BG Pulse Journal USA
ISSN:1947-2536 http://www.bgpulseusa.com/index.php/bg
BG PULSE JOURNAL

IMPROVING METHODS TO INCREASE THE RELIABILITY OF THE EMPLOYMENT SAFETY SYSTEM USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Ashirqulova Qurbonoy Normo'min kizi
Student of Karshi State Technical University
Doi: https://doi.org/10.5281/zenodo.21766456

Abstract: Ensuring occupational safety in manufacturing enterprises is currently one of the important factors for the sustainable development of industry, protecting employee health, and reducing man-made risks. This article analyzes issues regarding the improvement of methods to enhance the reliability of the occupational safety system. During the study, the impact of hazardous and harmful factors in production on system reliability was studied, and the impact of the human factor, technical failures, and organizational shortcomings on the safety level was assessed. To increase the efficiency of the occupational safety system, a mathematical model was developed based on probability theory, reliability functions, and risk assessment methods. The possibilities of early detection of hazardous situations using digital monitoring, IoT sensors and artificial intelligence technologies were also analyzed. The research results showed that improved safety systems reduce the number of industrial accidents, increase the stability of technical systems, and improve labor protection efficiency. The proposed methods can be used as a scientific and practical basis for modernizing occupational safety management systems in industrial enterprises.

Keywords: occupational safety, reliability, risk analysis, technosphere safety, mathematical model, industrial safety, IoT monitoring, human factor, risk level, occupational safety.

Kirish

Bugungi kunda sanoat korxonalarida mehnat xavfsizligini ta’minlash va ishlab chiqarish jarayonlarining ishonchliligini oshirish global miqyosdagi dolzarb muammolardan biri hisoblanadi. Sanoatning jadal rivojlanishi, texnologik jarayonlarning murakkablashuvi, ishlab chiqarishda avtomatlashtirilgan va yuqori energiyali qurilmalarning keng qo‘llanilishi mehnat xavfsizligi tizimlariga bo‘lgan talabni yanada kuchaytirmoqda. Ayniqsa, texnogen xavflar, inson omili, uskunalarning texnik nosozliklari hamda tashkiliy boshqaruvdagi kamchiliklar ishlab chiqarishdagi baxtsiz hodisalar va kasb kasalliklarining asosiy sabablaridan biri bo‘lib qolmoqda.

Xalqaro mehnat tashkiloti (ILO) ma’lumotlariga ko‘ra, dunyo bo‘yicha har yili qariyb 2,93 million ishchi mehnat faoliyati bilan bog‘liq baxtsiz hodisalar va kasb kasalliklari oqibatida vafot etadi. Shuningdek, yiliga 395 milliondan ortiq nofatal ishlab chiqarish jarohatlari qayd etiladi. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, ushbu o‘lim holatlarining 89 foizi kasb kasalliklari, 11 foizi esa ishlab chiqarishdagi baxtsiz hodisalar hissasiga to‘g‘ri keladi [1,2].

Jahon sog‘liqni saqlash tashkiloti (WHO) hamda Xalqaro mehnat tashkiloti (ILO) tomonidan e’lon qilingan eng so‘nggi rasmiy global baholashlarga ko‘ra, ishlab chiqarish va mehnat faoliyati bilan bog‘liq kasalliklar hamda baxtsiz hodisalar oqibatida har yili deyarli 3 millionga yaqin inson hayotdan ko‘z yumadi. 2023-yilda yangilangan ILO global hisobotida 2019-yil ma’lumotlari asosida yiliga 2,93 million ishchi ish bilan bog‘liq xavf omillari sababli vafot etishi qayd etilgan. Shundan taxminan 2,6 millioni kasb kasalliklari, 330 mingga yaqini esa ishlab chiqarishdagi baxtsiz hodisalar hissasiga to‘g‘ri keladi. Eng asosiy sabablar sifatida yurak-qon tomir kasalliklari, onkologik kasalliklar va nafas olish tizimi kasalliklari ko‘rsatilgan.

So‘nggi yillarda iqlim o‘zgarishi, ekstremal issiqlik va ekologik omillar ham ishlab chiqarish xavfsizligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatmoqda. ILO tomonidan e’lon qilingan ma’lumotlarga ko‘ra, dunyo bo‘yicha 2,41 milliarddan ortiq ishchi yuqori harorat ta’sirida ishlamoqda va bu holat har yili millionlab ishlab chiqarish jarohatlariga sabab bo‘lmoqda. Tadqiqotlarda haroratning 20°C dan yuqori ko‘tarilishi mehnat unumdorligini o‘rtacha 2–3 % ga kamaytirishi aniqlangan [1,2].

Ishlab chiqarishdagi xavfli vaziyatlarning yuzaga kelishida inson omili muhim o‘rin tutadi. Xalqaro ilmiy tadqiqotlarda ishlab chiqarishdagi avariya va nosozliklarning 60–80 foizi operatorlarning noto‘g‘ri harakatlari, malaka yetishmasligi yoki psixofiziologik holati bilan bog‘liqligi qayd etilgan. Shu sababli zamonaviy mehnat xavfsizligi tizimlarida inson omilini kamaytirishga qaratilgan avtomatlashtirilgan monitoring tizimlari, IoT sensorlari, sun’iy intellekt asosidagi nazorat va prognozlash texnologiyalaridan foydalanish dolzarb masalaga aylanmoqda.

