



## SUN'IY INTELLEKT VA MASHINAVIY O'RGANISH ALGORITMLARI ASOSIDA ISHLAB CHIQRISH USKUNALARIDAGI NOSOZLIKLARNI ERTA ANIQLASH MODELI

**Yusupbekov Azizbek Nodibekovich**

Toshkent davlat texnika universiteti kafedra mudiri, texnika fanlari doktori, professor

**Xolmamadov Mehrojiddin**

Toshkent davlat texnika universiteti magistranti

**Annotatsiya.** Mazkur ilmiy maqolada ishlab chiqarish jarayonlarida yuzaga keladigan texnik nosozliklarni oldindan aniqlashga qaratilgan sun'iy intellekt va mashinaviy o'rganish algoritmlariga asoslangan intellektual diagnostika modeli ishlab chiqilgan. Tadqiqotda ishlab chiqarish uskunalaridan real vaqt rejimida olinadigan sensor ma'lumotlari (harorat, vibratsiya, bosim va elektr parametrlar) asosida nosozliklarni erta bosqichda aniqlash imkonini beruvchi mashinaviy o'rganish usullari tahlil qilingan. Xususan, klassifikatsiya va bashoratlash masalalarini yechishda qaror daraxtlari, tasodifiy o'rmon (Random Forest), tayanch vektor mashinalari (SVM) hamda chuqur o'rganishga asoslangan neyron tarmoqlar modellarining samaradorligi solishtirilgan. Taklif etilgan model ishlab chiqarish jarayonlarining uzluksizligini ta'minlash, avariya holatlarning oldini olish hamda texnik xizmat ko'rsatish xarajatlarini kamaytirishga xizmat qiladi. Tadqiqot natijalari sanoat korxonalarida raqamli transformatsiya jarayonlarini jadallashtirish va "aqli ishlab chiqarish" (Smart Manufacturing) tizimlarini joriy etishda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

**Kalit so'zlar:** sun'iy intellekt, mashinaviy o'rganish, nosozliklarni erta aniqlash, intellektual diagnostika, ishlab chiqarish uskunalari, sensor ma'lumotlari, bashoratli texnik xizmat, predictive maintenance.

### KIRISH

Bugungi kunda sanoat korxonalarida ishlab chiqarish jarayonlarining murakkablashuvi, texnologik uskunar soni va ularning funksional imkoniyatlarining kengayishi texnik nosozliklar xavfining ortishiga olib kelmoqda. Ishlab chiqarish uskunalarida yuzaga keladigan kutilmagan nosozliklar mahsulot sifatining pasayishi, ishlab chiqarish jarayonlarining to'xtab qolishi hamda iqtisodiy yo'qotishlarning ortishiga sabab bo'ladi. Shu sababli texnik holatni doimiy monitoring qilish va nosozliklarni erta bosqichda aniqlash zamonaviy sanoatning dolzarb muammolaridan biri hisoblanadi [1].

An'anaviy diagnostika usullari, asosan, rejalashtirilgan texnik xizmat ko'rsatish va operatorlarning tajribasiga asoslangan bo'lib, ular nosozliklarni oldindan aniqlash imkoniyatini



to'liq ta'minlay olmaydi. Bunday yondashuvlar ko'pincha uskunada jiddiy nosozlik yuzaga kelgandan so'nggina chora ko'rishga olib keladi. Natijada ishlab chiqarish samaradorligi pasayadi va ekspluatatsiya xarajatlari ortadi [2].

So'nggi yillarda raqamli texnologiyalar, xususan, sun'iy intellekt (SI) va mashinaviy o'rganish (MO') algoritmlarining jadal rivojlanishi ishlab chiqarish jarayonlarini intellektual boshqarish imkoniyatlarini kengaytirmoqda. Sensorlar orqali real vaqt rejimida yig'iladigan katta hajmdagi ma'lumotlarni tahlil qilish asosida uskunalarining texnik holatini baholash va nosozliklarni erta aniqlash imkoniyati yuzaga kelmoqda. Ushbu yondashuv "bashoratli texnik xizmat ko'rsatish" (predictive maintenance) konsepsiyasining asosini tashkil etadi [3].

