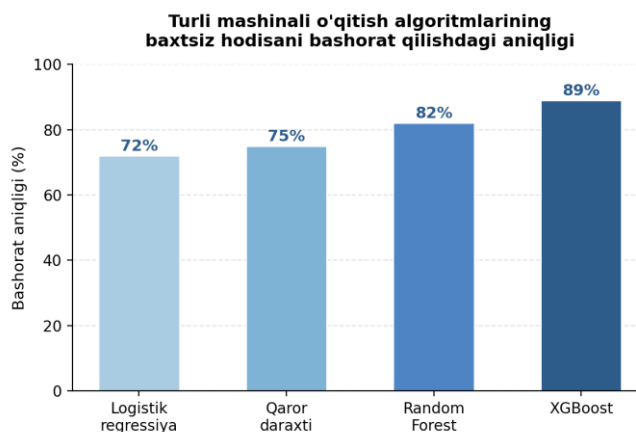
Amaliy misol sifatida Turkiya qurilish sektorida 338 173 ta baxtsiz hodisa asosida olib borilgan tadqiqotni keltirish mumkin, unda tasodifiy o'rmon (random forest) algoritmi, zarrachalar to'dasi optimizatsiyasi va SHAP tahlili birgalikda qo'llanilib, ishchining yoshi, lavozimi, tajribasi, maoshi va oldingi hodisalar tarixi kabi omillarning xavf darajasiga ta'sirini aniqlashga muvaffaq bo'lingan.

Predictive Analytics tizimlari, odatda, quyidagi ma'lumot turlaridan foydalanadi: ishchining demografik ko'rsatkichlari, ish staji va malakasi, oldingi hodisalar tarixi, ish joyining fizik-kimyoviy sharoitlari (harorat, yoritilganlik, shovqin darajasi), shuningdek ish jadvali va smena tartibi. Ushbu ma'lumotlar asosida qurilgan modellar yordamchi rahbarlarga qaysi ish joylari yoki qaysi ishchi guruhlari ustuvor e'tibor talab qilishini aniqlashga yordam beradi.

MASHINALI O'QITISH YORDAMIDA XAVFNI BAHOLASH

Machine Learning algoritmlari mehnat xavfsizligida xavfni baholashning aniqligini sezilarli darajada oshiradi. Logistik regressiya, qaror daraxtlari, tasodifiy o'rmon (random forest), kuchaytirish (boosting) modellari va neyron tarmoqlar kabi algoritmlar mehnat sharoiti ma'lumotlarini tahlil qilib, xavf darajasini past, o'rta va yuqori toifalarga ajratadi.

Janubiy Koreya qurilish maydonchalarida o'tkazilgan tadqiqotda tasodifiy o'rmon modeli yordamida baxtsiz hodisalar turlarini yuqori aniqlik bilan bashorat qilish mumkinligi ko'rsatilgan. Saudiya Arabistonining Makka va Riyod hududlaridagi qurilish obyektlarida o'tkazilgan tadqiqotda esa XGBoost algoritmi hodisa og'irlik darajasini bashorat qilishda 89 foizgacha aniqlikka erishgan.



1-diagramma. Turli mashinali o'qitish algoritmlarining bashorat aniqligi (adabiyotlar asosida umumlashtirilgan, %).

Amaliy jihatdan, mashinali o'qitish modellari korxonalarda quyidagi vazifalarni bajaradi: xavfi yuqori ish o'rinlarini aniqlash, ishchilarni xavf darajasiga qarab tasniflash, smena bo'yicha xavf tendentsiyalarini kuzatish. Bunday tizimlar mutaxassislarga cheklangan resurslarni eng xavfli hududlarga yo'naltirish imkonini beradi.

COMPUTER VISION YORDAMIDA SHAXSIY HIMOYA VOSITALARINI NAZORAT QILISH

Kompyuter ko'rish texnologiyasi, xususan chuqur o'qitishga asoslangan obyektlarni aniqlash algoritmlari (masalan, YOLO oilasiga mansub modellar), qurilish va sanoat obyektlarida shaxsiy himoya vositalaridan (SHV) foydalanish holatini avtomatik nazorat qilishda keng qo'llanilmoqda.

