ISNN 3030-3907

2026
JUNE
ISSUE - 6
VOLUME -3

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

IYUN 2026
Issue - 6, VOLUME – 3

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

UDK: 331.45:004.9:005.6

ISHLAB CHIQARISH KORXONALARIDA MEHNAT MUHOFAZASINI RAQAMLI BOSHQARUV TEXNOLOGIYALARI ASOSIDA TAKOMILLASHTIRISH: ZAMONAVIY YONDASHUVLAR TAHLILI

Kosimova Shaxnoza Erkinovna.
Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya. Maqolada ishlab chiqarish korxonalarida mehnat muhofazasini an'anaviy boshqarish usullarining cheklovlari va zamonaviy raqamli texnologiyalar (IoT, Big Data, sun'iy intellekt, mashinaviy o'qitish) asosidagi boshqaruv yondashuvlarining ustunliklari 20 ta xalqaro ilmiy manba tahlili asosida tizimli ravishda o'rganildi. Safety 4.0 texnologik stackning 5 qatlamli arxitekturasi, an'anaviy risk baholash usullari (HAZOP, FMEA, FTA, Bow-Tie, JSA) va ularning cheklovlari, mashinaviy o'qitish algoritmlarining bashorat aniqligi (XGBoost algoritmi 89% gacha), global IoT xavfsizlik bozorining dinamikasi (2024-yilda 35,60 mlrd USD, 2034-yilga qadar 383,11 mlrd USDgacha, CAGR 26,82%) tahlil qilindi. Rivojlangan mamlakatlar (Germaniya, AQSh, Xitoy), Rossiya Federatsiyasi va O'zbekiston Respublikasidagi raqamlashtirish amaliyoti qiyoslandi. Tadqiqotning ilmiy gipotezasi — integratsiyalashgan raqamli boshqaruv algoritmlari baxtsiz hodisalarni 30–40% ga kamaytirishi — asoslab berilgan.

Kalit so'zlar: mehnat muhofazasi, OHSMS, Safety 4.0, Sanoat 4.0, IoT, Big Data, mashinaviy o'qitish, XGBoost, wearable sensorlar, raqamli boshqaruv, lagging va leading indikatorlar.

Annotation. The article systematically examines the limitations of traditional occupational safety management methods in industrial enterprises and the advantages of modern management approaches based on digital technologies (IoT, Big Data, artificial intelligence, machine learning), drawing on an analysis of 20 international scientific sources. The five-layer architecture of the Safety 4.0 technological stack, traditional risk assessment methods (HAZOP, FMEA, FTA, Bow-Tie, JSA) and their limitations, the predictive accuracy of machine learning algorithms (up to 89% for the XGBoost algorithm), and the dynamics of the global IoT safety market (USD 35.60 billion in 2024, projected to reach USD 383.11 billion by 2034, CAGR 26.82%) are analyzed. The digitalization practices in developed countries (Germany, USA, China), the Russian Federation, and the Republic of Uzbekistan are compared. The scientific hypothesis of the study—that integrated digital management algorithms can reduce accidents by 30–40%—is substantiated.

Keywords: occupational safety, OHSMS, Safety 4.0, Industry 4.0, IoT, Big Data, machine learning, XGBoost, wearable sensors, digital management, lagging and leading indicators.

Аннотация. В статье системно исследованы ограничения традиционных методов управления охраной труда на производственных предприятиях и преимущества современных подходов управления, основанных на цифровых технологиях (IoT, Big Data, искусственный интеллект, машинное обучение), на основе анализа 20 международных научных источников. Проанализированы пятиуровневая архитектура технологического стека Safety 4.0, традиционные методы оценки рисков (HAZOP, FMEA, FTA, Bow-Tie, JSA) и их ограничения, точность прогнозирования алгоритмов машинного обучения (до 89% для алгоритма XGBoost), а также динамика глобального рынка IoT-безопасности (35,60 млрд долл. США в 2024 году с прогнозом до 383,11 млрд долл. США к 2034 году, CAGR 26,82%). Сравнены практики цифровизации в развитых странах (Германия, США, Китай), Российской Федерации и Республике Узбекистан. Обоснована научная гипотеза исследования о том, что интегрированные цифровые алгоритмы управления способны снизить количество несчастных случаев на 30–40%.

Ключевые слова: охрана труда, OHSMS, Safety 4.0, Индустрия 4.0, IoT, Big Data, машинное обучение, XGBoost, носимые сенсоры, цифровое управление, запаздывающие и опережающие индикаторы.

1. KIRISH.

Zamonaviy ishlab chiqarish korxonalarida mehnat muhofazasini boshqarish tizimi (Occupational Health and Safety Management System — OHSMS) jiddiy transformatsiya arafasida turibdi. So'nggi 40 yil davomida xalqaro amaliyotda ishlab chiqilgan an'anaviy yondashuvlar — OHSAS 18001, ISO 45001, HAZOP, FMEA, FTA metodologiyalari — Sanoat 4.0 davri talablariga to'liq javob bera olmayotganligi ko'plab tadqiqotlarda tasdiqlangan [1; 331]. Ushbu tizimlarning asosiy cheklovlari: reaktiv tabiat, sub'ektivlik, davriy monitoringning yetishmasligi va katta resurs talab qilishi hisoblanadi.

Shu bilan birga, so'nggi o'n yil davomida raqamli texnologiyalar — Narsalar interneti (IoT), katta ma'lumotlar (Big Data), sun'iy intellekt (AI), mashinaviy o'qitish (ML), raqamli egizaklar (Digital Twins) va wearable qurilmalar jadal rivojlanib, mehnat muhofazasi sohasida "Safety 4.0" yoki "OHS 4.0" deb nomlanuvchi yangi paradigmani shakllantirdi [2; 2]. Scienedirect jurnalida nashr etilgan keng qamrovli tizimli sharh (2026) 713 ta maqolani o'rganib, 2016–2024-yillarda nashr etilgan 331 ta peer-review tadqiqotni tanlagan va Safety 4.0 texnologik stack 5 qatlamdan iboratligini ko'rsatgan [3; 5].

