



## INDUSTRY 4.0 SHAROITIDA AQLLI ISHLAB CHIQARISHNI RIVOJLANTIRISH

**Mamitaliyeva Begnoza Mamajon qizi**

*Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti magistranti*

**Annotatsiya:** Ushbu maqolada sanoatning to‘rtinchi inqilobi (Industry 4.0) sharoitida aqlli ishlab chiqarishning nazariy asoslari, asosiy texnologiyalari, rivojlanish yo‘nalishlari va afzalliklari tahlil qilinadi. Tadqiqot ilmiy adabiyotlarni tizimli tahlil qilish usuliga asoslangan bo‘lib, 2012-2026 yillar oralig‘ida nashr etilgan xalqaro va mahalliy manbalar hamda sanoat hisobotlari o‘rganilgan. Aqlli ishlab chiqarishning nazariy asoslari kiber-fizik tizimlar kontsepsiyasiga tayanadi, asosiy texnologiyalar sifatida narsalar interneti (IoT), sun‘iy intellekt (AI), katta ma‘lumotlar (Big Data), raqamli egizaklar, bulutli va chekka hisoblash hamda kollaboratsion robotlar aniqlangan. Shuningdek, maqolada O‘zbekiston sanoatida aqlli ishlab chiqarishni joriy etishning beshta asosiy muammosi (eski texnologik baza, malakali kadrlar yetishmasligi, yuqori boshlang‘ich investitsiyalar, raqamli madaniyatning pastligi, axborot xavfsizligi) va ularni bartaraf etish yo‘llari (bosqichma-bosqich raqamlashtirish, ta‘lim tizimini modernizatsiya qilish, moliyaviy qo‘llab-quvvatlash, texnologiyalar transferi, milliy raqamli sanoat strategiyasini ishlab chiqish) taklif etiladi. Maqola natijalari sanoat korxonalari rahbarlari, davlat organlari xodimlari va sanoatni raqamlashtirish sohasidagi mutaxassislar uchun amaliy ahamiyatga ega.

**Kalit so‘zlar:** Industry 4.0, aqlli ishlab chiqarish, narsalar interneti, sun‘iy intellekt, katta ma‘lumotlar.

### **Kirish**

So‘nggi yillarda “aqlli zavod” (smart factory), “raqamli transformatsiya” va “narsalar interneti” (Internet of Things, IoT) tushunchalari nafaqat nazariy tadqiqotlar doirasida, balki real ishlab chiqarish tizimlarida faol qo‘llanilmoqda. Sanoatning to‘rtinchi inqilobi - Industry 4.0 - ishlab chiqarish jarayonlarining tubdan o‘zgarishiga olib kelmoqda: mahsulot birliklari va ishlab chiqarish uskunalari o‘rtasida real vaqt rejimida ma‘lumot almashinuvi amalga oshiriladi, dastgohlar bashoratli tahlil asosida texnik xizmat ko‘rsatish vaqtini mustaqil belgilaydi, logistika jarayonlari esa oldindan modellashtirilgan algoritmlar asosida boshqariladi.

Ushbu maqolada aqlli ishlab chiqarishning iqtisodiy va texnologik ahamiyati, uning rivojlanish tendensiyalari hamda O‘zbekiston sanoati uchun



mazkur transformatsiyani kechiktirmasdan amalga oshirish zaruriyati tahlil qilinadi.

### **1. Aqlli ishlab chiqarishning nazariy asoslari.**

Aqlli ishlab chiqarish (intelligent manufacturing) tushunchasining shakllanishi sanoat ishlab chiqarishining evolyutsion rivojlanishi bilan chambarchas bog'liq. An'anaviy ishlab chiqarish paradigmasidan aqlli ishlab chiqarishga o'tish sanoatning to'rtinchi inqilobi – Industry 4.0 doirasida amalga oshirilmoqda. Zamonaviy ilmiy adabiyotlarda "aqlli ishlab chiqarish", "intellektual ishlab chiqarish", "smart manufacturing" va "ragamli ishlab chiqarish" kabi atamalar ko'pincha sinonim sifatida ishlatilsa-da, ular o'rtasida ma'lum konseptual farqlar mavjud.