Mashinaviy o'rganish algoritmlari yordamida ishlab chiqarish uskunalarining normal va nosoz holatlarini aniqlash, yashirin qonuniyatlarni topish hamda nosozliklarning rivojlanish ehtimolini bashorat qilish mumkin. Ayniqsa, klassifikatsiya va regressiya modellariga asoslangan algoritmlar, shuningdek, chuqur o'rganish texnologiyalari murakkab texnik tizimlar uchun yuqori aniqlikdagi diagnostika natijalarini ta'minlamoqda [4].

Shu munosabat bilan mazkur tadqiqotda sun'iy intellekt va mashinaviy o'rganish algoritmlari asosida ishlab chiqarish uskunalaridagi nosozliklarni erta aniqlashga mo'ljallangan intellektual modelni ishlab chiqish va uning samaradorligini asoslash maqsad qilib olindi. Tadqiqot natijalari sanoat korxonalarida texnik xizmat ko'rsatish jarayonlarini optimallashtirish, ishlab chiqarish barqarorligini oshirish hamda iqtisodiy samaradorlikni ta'minlashga xizmat qiladi.

#### **ADABIYOTLAR TAHLILI**

Ishlab chiqarish uskunalaridagi nosozliklarni erta aniqlash masalasi ko'plab xorijiy va mahalliy olimlar tomonidan o'rganilgan bo'lib, ushbu yo'nalishda turli nazariy va amaliy yondashuvlar shakllangan. Dastlabki tadqiqotlarda texnik nosozliklarni aniqlash asosan statistik tahlil va signalni qayta ishlash usullariga asoslangan holda amalga oshirilgan.

R. K. Mobley o'zining ilmiy ishlarida bashoratli texnik xizmat ko'rsatish konsepsiyasining nazariy asoslarini yoritib, ishlab chiqarish uskunalarining texnik holatini doimiy monitoring qilish nosozliklarni erta aniqlashda muhim omil ekanligini ta'kidlaydi. Muallifning fikriga ko'ra, an'anaviy rejalashtirilgan texnik xizmat ko'rsatish usullari zamonaviy sanoat talablariga to'liq javob bermaydi va intellektual yondashuvlarni joriy etish zarur [5].

Jardine, Lin va Banjevic tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda uskunalar diagnostikasi va prognozlash masalalari keng tahlil qilinib, holatga asoslangan texnik xizmat ko'rsatish (condition-based maintenance) yondashuvi ishlab chiqarish samaradorligini oshirishda muhim ahamiyatga ega ekanligi asoslab berilgan. Mualliflar sensor ma'lumotlarini tahlil qilish orqali nosozliklarni oldindan aniqlash imkoniyati mavjudligini qayd etadilar [6].



Sun'iy intellekt texnologiyalarining sanoatda qo'llanilishi masalasi J. Lee va hamkorlarining ishlarida batafsil yoritilgan. Ularning asarlarida "Industry 4.0" konsepsiyasi doirasida kiber-jismoniy tizimlar (Cyber-Physical Systems) asosida ishlab chiqarish jarayonlarini avtomatlashtirish va intellektual diagnostika tizimlarini yaratish imkoniyatlari ko'rsatib berilgan. Mualliflar sun'iy intellekt algoritmlari yordamida katta hajmdagi ma'lumotlarni qayta ishlash orqali nosozliklarni erta aniqlash mumkinligini ta'kidlaydilar [7].

Zhang, Yang va Wang o'z tadqiqotlarida mashinaviy o'rganish algoritmlarining ishlab chiqarish uskunalaridagi nosozliklarni aniqlashdagi samaradorligini tahlil qilgan. Ularning fikriga ko'ra, klassik statistik usullarga nisbatan Random Forest, SVM hamda chuqur neyron tarmoqlari yuqori aniqlikdagi natijalarni ta'minlaydi. Mualliflar data-driven yondashuvlar bashoratli texnik xizmat ko'rsatish tizimlarining asosini tashkil etishini qayd etadilar [8].