Bunday tizimlar video kamera orqali olingan tasvirlarni real vaqtda tahlil qilib, ishchida kaska, himoya ko'zoynagi, yelet yoki qo'lqop borligini yoki yo'qligini aniqlaydi. Agar biror ishchi zarur himoya vositasiz aniqlansa, tizim mas'ul xodimga avtomatik ogohlantirish yuboradi yoki hodisani jurnalga qayd etadi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, chuqur neyron tarmoqlar asosidagi kaska va himoya kiyimlarini aniqlash tizimlari yuqori aniqlik darajasiga erishgan va real vaqt rejimida ishlash imkoniyatiga ega.

Bundan tashqari, kompyuter ko'rish tizimlari ishchining tanasi holatini (pozasini) tahlil qilib, yiqilish xavfi yoki nostandart harakatlarni ham aniqlay oladi, bu esa ayniqsa balandlikda ishlash sharoitlarida muhim ahamiyat kasb etadi.

PREDICTIVE MAINTENANCE YORDAMIDA USKUNALAR NOSOZLIGINI OLDINDAN ANIQLASH

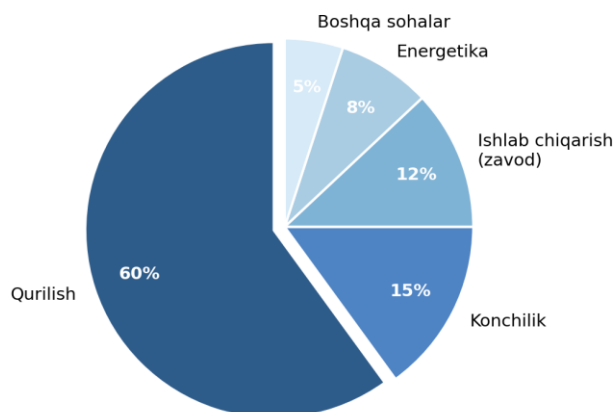
Sanoat uskunalarining kutilmagan ishdan chiqishi nafaqat ishlab chiqarish jarayonini to'xtatadi, balki jiddiy baxtsiz hodisalarga ham sabab bo'lishi mumkin. Predictive Maintenance texnologiyasi uskunalariga o'rnatilgan sensorlardan olingan tebranish, harorat, bosim va energiya iste'moli ma'lumotlarini mashinali o'qitish algoritmlari orqali tahlil qilib, nosozlik yuz berishidan oldin uni bashorat qiladi.

Energetika sohasida, masalan, transformator va generatorlarning tebranish va issiqlik ko'rsatkichlari uzluksiz kuzatilib, ularning ishdan chiqishi bir necha hafta oldin bashorat qilinishi mumkin. Bu esa ta'mirlash ishlarini rejali tarzda, ishchilar uchun xavfsiz sharoitda o'tkazish imkonini beradi. An'anaviy "rejali profilaktik ta'mirlash" usulida uskunalar belgilangan jadval bo'yicha ta'mirlanadi, garchi ular hali nosoz bo'lmasa ham, yoki aksincha, kutilmagan avariya yuz berishi mumkin. Predictive Maintenance esa ushbu ikki holatning ham oldini olib, ta'mirlashni aynan zarur bo'lgan vaqtda amalga oshirish imkonini yaratadi, natijada ham xavfsizlik, ham iqtisodiy samaradorlik oshadi.

ZAVOD, QURILISH, KONCHILIK, ENERGETIKA VA BOSHQA SOHALARDAN AMALIY MISOLLAR

ILO ma'lumotlariga ko'ra, baxtsiz hodisalarning katta qismi qurilish sektoriga to'g'ri keladi, qolgan qismi esa konchilik, ishlab chiqarish, energetika va boshqa sohalar o'rtasida taqsimlanadi. Bu taqsimot quyidagi diagrammada aks ettirilgan.

Baxtsiz hodisalarning tarmoqlar bo'yicha taxminiy taqsimoti (%)



2-diagramma. Baxtsiz hodisalarning tarmoqlar bo'yicha taxminiy taqsimoti (ILO ma'lumotlari asosida).

Zavod va ishlab chiqarish korxonalarida Data Science texnologiyalari konveyer liniyalaridagi ishchi harakatlarini kompyuter ko'rish orqali kuzatish, uskunalar nosozligini bashorat qilish va xavfsizlik ko'rsatkichlarini tahlil qilishda qo'llaniladi.

Qurilish sohasida kaska va himoya kiyimlarini aniqlash tizimlari, shuningdek yiqilish xavfini bashorat qiluvchi modellar keng tarqalgan. Bundan tashqari, dronlar yordamida qurilish maydonchasining balandlikdagi qismlari masofadan kuzatiladi va olingan tasvirlar kompyuter ko'rish algoritmlari orqali tahlil qilinadi.