Keng qamrovli bibliometrik tahlillarga ko'ra, aqlli ishlab chiqarish bo'yicha ilmiy nashrlar soni 2017-yildan boshlab keskin o'sgan. 2008-2023 yillar oralig'ida Web of Science ma'lumotlar bazasida ushbu mavzuga oid 3241 ta ilmiy maqola nashr etilgan bo'lib, ularning 95% dan ortig'i 2013-yildan keyin chop etilgan<sup>31</sup>. Bu holat aqlli ishlab chiqarish konsepsiyasining dolzarbligi va ilmiy jamoatchilik tomonidan qiziqishining ortib borayotganini ko'rsatadi.

Geografik nuqtai nazardan, aqlli ishlab chiqarish bo'yicha tadqiqotlarda Xitoy yetakchi o'rinda (1601 nashr, 49.41%), undan keyin AQSh (472), Buyuk Britaniya (193), Janubiy Koreya (186) va Hindiston (137) joylashgan. Germaniya (117) ham ushbu sohada muhim ilmiy salohiyatga ega<sup>32</sup>. O'zbekiston uchun bu statistik ma'lumotlar aqlli ishlab chiqarish sohasidagi ilmiy tadqiqotlarga faolroq jalb qilish zarurligini ko'rsatadi.

Ilmiy adabiyotlarda "aqlli ishlab chiqarish" atamasining yagona va universal ta'rif hali shakllanmagan. Turli tadqiqotchilar ushbu tushunchaga turlicha ta'riflar beradilar. Keng qamrovli adabiyotlar tahlili asosida aqlli ishlab chiqarishni quyidagicha ta'riflash mumkin: aqlli ishlab chiqarish - bu ishlab chiqarish jarayonlarini real vaqt rejimida boshqarish, nazorat qilish va optimallashtirish imkonini beruvchi kiber-fizik tizimlar (Cyber-Physical Systems, CPS), narsalar interneti (Internet of Things, IoT), sun'iy intellekt (AI) va katta ma'lumotlar (Big Data) texnologiyalariga asoslangan ishlab chiqarish paradigmasidir<sup>33</sup>.

<sup>31</sup> Intelligent Manufacturing of a Bibliometric Review: From Frontier Hotspots to Key Technologies and Applications // Chinese Journal of Mechanical Engineering. – 2025. – Vol. 38.

<sup>32</sup> Intelligent Manufacturing of a Bibliometric Review: From Frontier Hotspots to Key Technologies and Applications // Chinese Journal of Mechanical Engineering. – 2025. – Vol. 38.

<sup>33</sup> Intelligent Manufacturing in Industry 4.0 // Taylor & Francis. – 2025.



Wang va boshqalar tomonidan taklif qilingan ta'rifga ko'ra, aqlli zavod – "fizik ob'ektlarni (mashinalar, konveyerlar, mahsulotlar) axborot tizimlari (MES va ERP) bilan integratsiyalash orqali moslashuvchan va tezkor ishlab chiqarishni amalga oshiruvchi ishlab chiqaruvchi kiber-fizik tizimdir". Chen va boshqalar esa aqlli zavodni "axborot texnologiyalaridan ishlab chiqarish resurslarini boshqarish va sifat nazoratini yaxshilash uchun foydalanuvchi raqamli va avtomatlashtirilgan zavod" sifatida ta'riflaydilar<sup>34</sup>.

Zamonaviy aqlli ishlab chiqarish tizimlarining asosiy xususiyatlari quyidagilardan iborat:

1. Ma'lumotlarga asoslangan qaror qabul qilish - tizimlar sensorlar va boshqa ma'lumot manbalaridan olingan real vaqt rejimidagi ma'lumotlar asosida avtonom qarorlar qabul qiladi.