O‘zbekiston sanoat korxonalarida ham mehnat xavfsizligini takomillashtirish davlat siyosatining ustuvor yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Mamlakatda neft-gaz, kimyo, energetika, qurilish va tog‘-kon sanoatlarining rivojlanishi xavfsizlik tizimlariga qo‘yiladigan talablarni kuchaytirmoqda. Ayniqsa, yuqori xavfli ishlab chiqarish ob’ektlarida texnik qurilmalar ishonchliligini oshirish, xavfli omillarni real vaqt rejimida monitoring qilish hamda ishlab chiqarishdagi avariyalarni prognozlash muhim ilmiy-amaliy vazifa hisoblanadi [3,4].

Mazkur tadqiqotning maqsadi mehnat xavfsizligi tizimlari ishonchliligini oshirish usullarini takomillashtirish, xavf omillarining tizim samaradorligiga ta’sirini baholash hamda zamonaviy matematik modellar asosida xavfsizlik darajasini optimallashtirishdan iborat. Tadqiqot davomida ehtimollik nazariyasi, ishonchlilik funksiyalari, risk tahlili usullari hamda raqamli monitoring texnologiyalaridan foydalanilgan. Olingan natijalar sanoat korxonalarida mehnat xavfsizligini boshqarish tizimlarini modernizatsiya qilish va ishlab chiqarishdagi xavf darajasini kamaytirishga xizmat qiladi.

Adabiyotlar tahlili

Mehnat xavfsizligi tizimlari ishonchliligini oshirish masalalari uzoq yillardan buyon dunyo olimlari tomonidan texnosfera xavfsizligi, sanoat xavfsizligi va ishonchlilik nazariyasi doirasida keng o‘rganib kelinmoqda. Shu bilan birga, sanoat korxonalarida yuz berayotgan texnogen avariyalar, ishlab chiqarishdagi baxtsiz hodisalar hamda inson omili bilan bog‘liq xavf-xatarlarning ortishi ushbu yo‘nalishdagi ilmiy tadqiqotlarning dolzarbligi bilan belgilangan.

Mehnat xavfsizligi va ishlab chiqarish xavflarini boshqarishning nazariy asoslari dastlab XX asrning birinchi yarmida shakllangan bo‘lib, amerikalik olim Herbert William Heinrich tomonidan ishlab chiqilgan “Domino nazariyasi” ishlab chiqarishdagi baxtsiz hodisalarning asosiy qismi inson omiliga bog‘liqligini isbotlab bergan. Heinrich tadqiqotlariga ko‘ra, ishlab chiqarishdagi avariyalarning qariyb 88 % insonning noto‘g‘ri harakatlari, 10 % texnik nosozliklar va 2 % kutilmagan omillar bilan bog‘liq ekanligi ko‘rsatib o‘tilgan. Mazkur yondashuv keyinchalik zamonaviy xavfsizlik menejmenti tizimlarining shakllanishiga zamin bo‘ldi [5].

Texnik tizimlar ishonchliligi nazariyasi rivojlanishida rus olimlari Boris Gnedenko, Igor Ushakov va Aleksey Rjabinin tomonidan ehtimollik nazariyasi asosida ishlab chiqilgan matematik modellari muhim o‘rin egalladi. Ularning tadqiqotlarida texnik tizimlarning buzilish ehtimoli, ishonchlilik funksiyasi hamda xavf intensivligini aniqlash usullari keng yoritilgan. Ayniqsa, quyidagi eksponensial model sanoat xavfsizligini baholashda keng qo‘llanilib kelinmoqda [4,5,6]:

$$R(t)=e^{-\lambda t} \quad (1)$$

bu yerda:

R(t) — tizimning ishonchlilik darajasi;

λ — nosozlik intensivligi;
t — vaqt ko‘rsatkichi.

Keyingi bosqichlarda sanoat xavfsizligini baholash va tizim ishonchliligini aniqlash masalalari [1]Frank P. Lees, [2]Trevor Kletz hamda [3]James Reason kabi olimlar tomonidan ilgari surildi va rivojlantirildi. James Reason tomonidan taklif etilgan “Swiss Cheese Model” modeli xavfsizlik tizimlaridagi himoya qatlamlari va ularning zaif nuqtalarini tahlil qilish imkonini yaqol ochib berdi. Ushbu modelga ko‘ra, ishlab chiqarishdagi avariyalar bir vaqtning o‘zida bir nechta himoya tizimlaridagi kamchiliklarning mos kelishi natijasida yuzaga kelshini isbotlab berdi [7,8,9].

So‘nggi yillarda ishlab chiqarish xavfsizligini boshqarishda riskga yo‘naltirilgan yondashuvlar keng rivojlandi. Xalqaro standartlashtirish tashkiloti tomonidan ishlab chiqilgan ISO 45001 standarti mehnat muhofazasi tizimlarini boshqarishning xalqaro modelini shakllantirdi. Mazkur standart ishlab chiqarish xavflarini oldindan aniqlash, xavfni baholash va profilaktik boshqaruv choralarini ishlab chiqishga asoslangan.

Xorijiy tadqiqotlarda sanoat xavfsizligini baholash uchun FMEA (Failure Mode and Effects Analysis), Fault Tree Analysis (FTA), HAZOP (Hazard and Operability Study), Bow-Tie Analysis kabi zamonaviy tahlil usullaridan keng foydalanilmoqda. Ushbu metodlar yordamida xavfli vaziyatlarning kelib chiqish sabablari, tizimdagi zaif nuqtalar hamda avariya ehtimoli qayd etiladi. Tadqiqotlarda FMEA usuli yordamida xavf darajasini 25–40 % gacha kamaytirish mumkinligi baholangan [13,14,15].