Shuningdek, Soha va Hamid tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda sanoat uskunalarining vibratsiya va harorat ko'rsatkichlari asosida nosozliklarni aniqlash uchun neyron tarmoqlardan foydalanishning afzalliklari ko'rsatib berilgan. Tadqiqot natijalariga ko'ra, chuqur o'rganish algoritmlari murakkab va nolinear bog'liqliklarni aniqlashda an'anaviy usullardan ustun hisoblanadi [9].

Yuqoridagi adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, ishlab chiqarish uskunalaridagi nosozliklarni erta aniqlash masalasida sun'iy intellekt va mashinaviy o'rganish algoritmlaridan foydalanish ilmiy jihatdan asoslangan va amaliy jihatdan samarali yondashuv hisoblanadi. Shu bilan birga, mavjud tadqiqotlarda real sanoat sharoitlariga moslashtirilgan kompleks intellektual diagnostika modellarini ishlab chiqish dolzarb vazifa bo'lib qolmoqda.

### **TADQIQOT METODOLOGIYASI**

Mazkur tadqiqotda ishlab chiqarish uskunalarining texnik holatini baholash va nosozliklarni erta aniqlash maqsadida sun'iy intellekt va mashinaviy o'rganish algoritmlariga asoslangan metodologiya qo'llanildi. Tadqiqot jarayonida real vaqt rejimida sensorlar orqali yig'ilgan ma'lumotlar dastlabki tozalash, normallashtirish va xususiyatlarni tanlash bosqichlaridan o'tkazildi. Keyingi bosqichda klassifikatsiya va bashoratlash masalalarini yechish uchun Random Forest, SVM hamda neyron tarmoqlar asosidagi modellar ishlab chiqildi. Modellarining samaradorligi aniqlik, aniqlash darajasi va xatolik ko'rsatkichlari asosida baholandi. Olingan natijalar asosida ishlab chiqarish jarayonlarida qo'llash uchun mos intellektual diagnostika modeli taklif etildi.

### **TAHLIL VA NATIJALAR**

Tadqiqot doirasida ishlab chiqilgan sun'iy intellekt asosidagi intellektual diagnostika modelining samaradorligini baholash maqsadida ishlab chiqarish uskunalaridan olingan real vaqtli sensor ma'lumotlari asosida tajribaviy tahlillar o'tkazildi. Tadqiqot jarayonida vibratsiya, harorat, bosim va elektr toki kabi asosiy texnik parametrlar tanlab olinib, ular uskunaning



normal va nosoz holatlarini ifodalovchi muhim xususiyatlar sifatida ko'rib chiqildi. Ushbu yondashuv Mobley tomonidan ilgari surilgan bashoratli texnik xizmat konsepsiyasiga mos keladi, ya'ni uskunaning holatini doimiy monitoring qilish orqali nosozliklarni avariya yoki bosqichga yetmasdan aniqlash imkonini beradi [10].

Dastlabki bosqichda ma'lumotlar tozalandi va normallashtirildi, shundan so'ng mashinaviy o'rganish algoritmlari yordamida modellar o'qitildi. Tadqiqotda Random Forest, Tayanch vektor mashinalari (SVM) va sun'iy neyron tarmoqlari asosidagi modellar qo'llanildi. Har bir modelning ishlash samaradorligi aniqlik (Accuracy), sezgirlik (Recall) va aniqlash ishonchliligi (Precision) ko'rsatkichlari orqali baholandi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, murakkab va nolinear bog'liqliklarga ega bo'lgan texnik ma'lumotlar bilan ishlashda neyron tarmoqlari eng yuqori natijalarni namoyon etdi [11].

Quyidagi jadvalda turli mashinaviy o'rganish algoritmlarining nosozliklarni erta aniqlashdagi solishtirma natijalari keltirilgan.