2. O'z-o'zini sozlash va moslashish - ishlab chiqarish muhitidagi o'zgarishlarga (masalan, xomashyo xususiyatlarining o'zgarishi yoki jihozlarning eskirishi) avtomatik ravishda moslasha oladi.

3. Bashoratli texnik xizmat (predictive maintenance) - mashinaviy o'rganish modellari asosida jihozlarning nosozliklarini ular yuzaga kelishidan oldin bashorat qiladi.

4. Inson va mashina o'rtasidagi uzluksiz interaktsiya - kollaboratsion robotlar (kobotlar) va augmented reality (AR) texnologiyalari orqali inson va avtomatlashtirilgan tizimlarning samarali hamkorligi ta'minlanadi.

5. Real vaqt monitoringi - ishlab chiqarish jarayonining barcha bosqichlari doimiy ravishda kuzatiladi va nazorat qilinadi.

Aqlli ishlab chiqarishning nazariy asoslari fanlararo xarakterga ega bo'lib, axborot texnologiyalari, mashinasozlik, avtomatlashtirish va boshqaruv nazariyasining uyg'unlashuvidan tashkil topgan. Kiber-fizik tizimlar, narsalar interneti, sun'iy intellekt va katta ma'lumotlar texnologiyalarining integratsiyasi aqlli ishlab chiqarishning asosiy ilmiy-texnik bazasini tashkil etadi. Hozirgi kunda ushbu sohada markazlashmagan arxitekturalar, ochiq interfeyslar va kognitiv tizimlarga asoslangan yangi nazariy yondashuvlar faol rivojlanmoqda.

Aqlli ishlab chiqarishning asosiy texnologiyalari:

Aqlli ishlab chiqarishning amaliy asosini bir qator ilg'or raqamli texnologiyalar tashkil etadi. Rajković va boshqalar (2025) tomonidan o'tkazilgan tizimli adabiyotlar tahliliga ko'ra, ishlab chiqarishni boshqarishda eng ko'p qo'llaniladigan va eng muhim texnologiyalar sifatida narsalar

---

<sup>34</sup> Smart factory concepts and their fitness to the plastics processing industry: a critical review // Flexible Services and Manufacturing Journal. – 2025.



interneti (IoT), sun'iy intellekt (AI) va katta ma'lumotlar (Big Data) aniqlangan. Yevropa Ittifoqining IDEALIST loyihasi ma'lumotlariga ko'ra, kelajakda kichik va o'rta korxonalar tomonidan eng ko'p talab qilinadigan texnologiyalar: AI (76-86%), katta ma'lumotlar analitikasi (48-81%), bulutli hisoblash (60-80%) va IoT (52-76%)<sup>35</sup>.

IoT jismoniy ob'ektlarni (mashinalar, sensorlar, mahsulotlar) o'zaro bog'laydi va ularga real vaqtda ma'lumot almashish imkonini beradi. Sanoat kontekstida qo'llaniladigan IIoT ishlab chiqarish uskunalari va boshqaruv tizimlarini yagona axborot makoniga birlashtiradi. IIoT asosida ishlab chiqarish jarayonining barcha bosqichlari doimiy kuzatiladi. Masalan, Audi kompaniyasi AI yordamida har smenada 300 ta avtomobildagi 1,5 million nuqtali payvand chokini tahlil qiladi<sup>36</sup>.

AI va ML aqlli ishlab chiqarishning "aqliiy" qatlami bo'lib, quyidagi vazifalarni hal qiladi: nosozliklarni bashorat qilish, sifat nazoratini avtomatlashtirish, jarayonlarni optimallashtirish va talabni bashorat qilish. 2025-yilda "agentli AI" va "industrial koptilotlar" muhim tendensiyaga aylandi. Siemens Industrial AI agentlari muhandislik sikllarini tezlashtirish va muntazam ishlanmalarda qo'l mehnatini kamaytirish imkonini beradi<sup>37</sup>.