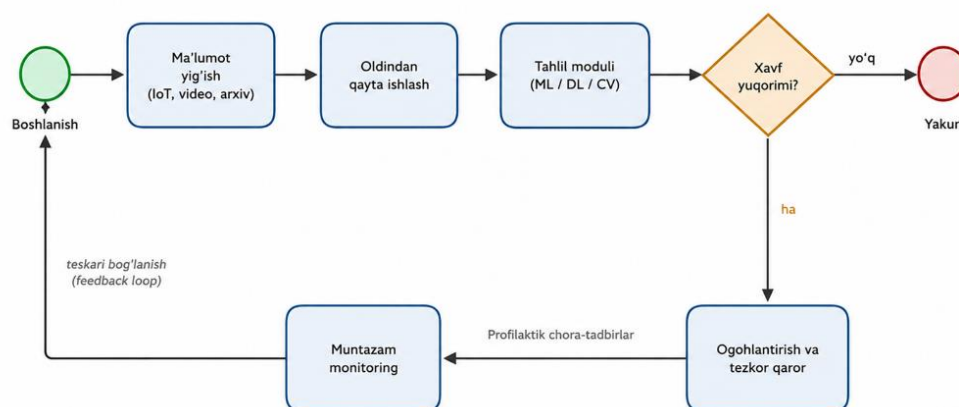
Konchilik sohasida IoT sensorlari orqali shaxta ichidagi gaz tarkibi, harorat va namlik nazorat qilinadi, bashoratli modellar portlash yoki zaharlanish xavfini aniqlaydi. Energetika sohasida transformator va tarmoqlarning texnik holati bashoratli texnik xizmat ko'rsatish tizimlari orqali kuzatiladi. Transport sohasida esa haydovchining charchoq holati mashinali o'qitish modellari yordamida tahlil qilinmoqda.

Ushbu misollarning barchasi shuni ko'rsatadiki, Data Science texnologiyalari soha xususiyatidan qat'i nazar, mehnat muhofazasi tizimining barcha bosqichlarida samarali qo'llanilishi mumkin.

Jarayonning sxematik (BPMN uslubidagi) tasviri

Mehnat muhofazasida Data Science texnologiyalarining ishlash jarayoni quyidagi sxemada aks ettirilgan: ma'lumot yig'ish va qayta ishlashdan boshlanib, ML/DL/CV algoritmlari orqali tahlil qilinadi, so'ngra xavf darajasi baholanadi (gateway) va natijaga qarab ogohlantirish yoki muntazam monitoring bosqichiga yo'naltiriladi, yakunda esa profilaktik chora-tadbirlar qo'llaniladi va teskari bog'lanish orqali jarayon takomillashib boradi.

Mehnat muhofazasida Data Science jarayonining sxematik (BPMN uslubidagi) tasviri



3-diagramma. Mehnat muhofazasida Data Science jarayonining BPMN uslubidagi sxemasi.

DATA SCIENCE TEXNOLOGIYALARINING AFZALLIKLARI VA KAMCHILIKLARI

An'anaviy mehnat muhofazasi usullari bilan Data Science texnologiyalariga asoslangan zamonaviy yondashuvlar o'rtasidagi farqlarni yanada aniqroq tasavvur qilish uchun quyidagi qiyosiy jadvalni keltirish maqsadga muvofiqdir.

Mezon	An'anaviy mehnat muhofazasi usuli	Data Science asosidagi usul
Nazorat turi	Davriy tekshiruvlar, jadval asosida	Uzluksiz, real vaqt rejimidagi monitoring
Qaror qabul qilish asosi	Inspektor tajribasi va vizual kuzatuv	Statistik model va ma'lumotlarga asoslangan bashorat
Xavfni aniqlash vaqti	Ko'pincha hodisa yuz berganidan keyin	Hodisa yuz berishidan oldin, profilaktik tarzda
Ma'lumot hajmi	Cheklangan, qog'oz hujjatlar	Katta hajmdagi, ko'p manbali raqamli ma'lumotlar (Big Data)
Xatolik ehtimoli	Inson omiliga bog'liq, subyektiv	Algoritmik aniqlik yuqori, lekin ma'lumot sifatiga bog'liq
Xarajat samaradorligi	Uzoq muddatda yuqori (qayta-qayta ta'mirlash, jarima)	Dastlabki investitsiya yuqori, ammo uzoq muddatda tejamkor