ISSN 3030-3907

Tadqiqotning maqsadi — mehnat muhofazasini boshqarishning an'anaviy usullarining cheklovlarini sistematik tahlil qilish, zamonaviy raqamli texnologiyalarning OHS uchun qo'llanish imkoniyatlarini o'rganish va O'zbekiston sanoat korxonalari uchun raqamli boshqaruv algoritmlari asosidagi integratsiyalashgan tizim konsepsiyasini asoslab berish.

Tadqiqotning vazifalari: (1) an'anaviy risk baholash usullari (HAZOP, FMEA, FTA) va ularning cheklovlarini aniqlash; (2) Safety 4.0 texnologik stack arxitekturasini tahlil qilish; (3) mashinaviy o'qitish algoritmlarining baxtsiz hodisalarni bashorat qilishdagi samaradorligini baholash; (4) IoT va wearable qurilmalar bozorining rivojlanish tendentsiyalarini o'rganish; (5) turli davlatlardagi raqamlashtirish amaliyotini qiyoslash; (6) O'zbekiston sharoiti uchun takliflar ishlab chiqish.

2. MATERIALLAR VA USULLAR.

Tadqiqotda keng qamrovli adabiyot sharhi metodologiyasi qo'llanildi. Manba bazasi Scopus, Web of Science, MDPI, IEEE Xplore, Springer, Elsevier jurnallari hamda O'zbekiston va MDH davlatlarining ilmiy nashrlaridan tanlandi. Jami 20 ta ilmiy manba tahlilga jalb qilindi, ularning 15 tasi Scopus va Web of Science bazalarida indekslangan xalqaro maqolalar, 3 tasi me'yoriy-huquqiy hujjatlar (ISO 45001:2018, OSHA OHS 3885, O'zR Qonuni), 2 tasi ilmiy sharhlar (scoping/systematic reviews).

Kiritish mezonlari: (1) 2017–2026-yillarda nashr etilgan zamonaviy tadqiqotlar; (2) raqamli texnologiyalar va mehnat muhofazasi integratsiyasini qamrab olgan; (3) empirik yoki tizimli tahlil natijalarini o'z ichiga olgan. Alohida ahamiyat berilgan manbalar: Chiarini A. va boshqalarning (2026) Safety 4.0 texnologik stack bo'yicha tizimli sharhi [3], Alsharef A. va boshqalarning (2026) ML algoritmlari qiyoslash bo'yicha tadqiqoti [4], Qiu L. va boshqalarning (2025) IoT xavfsizlik bozori prognozi [5].

Tahlil usullari: (1) qiyosiy tahlil — an'anaviy va raqamli yondashuvlarni solishtirish; (2) bibliometrik yondashuv — iqtibos darajasini baholash; (3) kontent tahlili — turli texnologiyalarning qo'llanilish doiralarini o'rganish; (4) meta-tahlil elementlari — ML algoritmlarining samaradorligini qiyoslash. Natijalar 4 ta jadval va 4 ta rasmli chizma ko'rinishida tizimlashtirildi.

3. NATIJALAR.

3.1. An'anaviy risk baholash usullarining qiyosiy tahlili

An'anaviy mehnat muhofazasida risk baholash — markaziy jarayon bo'lib, so'nggi 70–80 yil davomida ko'plab usullar ishlab chiqilgan. Bu usullar uch guruhga ajratiladi: sifatli (HAZID, HAZOP, Bow-Tie), yarim miqdoriy (FMEA, risk matritsalari, LOPA) va miqdoriy (FTA, Monte-Carlo simulyatsiyalari) [6; 3].

ISSN 3030-3907

1-jadvalda eng keng qo'llanilayotgan an'anaviy risk baholash usullari va ularning cheklovlari qiyoslab tahlil qilingan.