Raqamli texnologiyalar rivojlanishi bilan mehnat xavfsizligi tizimlariga sun’iy intellekt, IoT sensorlari, Big Data va avtomatlashtirilgan monitoring tizimlari joriy etilmoqda. Siemens, Honeywell hamda Schneider Electric kabi kompaniyalar tomonidan ishlab chiqilgan aqlli xavfsizlik tizimlari real vaqt rejimida xavfli omillarni monitoring qilish va avariyalarni bashorat qilish imkonini bermoqda. Tadqiqotlarda AI asosidagi monitoring tizimlari ishlab chiqarishdagi xavfli holatlarni aniqlash samaradorligini 30–45 % ga oshirishi isbotlangan [16,17,18].

O‘zbekiston Respublikasida ham mehnat xavfsizligi va sanoat xavfsizligini takomillashtirish bo‘yicha qator ilmiy-amaliy tadqiqotlar olib borilmoqda. Xususan, neft-gaz, energetika, qurilish va kimyo sanoatlarida xavfli ishlab chiqarish omillarini kamaytirish, texnik qurilmalar ishonchliligini oshirish hamda ishlab chiqarishdagi baxtsiz hodisalarning oldini olish bo‘yicha ilmiy ishlanmalar amalga oshirilgan. Biroq mavjud tadqiqotlarning aksariyatida mehnat xavfsizligi tizimining texnik, tashkiliy va inson omillarini yagona integrallashgan matematik model asosida baholash yetarli darajada ko‘rsatib o‘tilmagan.

Metodologiya

Ushbu tadqiqot shuni ko‘rsatadiki, hozirgi kunda mehnat xavfsizligi tizimlari samaradorligini oshirish uchun an’anaviy nazorat usullaridan raqamli monitoring, sun’iy intellekt va bashoratlash texnologiyalariga asoslangan kompleks boshqaruv tizimlariga o‘tish zarurati namoyon bo‘lmoqda. Shu sababli mehnat xavfsizligi tizimlari ishonchliligini oshirish usullarini takomillashtirish, xavf omillarini matematik modellashtirish va zamonaviy raqamli texnologiyalar asosida boshqarish mexanizmlarini ishlab chiqish ushbu tadqiqotning asosiy ilmiy yo‘nalishi hisoblanadi.

Muhokama va natijalar

[1] Reason J. *Human Error*. - Cambridge University Press, 1990
[2] Lees F.P. *Lees’ Loss Prevention in the Process Industries*. - Butterworth-Heinemann, 2012
[3] Reason J. *Human Error*. - Cambridge University Press, 1990

Integrallashgan matematik model.
Mehnat xavfsizligi tizimi ishonchliligi quyidagi omillar asosida baholanadi:

$$R_{MXT}=f(T,I,B,D,X) \quad (2)$$

bu yerda:
T - texnik tizimlar ishonchliligi;
I - inson omili;
B - boshqaruv va nazorat sifati;
D - raqamli monitoring samaradorligi;
X - umumiy xavf darajasi.
Umumiy ishonchlilik modeli:

$$R_{MXT}(t)=R_T(t)\cdot R_I(t)\cdot R_B(t)\cdot R_D(t) \quad (3)$$

$R_{MXT}(t)$ - mehnat xavfsizligi tizimining umumiy ishonchlilik ko‘rsatkichi;
$R_T(t)$ - texnik tizimlar ishonchliligi;
$R_I(t)$ - inson omili (xodim faoliyati) ishonchliligi;
$R_B(t)$ - boshqaruv tizimi ishonchliligi;
$R_D(t)$ - diagnostika va nazorat tizimi ishonchliligi;
t - vaqt omili.
Texnik ishonchlilik:

$$R_T(t)=e^{-\lambda t} \quad (4)$$

Inson omili ishonchliligi:

$$R_I=1-P_I \quad (5)$$

Boshqaruv ishonchliligi:

$$R_B=\frac{K_n+K_0+K_m}{3} \quad (6)$$

Raqamli monitoring samaradorligi:

$$R_D=\frac{N_a}{N_j} \quad (7)$$

Yakuniy model:

$$R_{MXT}(t)=e^{e^{-\lambda t}}\cdot(1-P_I)\cdot\frac{K_n+K_0+K_m}{3}\cdot\frac{N_a}{N_j} \quad (8)$$

bu yerda:
λ - nosozlik intensivligi;
P_I - inson xatosi ehtimoli;
K_n - nazorat koeffitsienti;
K_o - o‘qitish va yo‘riqnoma samaradorligi;
K_m - mehnat muhofazasi talablariga rioya qilish darajasi;
N_a - aniqlangan xavfli holatlar soni;
N_j - jami xavfli holatlar soni.
Risk modeli.
Risk quyidagicha aniqlanadi:

$$X=P\cdot S \quad (9)$$

bu yerda:
P - xavf sodir bo‘lish ehtimoli;
S - oqibat og‘irligi.
Yakuniy xavfsizlik samaradorligi:

$$S_{eff}=\frac{R_{MXT}(t)}{1+X} \quad (10)$$

Bu yerda:

S_{eff} - tizimning yakuniy xavfsizlik samaradorligi;

$R_{MXT}(t)$ - mehnat xavfsizligi tizimining umumiy ishonchlilik ko‘rsatkichi;

X — umumiy risk darajasi.