2-jadval. An'anaviy mehnat muhofazasi usullari va Data Science asosidagi usullarning qiyosiy tahlili

Data Science texnologiyalarining mehnat muhofazasidagi qo'llanilishi bir qator sezilarli afzalliklarga ega. Birinchidan, bu texnologiyalar xavfni oldindan aniqlash imkonini beradi, bu esa reaktiv yondashuvdan proaktiv yondashuvga o'tishni ta'minlaydi. Ikkinchidan, real vaqt rejimidagi monitoring inson omiliga bog'liq xatoliklarni kamaytiradi. Uchinchidan, katta hajmdagi ma'lumotlarni tahlil qilish orqali yashirin qonuniyatlarni aniqlash mumkin bo'ladi, bu esa an'anaviy usullar bilan amalga oshirib bo'lmaydigan darajadagi tahlil chuqurligini ta'minlaydi. To'rtinchidan, uzoq muddatli istiqbolda ushbu texnologiyalar baxtsiz hodisalar va uskunalar avariya tufayli yuzaga keladigan iqtisodiy yo'qotishlarni sezilarli darajada kamaytiradi.

Shu bilan birga, bir qator jiddiy cheklovlar ham mavjud. Birinchidan, bunday tizimlarni joriy etish yuqori boshlang'ich investitsiyani talab qiladi - sensorlar, dasturiy ta'minot va malakali kadrlar tayyorlash uchun mablag' zarur. Ikkinchidan, modellarning aniqligi ma'lumotlar sifatiga bevosita bog'liq bo'lib, to'liq bo'lmagan yoki noto'g'ri ma'lumotlar noto'g'ri bashoratlarga olib kelishi mumkin. Uchinchidan, ma'lumotlar maxfiyligi va xavfsizligi masalasi dolzarb bo'lib qolmoqda, chunki ishchilar haqidagi shaxsiy ma'lumotlarning noto'g'ri qo'llanilishi huquqiy va axloqiy muammolarni keltirib chiqarishi mumkin. To'rtinchidan, ba'zi hollarda algoritmlarning qarorlari "qora quti" (black box) xarakteriga ega bo'lib, ularning nima uchun aynan shunday xulosaga kelganini tushuntirish qiyin bo'lishi mumkin, bu esa mutaxassislar tomonidan ishonchni pasaytirishi mumkin.

KELAJAK ISTIQBOLLARI (SUN'IY INTELLEKT, INDUSTRY 4.0, DIGITAL TWIN, SMART FACTORY)

Industry 4.0 kontseptsiyasining rivojlanishi bilan sun'iy intellekt, katta ma'lumotlar va IoT texnologiyalari ishlab chiqarish sohasida keng qo'llanilib, samaradorlikni oshirish bilan birga mehnat muhofazasi va sog'liqni saqlash uchun ham yangi imkoniyatlar va yangi noaniqliklarni yuzaga keltirmoqda.

Kelajakda mehnat muhofazasi sohasida Digital Twin (raqamli egizak) texnologiyasining roli ortib borishi kutilmoqda - bu texnologiya orqali real ishlab chiqarish jarayonining virtual nusxasi yaratilib, unda turli xavfli stsenariylarni real xodimlarga zarar yetkazmasdan simulyatsiya qilish va tahlil qilish mumkin bo'ladi. Shuningdek, Smart Factory (aqlli zavod) kontseptsiyasi doirasida barcha jarayonlar - ishlab chiqarishdan tortib xavfsizlik nazoratigacha - yagona raqamli tizimga integratsiyalashadi.

Generativ sun'iy intellekt va katta til modellarining rivojlanishi mehnat muhofazasi sohasida yangi imkoniyatlar ochmoqda - masalan, xavfsizlik hisobotlarini avtomatik tahlil qilish, tabiiy tilda savol-javob orqali xavfsizlik qoidalari bo'yicha maslahat berish va hodisalar tavsifidan avtomatik xulosa chiqarish. Kelajakda robototexnika bilan Data Science texnologiyalarining integratsiyasi, xususan xavfli ish joylarida odam o'rniga robotlarning ishlatilishi va ularning xavfsizligini ta'minlovchi aqlli tizimlarning rivojlanishi ham dolzarb yo'nalish bo'lib qolmoqda.