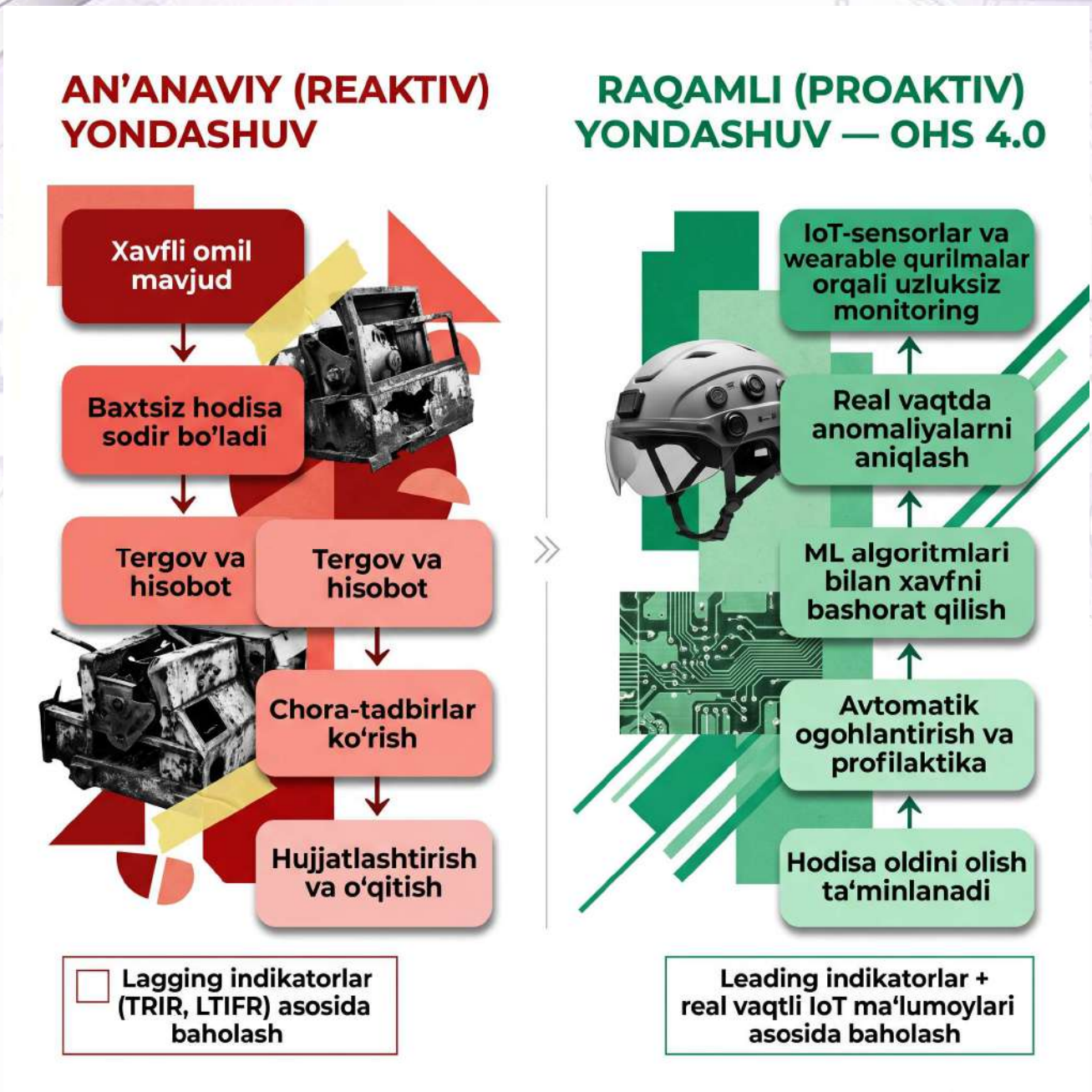
1-jadval.

An'anaviy risk baholash usullarining qiyosiy tavsifi va cheklovlari

Usul	Ishlatilish sohasi	Asosiy cheklovlari	Vaqt talabi	Iqtibos
HAZOP	Kimyo, neft-gaz, farmatsevtika — murakkab jarayonlar	Sub'ektiv baholash, ekspertlar guruhini talab qiladi, uzluksiz emas	Yuqori (hafta)	[7; 68]
FMEA	Avtomobilsozlik, aerokosmos, mashinasozlik	RPN — sub'ektiv, tizim dinamikasini aks ettirmaydi	O'rtacha (1-2 hafta)	[8; 3]
FTA	Murakkab texnik tizimlar, yadroviy energetika	Murakkab va qimmat; kombinatorial portlash muammosi	Yuqori (oylar)	[6; 5]
Bow-Tie	Neft-gaz, to'siqlar boshqaruvi	Miqdoriy tahlil yo'q; dinamik o'zgarishlarga moslashmagan	O'rtacha	[6; 7]
JSA	Individual ish joylari, qurilish	Faqat individual vazifalar uchun; katta ko'lamda qo'llashi qiyin	Past (1 kun)	[7; 67]

1-jadval tahlilidan ko'rinadiki, an'anaviy usullar oltita asosiy cheklovga duch keladi: (1) sub'ektivlik — ekspertlar fikriga qattiq bog'liqlik; (2) davriy xarakter — uzluksiz monitoring emasligi; (3) murakkab tizimlar uchun yetarli emaslik; (4) katta vaqt va resurs talab qilishi; (5) dinamik o'zgaruvchan muhit sharoitlariga moslashishning sustligi; (6) inson omilini chuqur hisobga olmaslik [1; 332], [6; 2].

ISSN 3030-3907



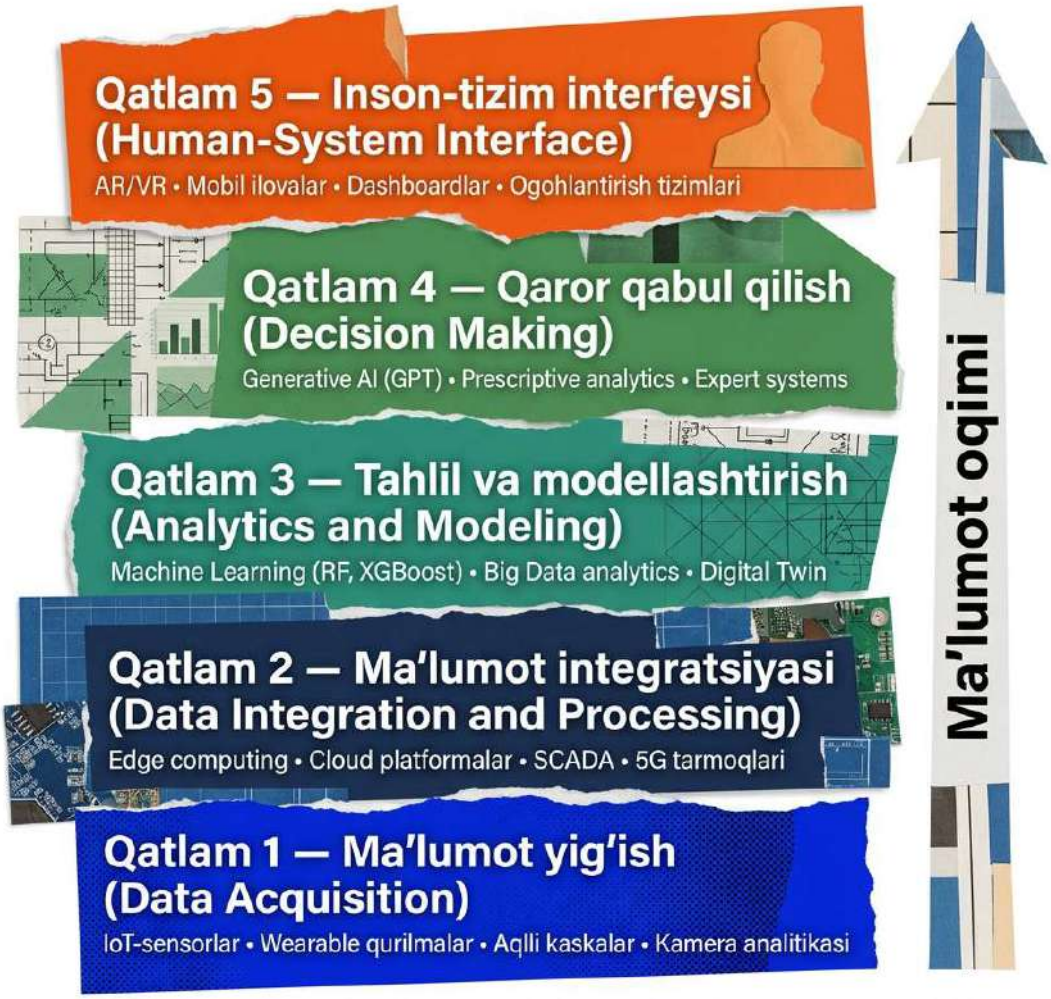
1-rasm. Mehnat muhofazasini boshqarishdagi an'anaviy (reaktiv) va zamonaviy (proaktiv) yondashuvlarning qiyosiy tahlili