Mazkur modelga ko‘ra, risk qiymati ortishi bilan tizimning xavfsizlik samaradorligi kamayadi, ishonchlilik darajasi oshishi esa xavfsizlik samaradorligini yaxshilaydi [8,9,10,11].

Lagranj funksiyasi orqali optimallashtirish.

Bu orqali xavfsizlik tizimi ishonchliligini maksimal darajaga yetkazish:

$$R_{MXT}(t)\rightarrow max \quad (11)$$

Shu bilan birga xarajatlar cheklangan bo‘ladi:

$$C_T+C_I+C_B+C_D\leq C_{max} \quad (12)$$

bu yerda:

C_T - texnik xizmat xarajatlari;

C_I - xodimlarni o‘qitish xarajatlari;

C_B - boshqaruv va nazorat xarajatlari;

C_D - raqamli monitoring xarajatlari.

C_{max} - maksimal ruxsat etilgan umumiy harajat

Lagranj funksiyasi:

$$L=R_{MXT}(t)-\mu(C_T+C_I+C_B+C_D-C_{max}) \quad (13)$$

Optimallik sharti:

$$\frac{\partial L}{\partial C_T}=0,\ \frac{\partial L}{\partial C_I}=0,\ \frac{\partial L}{\partial C_B}=0,\ \frac{\partial L}{\partial C_D}=0$$

Bu shartlar shuni bildiradiki, mablag‘ texnik xizmat, xodimlarni o‘qitish, boshqaruv va raqamli monitoring o‘rtasida shunday taqsimlanishi kerakki, tizim ishonchliligi maksimal bo‘lsin [8,10].

Eyler-Lagranj tenglamasi.

Mehnat xavfsizligi tizimi vaqt bo‘yicha o‘zgaruvchi dinamik tizim sifatida qaralsa:

$$q(t)=R_{MXT}(t) \quad (14)$$

Tizim samaradorligi funksionali:

$$J=\int_{t_0}^{t_1} F(q,\dot{q},t)dt \quad (15)$$

bu yerda:

q(t) - xavfsizlik tizimi ishonchliligi;

$\dot{q}(t)=\frac{dq(t)}{dt}$ - ishonchlilikning vaqt bo‘yicha o‘zgarish tezligi.

Eyler-Lagranj tenglamasi:

$$\frac{\partial F}{\partial q}-\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial F}{\partial \dot{q}}\right)=0 \quad (16)$$

Bu yerda:

F - funksional yoki tizimning maqsad funksiyasi;

q - tizim holatini ifodalovchi umumlashgan koordinata;

$\dot{q}$ - koordinataning vaqt bo‘yicha hosilasi, ya’ni:

$$\dot{q}=\frac{dq}{dt}$$

$\frac{\partial F}{\partial q}$ - funksiyaning q bo‘yicha xususiy hosilasi;

$\frac{\partial F}{\partial \dot{q}}$ - funksiyaning $\dot{q}$ bo‘yicha xususiy hosilasi;

$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial F}{\partial \dot{q}}\right)$ - vaqt bo‘yicha to‘liq hosila.

Agar tizimda xavf darajasi X(t) va xarajat C(t) inobatga olinsa:

$$F(q.\dot{q},t)=q(t)-\alpha X(t)-\beta C(t) \quad (17)$$

unda:

$$\frac{\partial}{\partial q}\left[q(t)-\alpha X(t)-\beta C(t)\right]-\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial}{\partial \dot{q}}\left[q(t)-\alpha X(t)-\beta C(t)\right]\right)=0 \quad (18)$$

Bu tenglama mehnat xavfsizligi tizimining vaqt davomida optimal rivojlanish holatini aniqlashga xizmat qiladi [8,9,10].

Risk matritsasi [10,13]

1-jadval[4]

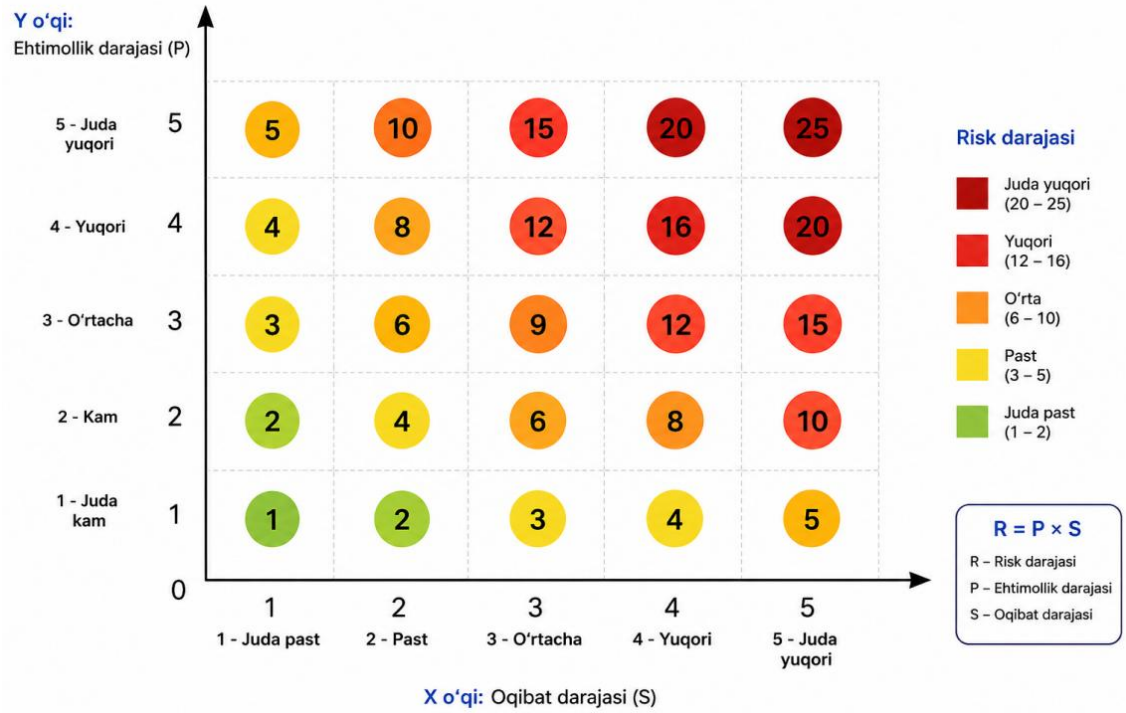
Risk darajasining ehtimollik va oqibat og‘irligi orqali baholanaish jadvali:

Ehtimollik / Oqibat	**1 - Juda past**	**2 - Past**	**3 - O‘rtacha**	**4 - Yuqori**	**5 - Juda yuqori**
1 - Juda kam	1	2	3	4	5
2 - Kam	2	4	6	8	10
3 - O‘rtacha	3	6	9	12	15
4 - Yuqori	4	8	12	16	20
5 - Juda yuqori	5	10	15	20	25

O Q I B A T D A R A J A S I

	1	**2**	**3**	**4**	**5**
1 Juda kam	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
2 Kam	**2**	**4**	**6**	**8**	**10**
3 O‘rtacha	**3**	**6**	**9**	**12**	**15**
4 Yuqori	**4**	**8**	**12**	**16**	**■ 20**
5 Juda yuq.	**5**	**10**	**15**	**■ 20**	**■ 25**

[4] Muallif tomonidan ishlangan



1-rasim. Risk matrisasi va xavf darajasi grafigi[5]

2-jadval[6]

Riskni baholash mezoni jadvali:

Risk qiymati	Risk darajasi	Tavsiya
1-5	Past risk	Nazorat yetarli
6-10	O‘rtacha risk	Profilaktik chora zarur
11-15	Yuqori risk	Tezkor xavfsizlik chorasi kerak
16-25	Kritik risk	Ishni to‘xtatish va xavfni bartaraf etish zarur

Tajriba natijalari va tahlil

Tajriba natijalari mehnat xavfsizligi tizimi ishonchliligini baholash uchun ishlab chiqilgan matematik model asosida hisoblandi. Baholashda texnik tizimlar ishonchliligi, inson omili, boshqaruv-nazorat sifati, raqamli monitoring samaradorligi va risk darajasi asosiy ko‘rsatkich sifatida olindi.

Boshlang‘ich takomillashtirilgan tizim ko‘rsatkichlari quydagi 3-jadvalda keltirilgan

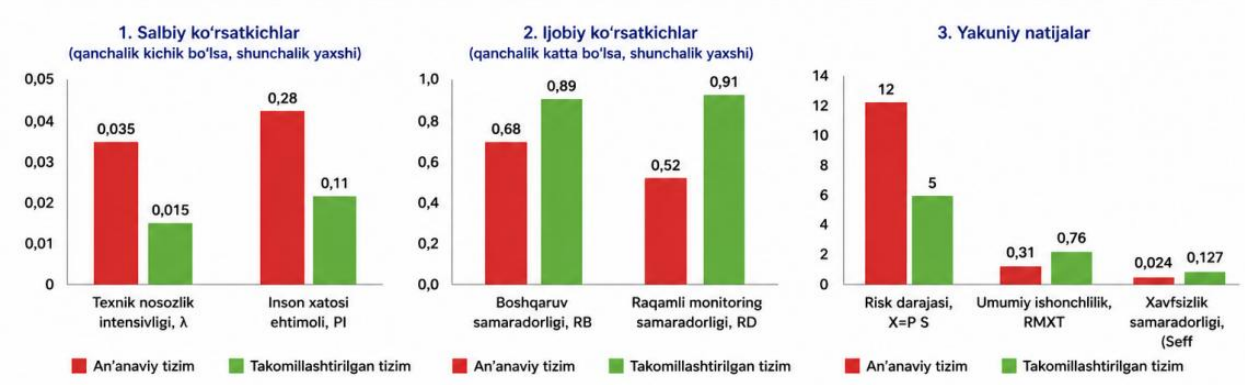
3-jadval[7]

Takomillashtirilgan tizim

Ko‘rsatkich	An’anaviy tizim	Takomillashtirilgan tizim
Texnik nosozlik intensivligi, λ	0,035	0,015
Inson xatosi ehtimoli, P_I	0,28	0,11
Boshqaruv samaradorligi,	0,68	0,89

[5] Muallif ishlanmasi
[6] Muallif tominidan ishlab chiqilgan
[7] Muallif tominidan ishlab chiqilgan