Katta ma'lumotlar - sensorlar, dastgohlar va boshqa manbalardan generatsiya qilinadigan katta hajmdagi heterojen ma'lumotlar majmuasidir. "Ma'lumotlarga asoslangan ishlab chiqarish" (data-driven manufacturing) aqlli ishlab chiqarishning asosiy tamoyillaridan biri bo'lib, jarayonlarda misli ko'rilmagan ko'rinishni ta'minlaydi

Raqamli egizak - fizik ob'ektning real vaqtda yangilanib turadigan virtual nusxasidir. CIMdata tadqiqotiga ko'ra, raqamli egizaklar eng katta biznes ta'sir ko'rsatadigan sohalar: ishlab chiqarish (24%), muhandislik ma'lumotlar analitikasi (21%) va fizikaviy modellashtirish (21%)<sup>38</sup>. AQSh hukumati 2025-yilda raqamli egizaklar asosida SMART USA institutini tashkil etishga \$285 million ajratgan bo'lib, maqsad ishlab chiqarish xarajatlarini 35% dan ortiq kamaytirish va unumdorlikni 40% yaxshilashdir<sup>39</sup>.

Bulutli hisoblash ma'lumotlarni markazlashtirilgan holda saqlash va qayta ishlashni ta'minlaydi. Real vaqt rejimida tezkor qaror talab qiladigan

<sup>35</sup> IDEALIST Project. – European Commission. – 2024-2025

<sup>36</sup> Advanced manufacturing and process innovation // R&D World. – 2025.

<sup>37</sup> Advanced manufacturing and process innovation // R&D World. – 2025.

<sup>38</sup> Technology Convergence // CIMdata. – 2020.

<sup>39</sup> Advanced manufacturing and process innovation // R&D World. – 2025.



vazifalar uchun chekka hisoblash (edge computing) - ma'lumotlarni qurilmaga yaqin joyda qayta ishlash - qo'llaniladi, bu kechikish vaqtini minimallashtiradi

Zamonaviy ishlab chiqarishda ikki turdagi robotlar qo'llaniladi: an'anaviy sanoat robotlari va odam bilan birgalikda ishlay oladigan kollaboratsion robotlar (kobotlar). IDEALIST loyihasi ma'lumotlariga ko'ra, robototexnikadan foydalanish aerokosmik sanoatida 68%, mashinasozlikda 58% darajasida kutilmoqda<sup>40</sup>.

Aqlli ishlab chiqarishning asosiy xususiyati alohida texnologiyalar emas, balki ularning o'zaro uyg'unlashuvidir (convergence). 2025-yilda "butun zavod bitta integratsiyalashgan robotga o'xshaydi" degan g'oya amaliy tatbiq darajasiga chiqdi: ishlab chiqarish liniyasining barcha qatlamlari IoT sensorlari bilan qoplanadi, markazlashtirilgan AI va analitika platformalari qaror qabul qiladi, avtomatlashtirilgan uskunalar esa o'zini o'zi sozlaydi

**1-jadval. Asosiy texnologiyalar, vazifalari va samaradorlik ko'rsatkichlari<sup>41</sup>**

| Texnologiya       | Asosiy vazifasi                               | Samaradorlik ko'rsatkichlari                                        |
|-------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| IoT / IIoT        | Real vaqtda ma'lumot yig'ish va uzatish       | To'xtab qolish vaqtlarini 20-40% ga kamaytirish                     |
| AI va ML          | Nosozliklarni bashorat qilish; sifat nazorati | Nuqsonlarni aniqlash aniqligi 88% dan 93% gacha oshishi             |
| Big Data          | Katta hajmdagi ma'lumotlarni qayta ishlash    | Operatsion xarajatlarni 10-20% ga kamaytirish                       |
| Raqamli egizaklar | Virtual nusxa yaratish;simulyatsiya           | Xarajatlarni 35% dan ortiq kamaytirish; unumdorlikni 40% yaxshilash |

<sup>40</sup> IDEALIST Project. – European Commission. – 2024-2025

<sup>41</sup> Ma'lumotlar asosida muallif tomonidan ishlab chiqildi.