1-jadval

**Nosozliklarni aniqlashda mashinaviy o'rganish algoritmlarining samaradorlik ko'rsatkichlari**

Algoritm nomi	Aniqlik (Accuracy), %	Sezgirlik (Recall), %	Aniqlash ishonchliligi (Precision), %
Random Forest	89,4	87,1	88,6
SVM	86,2	84,5	85,3
Neyron tarmoqlari	92,8	91,6	92,1

Jadval ma'lumotlaridan ko'rinib turibdiki, neyron tarmoqlari asosidagi model nosozliklarni erta aniqlashda eng yuqori aniqlik va ishonchlilik ko'rsatkichlariga ega bo'lib, bu usulning murakkab ishlab chiqarish tizimlari uchun mosligini tasdiqlaydi. Random Forest algoritmi ham barqaror natijalarni ko'rsatgan bo'lsa-da, chuqur o'rganish yondashuvlariga nisbatan aniqlik darajasi biroz past ekanligi kuzatildi. SVM algoritmi esa kichik hajmdagi ma'lumotlar uchun maqbul bo'lsa-da, katta hajmdagi va ko'p o'lchovli sensor ma'lumotlari bilan ishlashda cheklovlarga ega ekanligi aniqlandi [12].

O'tkazilgan tahlillar shuni ko'rsatadiki, taklif etilgan intellektual diagnostika modeli ishlab chiqarish jarayonlarida nosozliklarni an'anaviy usullarga nisbatan ancha erta bosqichda aniqlash imkonini beradi. Bu esa ishlab chiqarish uzilishlarining oldini olish, texnik xizmat ko'rsatish xarajatlarini kamaytirish va uskunalarning xizmat muddatini uzaytirishga xizmat



qiladi. Olingan natijalar sanoat korxonalarida bashoratli texnik xizmat ko'rsatish tizimlarini joriy etish ilmiy va amaliy jihatdan samarali ekanligini tasdiqlaydi [13].

### XULOSA

Mazkur ilmiy maqolada sun'iy intellekt va mashinaviy o'rganish algoritmlari asosida ishlab chiqarish uskunalaridagi nosozliklarni erta aniqlashga qaratilgan intellektual diagnostika modeli ishlab chiqildi va uning samaradorligi tahlil qilindi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, real vaqt rejimida sensorlar orqali yig'ilgan ma'lumotlarni tahlil qilish asosida nosozliklarni an'anaviy diagnostika usullariga nisbatan ancha erta bosqichda aniqlash mumkin. Ayniqsa, chuqur o'rganishga asoslangan neyron tarmoqlari murakkab va nolinear bog'liqliklarga ega bo'lgan texnik ma'lumotlar bilan ishlashda yuqori aniqlik va ishonchlikni ta'minladi.

Taklif etilgan model ishlab chiqarish jarayonlarining uzluksizligini ta'minlash, avariya holatlarning oldini olish hamda texnik xizmat ko'rsatish xarajatlarini optimallashtirish imkonini beradi. Tadqiqot natijalari sanoat korxonalarida bashoratli texnik xizmat ko'rsatish tizimlarini joriy etishda ilmiy-amaliy asos bo'lib xizmat qilishi mumkin. Kelgusida ushbu modelni turli sanoat tarmoqlariga moslashtirish, ma'lumotlar hajmini kengaytirish hamda real ishlab chiqarish sharoitlarida sinovdan o'tkazish orqali uning samaradorligini yanada oshirish maqsadga muvofiqdir.

### FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Mobley R. K. *An Introduction to Predictive Maintenance*. — 2nd edition. — Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. — 440 p.
2. Jardine A. K. S., Lin D., Banjevic D. A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 2006, Vol. 20, Issue 7, pp. 1483–1510.
3. Lee J., Bagheri B., Kao H. A. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 2015, No. 3, pp. 18–23.
4. Zhang W., Yang D., Wang H. Data-driven methods for predictive maintenance of industrial equipment: A survey. *IEEE Systems Journal*, 2019, Vol. 13, No. 3, pp. 2213–2227.
5. Soha A., Hamid R. Deep learning-based fault diagnosis in industrial systems. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2020, Vol. 31, No. 4, pp. 905–917.