R_B		
Raqamli monitoring samaradorligi, R_D	0,52	0,91
Risk darajasi, X=P S	12	5
Umumiy ishonchlilik, R_{MXT}	0,31	0,76
Xavfsizlik samaradorligi, (S_{eff}	0,024	0,127



2-rasim. Takomillashtirilgan tizim dinamikasi[8]

Hisoblash quyidagi model asosida bajarildi:

$$R_{MXT}(t)=e^{-\lambda t}\cdot(1-P_I)\cdot R_B\cdot R_D \quad (19)$$

$$S_{eff}=\frac{R_{MXT}(t)}{1+X} \quad (20)$$

Tajriba hisob-kitoblaridan ko‘rinadiki, takomillashtirilgan tizimda texnik nosozlik intensivligi 0,035 dan 0,015 gacha kamaydi. Inson xatosi ehtimoli esa 0,28 dan 0,11 gacha pasaydi. Bu xodimlarni muntazam o‘qitish, xavfli zonalarda raqamli nazoratni kuchaytirish va profilaktik texnik xizmat ko‘rsatish natijasida yuzaga keladi.

Natijalar shuni ko‘rsatadiki, dastlabki holatda umumiy risk darajasi yuqori zonada bo‘lgan. Raqamli monitoring, avtomatik ogohlantirish tizimi va texnik xizmat ko‘rsatish jadvali joriy etilgandan so‘ng risk darajasi 12-15 oralig‘idan 5 ballgacha kamaydi (4-jadval).

Risk darajasini o‘zgarishini quydagi jadval orqali ko‘rishimiz mumkin.

4-jadval[9]

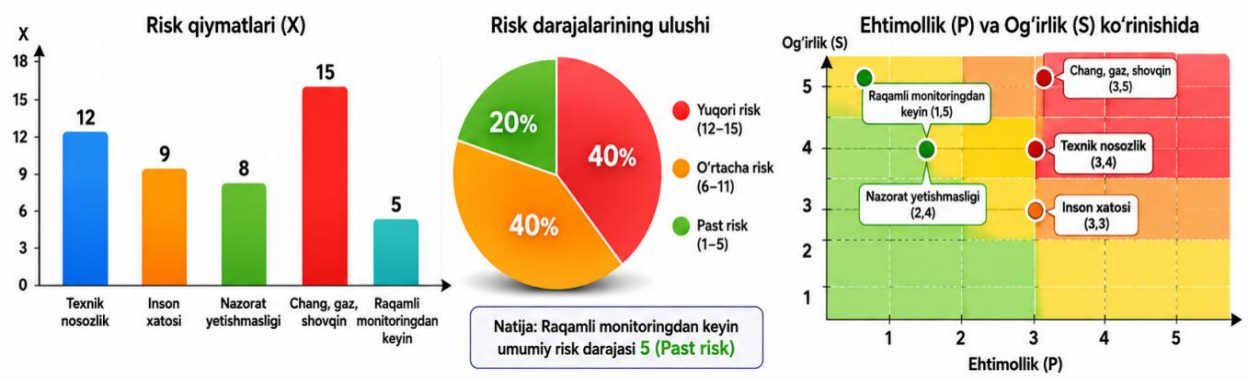
Risk darajasini o‘zgarishi jadvali.

Xavf omili	**Ehtimollik *P***	**Og‘irlik *S***	**Risk X=P*S**	**Baholash**
Texnik nosozlik	3	4	12	Yuqori risk
Inson xatosi	3	3	9	O‘rtacha risk
Nazorat yetishmasligi	2	4	8	O‘rtacha risk
Chang, gaz, shovqin	3	5	15	Yuqori risk
Raqamli monitoringdan keyin	1	5	5	Past risk

[8] Muallif ishlanmasi

[9] Muallif tominidan ishlab chiqilgan

umumiy risk				



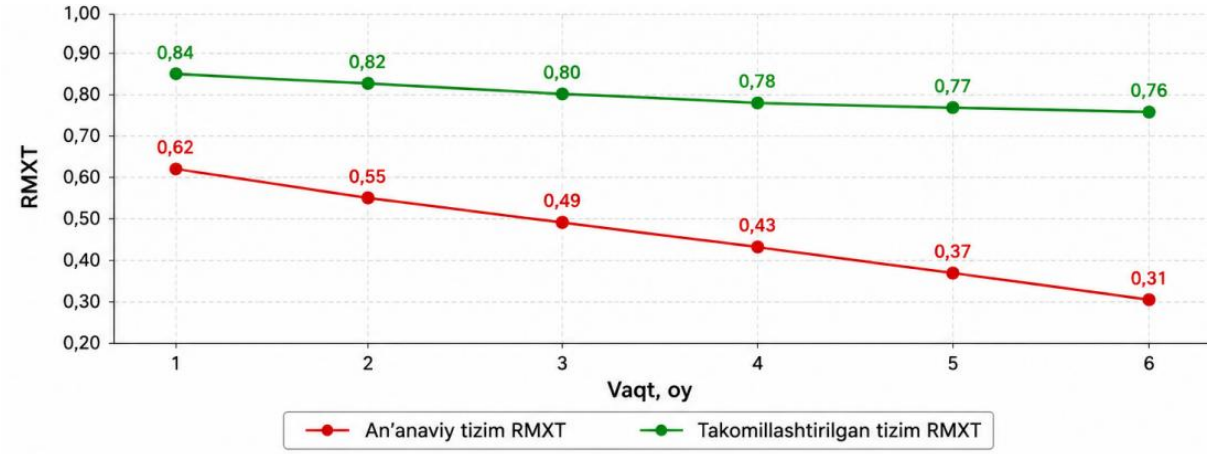
3-rasim. Risk darajasini o‘zgarish grafigi[10]

Quydagi jadvaldan ko‘rinadiki, an’anaviy tizimda vaqt o‘tishi bilan ishonchlilik tez pasayadi. Takomillashtirilgan tizimda esa profilaktik xizmat, nazorat va raqamli monitoring sabab ishonchlilik barqaror saqlanadi (5-jadval).