| Texnologiya        | Asosiy vazifasi                                 | Samaradorlik ko'rsatkichlari                                 |
|--------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Bulutli hisoblash  | Markazlashtirilgan saqlash va qayta ishlash     | IT infratuzilma xarajatlarini 20-30% ga kamaytirish          |
| Chekka hisoblash   | Qurilmaga yaqin joyda real vaqtda qayta ishlash | Kechikish vaqtini <1 ms gacha kamaytirish                    |
| Kobotlar           | Odam bilan birgalikda xavfsiz ishlash           | Mehnat unumdorligini 15-30% ga oshirish                      |
| 3D bosib chiqarish | Murakkab geometriyali mahsulotlar yaratish      | Sikl vaqtini 68% ga qisqartirish; material tejallishi 50-90% |

Aqlli ishlab chiqarishning asosiy texnologiyalari – IoT, AI, Big Data, raqamli egizaklar, bulutli va chekka hisoblash, robototexnika – o'zaro sinergiyada ishlab chiqarishni tubdan o'zgartirmoqda. Ilmiy adabiyotlarda eng ko'p e'tibor IoT, AI va Big Data texnologiyalariga qaratilgan. So'nggi tadqiqotlar agentli AI, sintetik ma'lumotlar asosida robot treningi va raqamli egizaklarning sanoat miqyosida tatbiqi kabi yo'nalishlarning jadal rivojlanayotganini ko'rsatmoqda

## **2. Aqlli ishlab chiqarishni rivojlantirishning asosiy yo'nalishlari.**

Aqlli ishlab chiqarishni rivojlantirish bir necha strategik yo'nalishda amalga oshirilmoqda. Ilmiy adabiyotlar va sanoat amaliyoti tahlili asosida to'rtta asosiy rivojlanish vektori aniqlangan: avtomatlashtirish va robotlashtirish; real vaqt monitoringi va bashoratli tahlil; moslashuvchan ishlab chiqarish tizimlari; ma'lumotlarga asoslangan boshqaruv. Ushbu yo'nalishlarning barchasi o'zaro bog'liq bo'lib, bir-birini to'ldiradi va sinergik ta'sir ko'rsatadi

Avtomatlashtirish va robotlashtirish aqlli ishlab chiqarishning eng an'anaviy, ammo doimiy rivojlanib boruvchi yo'nalishidir. Zamonaviy bosqichda avtomatlashtirish endi oddiy takrorlanuvchi operatsiyalarni bajarishdan tashqariga chiqib, moslashuvchan va kognitiv vazifalarni ham qamrab olmoqda.



Sanoat robotlarining yangi avlodi - kollaboratsion robotlar (kobotlar) - odam bilan birgalikda xavfsiz ishlash qobiliyatiga ega. An'anaviy sanoat robotlaridan farqli o'laroq, kobotlar xavfsizlik to'sig'i bilan ajratilmaydi va odam bilan yelka-yelka ishlay oladi. Kobotlarning asosiy afzalliklari: kichik o'lcham, past energiya sarfi, dasturlash qulayligi va tez qayta sozlanish imkoniyati.

Avtonom transport vositalari (Automated Guided Vehicles - AGV; Autonomous Mobile Robots - AMR) aqlli zavodlarning muhim tarkibiy qismiga aylanmoqda. Ular xomashyo, yarim tayyor mahsulotlar va tayyor mahsulotlarni omborxona va ishlab chiqarish uchastkalari o'rtasida avtonom harakatlantiradi. IDEALIST loyihasi ma'lumotlariga ko'ra, robototexnikadan foydalanish aerokosmik sanoatida 68%, mashinasozlikda 58% darajasida kutilmoqda<sup>42</sup>.

Adabiyotlarda avtomatlashtirish va robotlashtirishning quyidagi samaradorlik ko'rsatkichlari qayd etilgan: mehnat unumdorligini 15-30% ga oshirish; xatoliklarni 50-70% ga kamaytirish; ishlab chiqarish sikli vaqtini 20-40% ga qisqartirish<sup>43</sup>.