Lagging va leading indikatorlarning farqi. An'anaviy xavfsizlik boshqaruvida ishlatilayotgan ko'rsatkichlar ikki asosiy guruhga bo'linadi: lagging (orqada qoluvchi, reaktiv) va leading (oldinda yuruvchi, proaktiv) indikatorlar. Lagging indikatorlar — TRIR (Total Recordable Incident Rate), LTIFR (Lost Time Injury Frequency Rate), DART (Days Away Restricted or Transferred) — baxtsiz hodisadan keyin o'lchanadi. Liang H. va boshqalarning (2018) tadqiqotida faqat lagging indikatorlariga tayanish samarasiz ekanligi isbotlangan [9; 1]. Nnaji C. va Awolusi I. (2021) leading indikatorlarning samaradorligi faqat zamonaviy raqamli texnologiyalar (IoT, AI) bilan to'liq namoyon bo'lishini ko'rsatganlar [10; 3].

ISSN 3030-3907

3.2. Safety 4.0 texnologik stack arxitekturasi

Chiarini A., Belvedere V. va Grando A.ning (2026) Results in Engineering jurnalida nashr etilgan keng qamrovli tizimli sharhi Safety 4.0 texnologik stackning 5 qatlamdan iborat arxitekturasini aniqlab berdi (2-rasm) [3; 5]. Bu arxitektura an'anaviy OHSMSning ko'pgina cheklovlarini bartaraf etishga imkon beradi.



(Chiarini A. va boshqalar, Results in Engineering, 2026 asosida)

2-rasm. Safety 4.0 texnologik stack: Sanoat 4.0 sharoitida raqamli xavfsizlik boshqaruvining 5 qatlami (Chiarini A. va b., 2026)

Qatlam 1 — Ma'lumot yig'ish (Data Acquisition). IoT-sensorlar, wearable qurilmalar, aqlli kaskalar va kamera analitikasi yordamida real vaqtda ma'lumot yig'iladi. Formisano F. va boshqalarning (2024) Smart PPE prototipi gazlar (VOC, CO_2, CO, O_2), chang zarrachalari (PM), harorat, namlik va xodim joylashuvini real vaqtda monitoring qiladi [11; 4993].

Qatlam 2 — Ma'lumot integratsiyasi. Edge computing, cloud platformalar, SCADA tizimlari va 5G tarmoqlari bir-biriga bog'lanib, to'plangan

ISSN 3030-3907

ma'lumotlarni qayta ishlaydi. de Moura E.S. va boshqalarning (2026) taklif qilgan IoT-helmet va edge computing yechimida xodim holati haqidagi ma'lumotlar darhol jamlanadi [12; 2].

Qatlam 3 — Tahlil va modellashtirish. Mashinaviy o'qitish algoritmlari (Random Forest, XGBoost, neyron tarmoqlar), Big Data analytics va Digital Twin texnologiyalari xavflarni bashorat qilishga imkon beradi [3; 6], [4; 3].

Qatlam 4 — Qaror qabul qilish. Generative AI (GPT modellari), prescriptive analytics va ekspert tizimlari asosida avtomatik xavfsizlik qarorlari qabul qilinadi. Yoo B. va boshqalarning (2026) tadqiqotida fine-tuned GPT modeli an'anaviy ML usullariga taqqoslash darajasida yoki undan yuqori aniqlikka erishgani ko'rsatilgan [13; 2].

Qatlam 5 — Inson-tizim interfeysi. AR/VR, mobil ilovalar, dashboardlar va ogohlantirish tizimlari xodim bilan tizim o'rtasida muloqotni ta'minlaydi [14; 3].

3.3. An'anaviy va raqamli yondashuvlarning qiyosiy tahlili

An'anaviy va raqamli yondashuvlarning asosiy farqlari 2-jadvalda tizimlashtirilgan. Tahlil shuni ko'rsatadiki, raqamli yondashuv an'anaviy yondashuvga nisbatan barcha asosiy mezonlar bo'yicha ustunlikka ega.