XULOSA

O'tkazilgan tahlil shuni ko'rsatadiki, Data Science texnologiyalari - mashinali o'qitish, chuqur o'qitish, bashoratli tahlil, IoT monitoringi, kompyuter ko'rish va bashoratli texnik xizmat ko'rsatish - zamonaviy mehnat muhofazasi va texnika xavfsizligi tizimining ajralmas qismiga aylanib bormoqda. Ushbu texnologiyalar an'anaviy, reaktiv yondashuvdan farqli o'laroq, xavfni oldindan aniqlash va profilaktik chora-tadbirlarni ko'rish imkonini beradi, bu esa baxtsiz hodisalar sonini va ulardan

kelib chiqadigan iqtisodiy hamda ijtimoiy yo'qotishlarni sezilarli darajada kamaytirishga xizmat qiladi.

Ushbu tadqiqotning amaliy ahamiyati shundaki, unda keltirilgan tizimli tahlil va amaliy misollar mehnat muhofazasi bo'yicha mutaxassislar, sanoat korxonalari rahbariyati va soha bo'yicha ta'lim oluvchi talabalar uchun Data Science texnologiyalarini joriy etishning nazariy va amaliy asoslarini tushunishga xizmat qiladi. Xususan, taqdim etilgan qiyosiy jadval va texnologiyalar tasnifi korxonalarda mehnat xavfsizligi tizimini raqamlashtirish bo'yicha strategik qarorlar qabul qilishda amaliy qo'llanma vazifasini bajarishi mumkin.

Kelgusi tadqiqotlar quyidagi yo'nalishlarda olib borilishi maqsadga muvofiq: O'zbekiston sanoat korxonalari misolida Data Science texnologiyalarini joriy etishning milliy xususiyatlarini o'rganish; mehnat muhofazasida qo'llaniladigan sun'iy intellekt tizimlarining etik va huquqiy jihatlarini tahlil qilish; kichik va o'rta korxonalar uchun arzon va moslashuvchan IoT-monitoring yechimlarini ishlab chiqish; hamda Digital Twin texnologiyasini mahalliy sanoat korxonalarida sinovdan o'tkazish bo'yicha amaliy tadqiqotlar olib borish.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. International Labour Organization (ILO). Facts and figures on occupational safety and health. Geneva: ILO, 2021.
2. Gondia A., Ezzeldin M., El-Dakhakhni W. A new machine learning framework for occupational accidents forecasting with safety inspections integration // Safety Science, 2023.
3. Kang K., Ryu H. Predicting types of occupational accidents at construction sites in Korea using random forest model // Safety Science, Vol. 120, 2019. P. 226-236.
4. Kim J., Yum S., Adhikari M., Bae J. A deep-learning approach to leveling construction site safety data // Journal of Big Data, 2024.
5. Zhu J. et al. Developing predictive models of construction fatality characteristics using machine learning // Safety Science, Vol. 164, 2023. Art. 106149.
6. Maheronnaghsh M., Karimi A., Ghahramani R. Machine learning in occupational safety and health: a systematic review // Safety Science, Vol. 158, 2023. Art. 105998.
7. Cavalcanti R., Silva M., Santos P. Construction accident prevention: a systematic review of machine learning approaches // Automation in Construction, Vol. 146, 2023. Art. 104785.
8. Chaudhry A., Choudhury S. Clinical applications of artificial intelligence in occupational health: a systematic literature review // Occupational Medicine & Health Affairs, Vol. 12, No. 1, 2024. P. 1-15.

9. Hayat A., Morgado-Dias F. Deep learning-based automatic safety helmet detection system for construction safety // *Applied Sciences*, Vol. 12, 2022. Art. 8268.
10. Delhi V.S.K., Sankarlal R., Thomas A. Detection of personal protective equipment (PPE) compliance on construction site using computer vision based deep learning techniques // *Frontiers in Built Environment*, Vol. 6, 2020. Art. 136.
11. Novakovic A. et al. A systematic review of computer vision-based personal protective equipment compliance in industry practice: advancements, challenges and future directions // *Artificial Intelligence Review*, Vol. 57, No. 12, 2024. Art. 319.
12. Chen Z., Chen H., Imani M., Chen R., Imani F. Vision language model for interpretable and fine-grained detection of safety compliance in diverse workplaces // *Expert Systems with Applications*, Vol. 265, 2025. Art. 125769.
13. Song X., Yang B. Big data, artificial intelligence and IoT integration in smart manufacturing and occupational safety and health // *Journal of Manufacturing Systems*, 2021.
14. Xolmatov Sh.I., Karimov A.A. Sanoat korxonalarida mehnat muhofazasini raqamlashtirish masalalari. Toshkent: TDTU, 2023.