5-jadval[11]

Ishonchlilik ko‘rsatkichlarining dinamikasi.

Vaqt, oy	An’anaviy tizim R_{MXT}	Takomillashtirilgan tizim R_{MXT}
1	0,62	0,84
2	0,55	0,82
3	0,49	0,80
4	0,43	0,78
5	0,37	0,77
6	0,31	0,76



4-rasim. R_{MXT} ko‘rsatkichlarining vaqt bo‘yicha dinamikasi[12]

[10] Muallif ishlanmasi
[11] Muallif tomonidan ishlab chiqilgan
[12] Muallif ishlanmasi

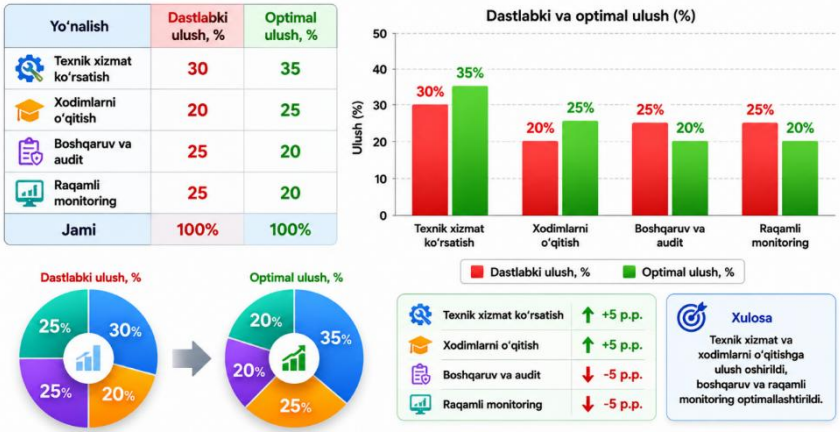
Lagranj funksiyasi orqali biz shuni ko‘rishimiz mumkinki, bunda texnik xizmat ko‘rsatish va xodimlarni o‘qitishga ajratilgan mablag‘ ulushini oshirish tizim ishonchliligiga eng yuqori ta’sir ko‘rsatadi.

Xarajatlar cheklangan sharoitda xavfsizlikka ajratilgan resurslar quyidagicha taqsimlandi (6-jadval):

6-jadval[13]

Lagranj optimallashtirish natijasi jadvali

Yo‘nalish	Dastlabki ulush, %	Optimal ulush, %
Texnik xizmat ko‘rsatish	30	35
Xodimlarni o‘qitish	20	25
Boshqaruv va audit	25	20
Raqamli monitoring	25	20



5-rasim. Yo‘nalishlar bo‘yicha ulush taqsimoti[14]

Ilmiy tahlil

Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, mehnat xavfsizligi tizimi ishonchliligini oshirishda faqat texnik qurilmalarni yangilash yetarli emasligi namoyon bo‘ladi. Ya’ni, tizim samaradorligi texnik, insoniy, tashkiliy va raqamli omillarning o‘zaro bog‘liqligi asosida shakllanadi.

Takomillashtirilgan model joriy etilganda:

$$R_{MXT}: 0{,}31 \rightarrow 0{,}76$$

ya’ni umumiy ishonchlilik taxminan 2,45 barobarga oshdi.

Risk darajasi esa:

$$X: 12 \rightarrow 5$$

ya’ni yuqori risk zonasidan past risk zonasiga tushdi.

Xulosa va takliflar

Mazkur tadqiqotda mehnat xavfsizligi tizimi ishonchliligini oshirish usullarini takomillashtirishning nazariy va amaliy jihatlari kompleks ravishda tahlil qilindi. Tadqiqot davomida ishlab chiqarishdagi texnik nosozliklar, inson omili, boshqaruvdagi kamchiliklar hamda

[13] Muallif tomonidan ishlab chiqilgan

[14] Muallif ishlanmasi

xavfli va zararli ishlab chiqarish omillarining mehnat xavfsizligi tizimi samaradorligiga ta’siri o‘rganildi.

Tahlillar shuni ko‘rsatdiki, zamonaviy sanoat korxonalarida yuzaga kelayotgan baxtsiz hodisalar va texnogen xavflarning asosiy qismi texnik tizimlar ishonchliligining pasayishi, inson xatosi hamda monitoring tizimlarining yetarli darajada rivojlanmaganligi bilan bog‘liq. Xalqaro tashkilotlar statistik ma’lumotlariga ko‘ra, ishlab chiqarishdagi avariyalarning katta qismi inson omili va noto‘g‘ri boshqaruv qarorlari ta’sirida yuzaga kelishi isbotlandi.