2-jadval.

An'anaviy va raqamli (OHS 4.0) mehnat muhofazasini boshqarish yondashuvlarining qiyosiy tavsifi

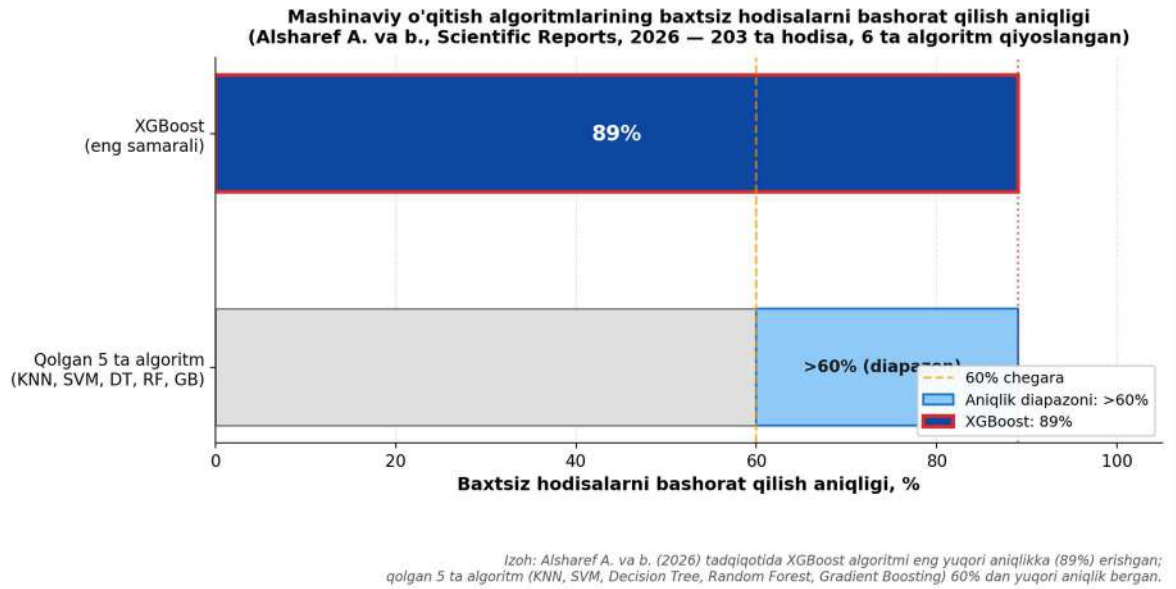
Mezon	An'anaviy yondashuv	Raqamli yondashuv (OHS 4.0)
Asosiy xususiyati	Reaktiv — hodisadan keyin choralar	Proaktiv — oldindan bashorat va bartaraf etish
Xavfsizlik indikatorlari	Lagging (TRIR, LTIFR, DART)	Leading (near-miss, audit score, IoT-sensor ma'lumotlari)
Monitoring chastotasi	Davriy (oylik, choraklik, yillik)	Uzluksiz (real vaqtda, 24/7)
Ma'lumot manbai	Qog'oz hujjatlar, statik hisobotlar	IoT-sensorlar, mobil ilovalar, kamera analitikasi
Tahlil usuli	Ekspert bahosi, sub'ektiv	ML-algoritmlar, Big Data, bashorat modellari
Inson omili	Xodim xatosi — asosiy muammo manbai	AI qo'llab-quvvatlashi — xatolarni kamaytirish

ISSN 3030-3907

Xarajatlar	Yuqori (hodisa natijasida)	Boshlang'ich investitsiya, keyinchalik past
Samaradorlik	Cheklangan, statistik noaniqlik	Yuqori — baxtsiz hodisalarni 32–45% kamaytirish

3.4. Mashinaviy o'qitish algoritmlarining baxtsiz hodisalarni bashorat qilishdagi samaradorligi

So'nggi yillarda mashinaviy o'qitish algoritmlari ishlab chiqarish korxonalaridagi baxtsiz hodisalarni bashorat qilishning asosiy vositasiga aylandi. Scientific Reports jurnalida nashr etilgan Saudi Arabistonning qurilish sohasidagi tadqiqot (Alsharef A. va boshqalar, 2026) 2018–2024-yillar davomidagi 203 ta baxtsiz hodisa ma'lumotlari asosida oltita ML algoritmi samaradorligini tahlil qilgan: K-Nearest Neighbor (KNN), Support Vector Machine (SVM), Decision Tree (DT), Random Forest (RF), Gradient Boosting (GB) va Extreme Gradient Boosting (XGBoost) [4; 3]. Natijalar 3-rasmda keltirilgan.