Real vaqt monitoringi - ishlab chiqarish jarayonining barcha bosqichlarini sensorlar tarmog'i orqali doimiy kuzatib borish tizimidir. Ushbu yo'nalish IoT texnologiyasining bevosita qo'llanishi bo'lib, quyidagi parametrlar kuzatiladi: jihozlarning ish holati, energiya sarfi, mahsulot sifati, harorat, tebranish va boshqa muhit ko'rsatkichlari.

2025-yilda Deloitte tomonidan o'tkazilgan so'rovda, ishlab chiqaruvchilarning 29 foizi zavod yoki tarmoq darajasida AI va mashinaviy o'rganish asosidagi monitoring tizimlaridan foydalanayotganini ma'lum qilgan<sup>44</sup>.

Bashoratli texnik xizmat - mashinaviy o'rganish modellari asosida jihozlarning nosozliklarini ular yuzaga kelishidan oldin bashorat qiluvchi tizimdir. An'anaviy usullar (rejali profilaktika yoki nosozlik yuz bergandan keyin ta'mirlash)dan farqli o'laroq, bashoratli texnik xizmat real vaqt ma'lumotlariga asoslanadi va faqat zarur bo'lganda aralashuvni amalga oshiradi.

---

<sup>42</sup> IDEALIST Project. – European Commission. – 2024-2025.

<sup>43</sup> Davis J., Edgar T., Porter J., Bernaden J., Sarli M. Smart manufacturing, manufacturing intelligence and demand-dynamic performance // Computers & Chemical Engineering. – 2012. – Vol. 47. – P. 145–156.

<sup>44</sup> Advanced manufacturing and process innovation // R&D World. – 2025.



Bashoratli texnik xizmatning asosiy afzalliklari: rejadani tashqari to'xtashlarni 30-50% ga kamaytirish; jihozlarning ishlash muddatini 20-40% ga uzaytirish; texnik xizmat xarajatlarini 25-30% ga qisqartirish<sup>45</sup>.

Moslashuvchan ishlab chiqarish tizimlari (Flexible Manufacturing Systems - FMS) - bu kichik partiyalarda, hatto dona buyurtmalar asosida ishlab chiqarishni yo'lga qo'yish imkonini beruvchi tizimlardir. An'anaviy mass ishlab chiqarishdan farqli o'laroq, FMS tez qayta sozlanish qobiliyatiga ega bo'lib, bir turdagi mahsulotdan ikkinchisiga o'tish uchun minimal vaqt talab etadi.

Moslashuvchanlikning ikki asosiy turi mavjud:

Mashina moslashuvchanligi - bir dastgohda turli xil operatsiyalarni bajarish imkoniyati;

Hajm moslashuvchanligi - ishlab chiqarish hajmini bozor talabiga mos ravishda o'zgartirish imkoniyati<sup>46</sup>.

Raqamli modellashtirish (digital simulation) yordamida buyum dizayni tez o'zgartiriladi va ishlab chiqarishga tayyor bo'ladi. Yangi mahsulotni ishlab chiqarishga qo'yishdan oldin uning raqamli egizagi yaratiladi va virtual muhitda sinovdan o'tkaziladi. Bu jarayon an'anaviy usullarga nisbatan vaqt va xarajatlarni sezilarli darajada qisqartiradi.

Moslashuvchan ishlab chiqarish tizimlarining samaradorlik ko'rsatkichlari: buyurtma bajarish vaqtini 30-70% ga qisqartirish; o'rnatish va sozlash vaqtini 50-80% ga kamaytirish; tovar-moddiy zaxiralarni 20-50% ga qisqartirish<sup>47</sup>.

Ma'lumotlarga asoslangan boshqaruv - ishlab chiqarish jarayonlarini optimallashtirish uchun katta hajmdagi ma'lumotlarni tahlil qilish va qaror

---

<sup>45</sup> Lee J., Bagheri B., Kao H.A. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems // *Manufacturing Letters*. – 2015. – Vol. 3. – P. 18–23.