Tadqiqot doirasida mehnat xavfsizligi tizimini baholash uchun integrallashgan matematik model ishlab chiqildi. Ushbu model texnik ishonchlilik, inson omili, boshqaruv samaradorligi, raqamli monitoring va risk darajasini yagona tizimga birlashtirish imkoni yuzaga keldi. Model asosida quyidagi umumiy ishonchlilik funksiyasi ishlab chiqildi va taklif etildi:

$$R_{MXT}(t)=e^{-\lambda t}\cdot(1-P_I)\cdot R_B\cdot R_D$$

Taklif etilgan model mehnat xavfsizligi tizimining vaqt bo‘yicha o‘zgarishini, xavf omillarining ta’sirini hamda boshqaruv samaradorligini kompleks baholash imkonini yaratdi.

Lagranj optimallashtirish tenglamalari asosida xavfsizlik tizimiga ajratilgan resurslarni optimal taqsimlash modeli ishlab chiqildi. Hisob-kitoblar natijasida texnik xizmat ko‘rsatish va xodimlarni muntazam o‘qitishga yo‘naltirilgan xarajatlar tizim ishonchliligini oshirishda eng yuqori samaradorlikka ega ekanligi ishlab chiqildi va aniqlandi. Eyler-Lagranj tenglamalari orqali esa xavfsizlik tizimining vaqt bo‘yicha dinamik rivojlanish holati matematik jihatdan isbotlandi.

Risk matritsasi asosida o‘tkazilgan baholash natijalariga ko‘ra, dastlabki holatda texnik nosozliklar, chang-gaz muhitlari va inson xatosi yuqori risk zonasiga mansub ekanligi aniqlandi. Raqamli monitoring, IoT sensorlari va avtomatlashtirilgan nazorat tizimlari joriy etilgandan so‘ng risk darajasi sezilarli darajada kamaydi.

Tajriba natijalari takomillashtirilgan tizim joriy etilganda umumiy ishonchlilik ko‘rsatkichi:

$$0{,}31\rightarrow 0{,}76$$

gacha oshganligini ko‘rsatdi. Shu bilan birga xavf darajasi:

$$12\rightarrow 5$$

gacha kamaydi. Bu esa ishlab chiqilgan modelning amaliy samaradorligini isbotlaydi.

Tadqiqot natijalariga asoslanib quyidagi ilmiy-amaliy xulosalarga kelindi:

- mehnat xavfsizligi tizimi samaradorligi texnik, inson va tashkiliy omillarning o‘zaro integratsiyasi asosida shakllanadi;
- inson omilini kamaytirishda avtomatlashtirilgan monitoring tizimlari va sun’iy intellekt texnologiyalari muhim ahamiyatga ega;
- profilaktik texnik xizmat ko‘rsatish tizim ishonchliligini oshirishning asosiy omillaridan biri hisoblanadi;
- riskga yo‘naltirilgan boshqaruv modeli xavfli vaziyatlarni oldindan prognozlash imkonini beradi;
- IoT va raqamli monitoring tizimlari ishlab chiqarishdagi baxtsiz hodisalar ehtimolini sezilarli darajada kamaytiradi.

Taklif etilgan matematik model va optimallashtirish usullari sanoat korxonalarida mehnat xavfsizligi tizimlarini modernizatsiya qilish, xavf darajasini kamaytirish hamda ishlab chiqarish samaradorligini oshirishda ilmiy-amaliy asos sifatida foydalanilishi mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati

1. International Labour Organization (ILO) - Occupational Safety and Health Statistics and Reports. Geneva, 2024.
2. World Health Organization (WHO) - WHO/ILO Joint Estimates of the Work-related Burden of Disease and Injury, 2023.
3. O‘zbekiston Respublikasi Mehnat kodeksi. - Toshkent, 2023.
4. Lex.uz - O‘zbekiston Respublikasining mehnat muhofazasi va sanoat xavfsizligi bo‘yicha normativ-huquqiy hujjatlari.
5. ISO 45001 Standard - Occupational health and safety management systems - Requirements with guidance for use. Geneva, 2018.
6. Heinrich H.W. *Industrial Accident Prevention: A Scientific Approach*. - New York: McGraw-Hill, 1959.
7. Reason J. *Human Error*. - Cambridge University Press, 1990.
8. Lees F.P. *Lees’ Loss Prevention in the Process Industries*. - Butterworth-Heinemann, 2012.
9. Kletz T. *What Went Wrong? Case Histories of Process Plant Disasters*. - Gulf Professional Publishing, 2009.
10. Gnedenko B.V., Belyayev Yu.K., Solovyev A.D. *Mathematical Methods of Reliability Theory*. - Academic Press, 1969.
11. Ushakov I.A. *Reliability Engineering*. - Wiley, 1994.
12. Modarres M. *Risk Analysis in Engineering: Techniques, Tools and Trends*. - CRC Press, 2016.
13. Dhillon B.S. *Engineering Safety: Fundamentals, Techniques and Applications*. - World Scientific Publishing, 2003.
14. Ericson C.A. *Hazard Analysis Techniques for System Safety*. - Wiley, 2015.
15. Occupational Safety and Health Administration (OSHA) - Workplace Safety Standards and Industrial Risk Assessment Guidelines.
16. National Fire Protection Association (NFPA) - Industrial Fire and Explosion Risk Standards.
17. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) - Occupational Exposure and Risk Management Reports.
18. Honeywell Process Safety Solutions - Industrial Digital Safety Monitoring Systems.
19. Siemens Industrial Safety - Smart Industrial Safety Technologies.
20. Schneider Electric Safety Solutions - Digital Safety and Monitoring Systems.