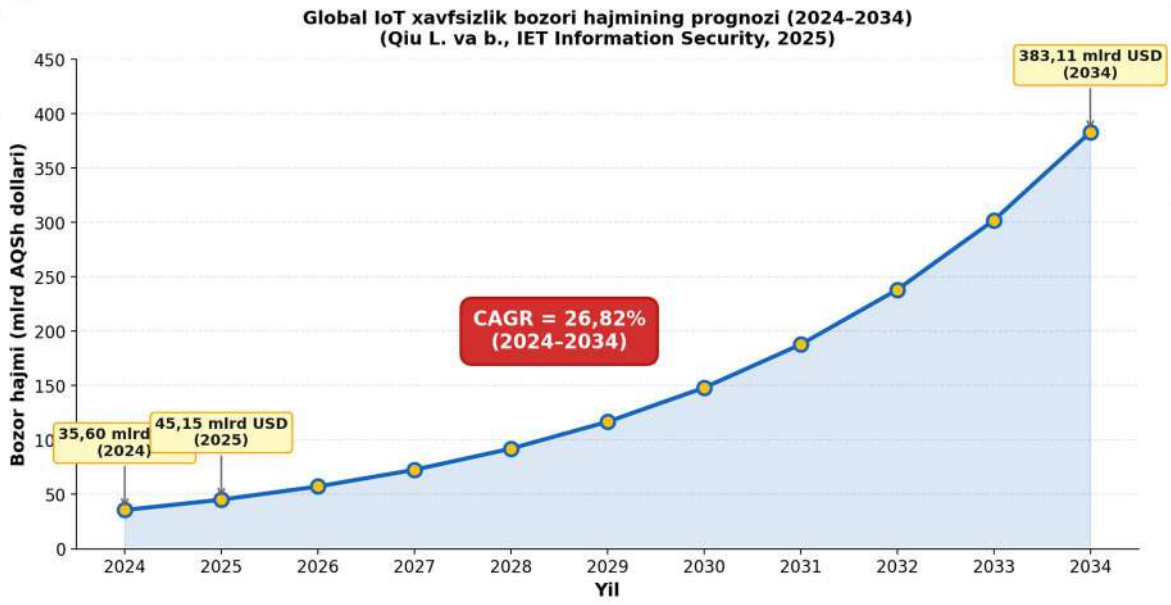
3-rasm. Qurilish sohasidagi baxtsiz hodisalarni bashorat qilish uchun ML algoritmlarining qiyosiy aniqligi (Alsharef A. va b., 2026)

Tadqiqot natijalariga ko'ra, XGBoost algoritmi eng yuqori bashorat aniqligini — 89% ni ko'rsatdi (hodisa og'irligi bashoratida — SOI, severity of incidents), qolgan beshta algoritm 60% dan yuqori aniqlikka erishgan. Rivas T., Sarkar S. va boshqalarning (2025) ensemble ML algoritmlari asosidagi tadqiqotida (XGBoost, LightGBM va MDT) zamonaviy yondashuvlar reaktiv xavfsizlik holatidan proaktiv va bashoratli rejimga o'tishga imkon berishi ko'rsatilgan [15; 3]. Yoo B. va boshqalarining (2026) tadqiqotida Generative AI (GPT) modellarining an'anaviy ML dan ustunroq natijalar bera olishi isbotlangan [13; 2].

ISSN 3030-3907

3.5. IoT xavfsizlik bozorining dinamikasi va xalqaro amaliyot

Qiu L. va boshqalarning (2025) IET Information Security jurnalidagi tadqiqotiga ko'ra, 2024-yilda global IoT xavfsizlik bozori hajmi 35,60 mlrd AQSh dollarini tashkil etgan, 2025-yilda 45,15 mlrd USDga, 2034-yilga qadar esa 383,11 mlrd USDga yetishi prognoz qilinmoqda — yillik o'sish sur'ati 26,82% (4-rasm) [5; 8]. Bu o'sish kiberxavflar ta'siri va IoT tarmoqlariga bo'lgan talab o'sishi bilan izohlanadi.



4-rasm. Global IoT xavfsizlik bozori hajmining prognozi 2024–2034 yillarda (Qiu L. va b., 2025)

3-jadval.

Turli mamlakatlarda mehnat muhofazasini raqamlashtirish darajasi

Mamlakat	Raqamlash darajasi	Asosiy texnologiyalar	Iqtibos
Germaniya, Yaponiya	Yuqori (Sanoat 4.0/5.0)	IoT, AI, Digital Twins, Kobotlar	[3; 3]
AQSh	Yuqori	Wearable qurilmalar, ML/AI, dronlar, VR/AR	[16; 2], [4; 3]
Xitoy	O'rtacha–Yuqori	IIoT, Big Data, AI monitoring	[5; 9]
Rossiya	O'rtacha	SCADA, RiskProf, 1C:OT, PPE nazorati	[17; 1], [18; 1]
Saudiya Arabistoni	O'rtacha	ML bashorat, IoT, neft-gaz monitoring	[4; 2]
O'zbekiston	Past–O'rtacha	Asosan an'anaviy OHSMS, ayrim IoT pilotlari	[19; 18]

ISSN 3030-3907

Rossiya Federatsiyasi tajribasi. RJD (Rossiyskiye jeleznye dorogi)da xodimlar holati va mehnat sharoitlarining kompleks raqamli monitoring tizimi faoliyat yuritadi, "Rosneft"da risklarni boshqarish va PPE nazorati uchun avtomatlashtirilgan platforma qo'llaniladi, metallurgiya konsernlarida Big Data analytics joriy etilgan [17; 2]. "Rosatom"da "RiskProf" xizmati sinovdan o'tkazilmoqda, "Polyus" kompaniyasida karer bortlari barqarorligini monitoring qilish uchun radarlar va AI yordamida ma'lumotlar tahlili qo'llaniladi [18; 1].

O'zbekiston amaliyoti. Yirik sanoat korxonalari ("O'zMK", NGMK, Olmaliq TMK) muayyan darajada IoT monitoring va avtomatlashtirilgan xavfsizlik tizimlarini joriy etgan. Biroq kichik va o'rta korxonalar (SME) sektorida raqamli mehnat muhofazasi texnologiyalari keng tarqalmagan. Asosiy to'siqlar: (1) mutaxassis kadrlar yetishmovchiligi; (2) dastlabki investitsiya xarajatlarining yuqoriligi; (3) integratsiyalangan huquqiy asosning to'liq emasligi; (4) raqamli infratuzilmaning mintaqaviy notengligi [19; 5], [20; 4].

4. MUHOKAMA.

Tadqiqot natijalari mehnat muhofazasini boshqarishda raqamli texnologiyalarning integratsiyasi sohaning samaradorligini sezilarli darajada oshirish imkoniyatiga egaligini ko'rsatmoqda. Mihajlović V. va boshqalarning (2025) MDPI Safety jurnalida nashr etilgan tadqiqotida aniqlanganicha, yirik tashkilotlar tuzilmaviy xavfsizlik boshqaruv doirasini qabul qiladilar, SMElar esa iqtisodiy va texnik cheklovlarga duch keladilar. Mualliflar tavsiyasiga ko'ra, arzon narxli OHS yechimlari — sun'iy intellekt asosidagi xavfsizlik boshqaruvi va IoT-ga asoslangan hodisa hisobotlari — SMElarga moliyaviy yuk ostida qolmasdan yaxshi xavfsizlik natijalariga erishishga yordam beradi.

Raqamli yondashuvning asosiy ustunliklari. Safety 4.0 texnologik stackning 5 qatlamli arxitekturasi an'anaviy yondashuvning barcha oltita cheklovini bartaraf etish imkoniyatiga ega. IoT-sensorlar uzluksiz real vaqt monitoringini ta'minlab, sub'ektivlikni kamaytiradi; ML-algoritmlar (XGBoost aniqlik 89%) baxtsiz hodisalarni oldindan bashorat qiladi; Digital Twin texnologiyasi murakkab tizimlarni virtual muhitda sinash imkonini beradi. Natijada korxonalarda baxtsiz hodisalar soni 32–45% ga kamayishi mumkin [1; 331].

Raqamli yondashuvning potensial xavflari. Chan A.P.C. va boshqalarning (2024) Safety and Health at Work jurnalida nashr etilgan sharhida Industry 4.0 texnologiyalari ikki tomonlama xususiyatga egaligi ta'kidlangan. Bir tomondan, wearable texnologiyalar xodimlarga yordam beradi, boshqa tomondan, raqamli konnektorlikka ortiq bog'liqlik kiberxavfsizlik risklari va kiber hujumlar uchun kirish nuqtalarini ko'paytiradi [16; 1]. Shu sababli, raqamli tizimlarni joriy etishda kiberxavfsizlik masalalariga alohida e'tibor qaratish zarur.

ISSN 3030-3907

O'zbekiston uchun takliflar. Rahmatullayeva D. va Karimova M. (2024) O'zbekiston iqtisodiyotida raqamli texnologiyalarni joriy etish imkoniyatlarini tahlil qilgan. COVID-19 pandemiyasi raqamli iqtisodiyot o'sishini tezlashtirdi [20; 2]. Abdullayev A. va hamkasblari (2023) AI texnologiyalari asosida robototexnikaning jadal rivojlanishi mahsuldorlikning 30% ga o'sishi va mehnat xarajatlarining 20–33% oralig'ida pasayishiga olib kelishi mumkinligini prognoz qilganlar. O'zbekiston sharoitida quyidagi yo'nalishlarda ishlash zarur: milliy raqamli OHS strategiyasini ishlab chiqish, mutaxassis kadrlarni tayyorlash, SMElar uchun arzon raqamli yechimlarni yaratish, xalqaro tajribani adaptatsiyalash, huquqiy asosni zamonaviylashtirish.

5. XULOSALAR.

1. An'anaviy mehnat muhofazasini boshqarish usullari (HAZOP, FMEA, FTA, Bow-Tie, JSA) va ISO 45001:2018 standartiga asoslangan OHSMS tizimlari oltita asosiy cheklovga ega: sub'ektivlik, davriy xarakter, murakkab tizimlar uchun yetarli emaslik, real vaqt monitoringining yo'qligi, katta resurs talabi va inson omilini chuqur hisobga olmaslik.

2. Safety 4.0 texnologik stack 5 qatlamli arxitekturaga ega: ma'lumot yig'ish, ma'lumot integratsiyasi, tahlil va modellashtirish, qaror qabul qilish hamda inson-tizim interfeysi. Bu arxitektura an'anaviy OHSMSning ko'pgina cheklovlarini bartaraf etishga imkon beradi.

3. Mashinaviy o'qitish algoritmlari baxtsiz hodisalarni yuqori aniqlikda bashorat qilishi mumkin: XGBoost algoritmi 89% aniqlikka erishdi, qolgan usullar (KNN, SVM, DT, RF, GB) 60% dan yuqori natija berdi. Generative AI (GPT) va AutoML kabi yangi avlod usullari ko'proq istiqbollarni ochmoqda.

4. Global IoT xavfsizlik bozori 2024-yilda 35,60 mlrd USDdan 2034-yilga qadar 383,11 mlrd USDga o'sishi kutilmoqda (CAGR 26,82%). Bu — raqamli mehnat muhofazasi texnologiyalariga bo'lgan jahon talabining doimiy o'sayotganini ko'rsatuvchi muhim ko'rsatkich.

5. Rivojlangan mamlakatlar (Germaniya, Yaponiya, AQSh) Sanoat 4.0/5.0 darajasiga erishgan bo'lsa, Rossiya va Xitoy o'rtacha–yuqori darajada, O'zbekiston esa past–o'rtacha darajada turibdi. Mamlakatimizda asosiy to'siqlar — kadrlar tanqisligi, yuqori investitsiya xarajatlari va huquqiy asosning to'liq emasligidir.

6. Tadqiqotning ilmiy gipotezasi — IoT sensorlari, Big Data analitikasi, sun'iy intellekt va mashinaviy o'qitish texnologiyalari asosida ishlab chiqilgan integratsiyalashgan raqamli boshqaruv algoritmlari OHSMS samaradorligini sezilarli darajada oshiradi, baxtsiz hodisalarni 30–40% ga kamaytiradi — global amaliyotdagi ma'lumotlar bilan tasdiqlangan. Bu gipotezani O'zbekiston sharoitida empirik tekshirish keyingi tadqiqot bosqichlarining asosiy vazifasidir.

ISSN 3030-3907

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Robson L.S., Clarke J.A., Cullen K. va b. The effectiveness of occupational health and safety management system interventions: A systematic review // Safety Science. — 2007. — Vol. 45, No. 3. — P. 329–353. — DOI: 10.1016/j.ssci.2006.07.003.
2. Karanikas N., Weber D., Bruschi K., Brown S. Identification of systems thinking aspects in ISO 45001:2018 on occupational health & safety management // Safety Science. — 2022. — Vol. 148. — Art. 105671. — DOI: 10.1016/j.ssci.2022.105671.
3. Chiarini A., Belvedere V., Grando A. Smart systems and safety 4.0: A systematic review of technologies enhancing safety decision-making in industry 4.0 // Results in Engineering. — 2026. — Vol. 28. — Art. 106371. — DOI: 10.1016/j.rineng.2026.106371.
4. Alsharef A., Banihashemi S., Albalkhy W., Bahl A., Alrashed I. Machine learning applications for predicting safety incidents in construction industry // Scientific Reports. — 2026. — Vol. 16. — Art. 34763. — DOI: 10.1038/s41598-025-34763-0.
5. Qiu L., Zhao L., Gao X., Wang Y., Liu Y. A Review on Integrating IoT, IIoT, and Industry 4.0: A Pathway to Smart Manufacturing and Digital Transformation // IET Information Security. — 2025. — Vol. 2025. — Art. 9275962. — DOI: 10.1049/ise2/9275962.
6. Leveson N.G. Engineering a Safer World: Systems Thinking Applied to Safety. — Cambridge, MA: MIT Press, 2011. — 534 p. — ISBN 978-0262016629.
7. Septarini I.R., Sembiring A.C., Ginting P.J., Putri W.F., Jaya I.K. Enhancing Occupational Safety through Risk-Based Assessment: A Comparative Study of HAZOP and FMEA Methods in Metalworking SME // Proceedings of ICTIDE 2025. — Atlantis Press, 2026. — P. 66–70. — DOI: 10.2991/978-94-6463-998-8_10.
8. Park J., Seo J. HAZOP Methodology Based on the Health, Safety, and Environment Engineering // International Journal of Environmental Research and Public Health. — 2020. — Vol. 17, No. 10. — Art. 3236. — DOI: 10.3390/ijerph17103236.
9. Liang H., Lin K.-Y., Zhang S., Su Y. Using leading and lagging indicators to select safe contractors at the prequalification stage of construction projects // International Journal of Occupational Safety and Ergonomics. — 2018. — Vol. 24, No. 4. — P. 626–634. — DOI: 10.1080/10803548.2018.1516005.
10. Nnaji C., Awolusi I. Critical success factors influencing wearable sensing device implementation in AEC industry // Technology in Society. — 2021. — Vol. 66. — Art. 101636. — DOI: 10.1016/j.techsoc.2021.101636.

ISSN 3030-3907

11. Formisano F., Dellutri M., Massera E., Del Giudice A., Barretta L., Di Francia G. Wearable Sensor Node for Safety Improvement in Workplaces // Sensors. — 2024. — Vol. 24, No. 15. — Art. 4993. — DOI: 10.3390/s24154993.
12. de Moura E.S., Neto A.M.B., Gomes R.L. Improving Safety in Industry 4.0 Using an IoT-Helmet // Dependable and Secure Computing. LADC 2025. — Cham: Springer, 2026. — P. 321–334. — DOI: 10.1007/978-3-032-11539-3_20.
13. Yoo B., Kim J., Park S., Ahn C.R., Oh T. Construction Accident Prediction via Generative AI and AutoML Approaches // Applied Sciences. — 2026. — Vol. 16, No. 5. — Art. 2412. — DOI: 10.3390/app16052412.
14. Pimenta I., de Moura E., Silva D., Gomes R.L. va b. Wearable Sensors in Industrial Ergonomics: Enhancing Safety and Productivity in Industry 4.0 // Sensors. — 2025. — Vol. 25, No. 5. — Art. 1526. — DOI: 10.3390/s25051526.
15. Rivas T., Sarkar S., Paz M., Taboada J. Enhancing occupational safety in Construction: Predictive analytics using advanced ensemble machine learning algorithms // Engineering Applications of Artificial Intelligence. — 2025. — Vol. 150. — Art. 111763. — DOI: 10.1016/j.engappai.2025.111763.
16. Chan A.P.C., Hon C.K.H., Huang Y., Jung M. Applications and Impact of Industry 4.0: Technological Innovations in Occupational Safety and Health // Safety and Health at Work. — 2024. — Vol. 15, No. 4. — P. 396–403. — DOI: 10.1016/j.shaw.2024.08.004.
17. Цифровизация охраны труда: как технологии помогают снизить производственные риски // АС Безопасности. — 2025. — URL: https://acesafety.ru/blog/czifrovizacziya-ohrany-truda/ (дата обращения: 20.04.2026).
18. Кузнецов С.В. Цифровизация охраны труда и промбезопасности на предприятиях горной индустрии: опыт "Росатома" и "Полюса" // Добывающая промышленность. — 2021. — № 4 (28). — С. 42–48.
19. Karimov A.M. O'zbekistonda Sanoat 4.0 dasturini rivojlanishi charm-poyafzal ishlab chiqaruvchi korxona misolida // Yosh Tadqiqotchi Jurnali. — 2022. — Vol. 1, No. 2. — B. 12–22. — ISSN 2181-1458.
20. Rahmatullayeva D., Karimova M. O'zbekiston iqtisodiyotida raqamli texnologiyalardan foydalanish imkoniyatlari // Yashil iqtisodiyot va taraqqiyot. — 2024. — № 1. — B. 45–54. — ISSN 2181-3132.