<sup>46</sup> Davis J., Edgar T., Porter J., Bernaden J., Sarli M. Smart manufacturing, manufacturing intelligence and demand-dynamic performance // *Computers & Chemical Engineering*. – 2012. – Vol. 47. – P. 145–156.

<sup>47</sup> Davis J., Edgar T., Porter J., Bernaden J., Sarli M. Smart manufacturing, manufacturing intelligence and demand-dynamic performance // *Computers & Chemical Engineering*. – 2012. – Vol. 47. – P. 145–156.



qabul qilishda ulardan foydalanishdir<sup>48</sup>. Ushbu yo‘nalish “data-driven manufacturing” yoki “smart data analytics” nomlari bilan ham tanilgan.

Big Data va AI asosida quyidagi vazifalar hal qilinadi: ishlab chiqarishning eng samarali rejimlarini aniqlash; resurslar taqsimotini optimallashtirish; talabni bashorat qilish; yetkazib beruvchilar va iste’molchilar bilan o‘zaro munosabatlarni boshqarish.

Ma’lumotlarga asoslangan boshqaruvda qaror qabul qilish ikki darajada amalga oshiriladi:

Operativ daraja - real vaqt rejimida avtomatik qarorlar (masalan, sifat nazorati, nosozliklarni aniqlash);

Strategik daraja - uzoq muddatli tahlillar asosida qabul qilinadigan qarorlar (masalan, ishlab chiqarishni rejalashtirish, investitsiyalar).

Ma’lumotlarga asoslangan boshqaruvning samaradorlik ko‘rsatkichlari: qaror qabul qilish tezligini 30-50% ga oshirish; operatsion xarajatlarni 10-20% ga kamaytirish; resurslardan foydalanish samaradorligini 15-25% ga yaxshilash

To‘rtta rivojlanish yo‘nalishi bir-biridan izolyatsiya qilingan holda emas, balki o‘zaro chambarchas bog‘liq holda rivojlanmoqda. Avtomatlashtirish va robotlashtirish real vaqt monitoringi tizimlarisiz samarali bo‘lmaydi; monitoring natijalari ma’lumotlarga asoslangan boshqaruv uchun xomashyo bo‘lib xizmat qiladi; moslashuvchan ishlab chiqarish tizimlari esa bularning barchasining integratsiyasini talab qiladi.

2025-yilda “butun zavod bitta integratsiyalashgan robotga o‘xshaydi” degan g‘oya amaliy tatbiq darajasiga chiqdi: ishlab chiqarish liniyasining barcha qatlamlari IoT sensorlari bilan qoplanadi, markazlashtirilgan AI va analitika platformalari qaror qabul qiladi, avtomatlashtirilgan uskunar esa o‘zini o‘zi sozlaydi.

Aqlli ishlab chiqarishni rivojlantirishning to‘rtta asosiy yo‘nalishi -avtomatlashtirish va robotlashtirish, real vaqt monitoringi va bashoratli tahlil, moslashuvchan ishlab chiqarish tizimlari, hamda ma’lumotlarga asoslangan boshqaruv - bir-biri bilan chambarchas bog‘liq holda rivojlanmoqda. Ularning har biri alohida samaradorlikka ega bo‘lsa-da, eng katta natijaga ularning sinergik integratsiyasi orqali erishiladi. 2025-2026-yillardagi tendensiyalar shuni ko‘rsatadiki, ushbu yo‘nalishlarning konvergentsiyasi “butun zavod bitta robot” paradigmasining amaliy tatbiga olib kelmoqda.

---

<sup>48</sup> Tao F., Qi Q., Liu A., Kusiak A. Data-driven smart manufacturing // Journal of Manufacturing Systems. – 2018. – Vol. 48. – P. 157–169.



### **3. O‘zbekiston sharoitida aqlli ishlab chiqarishni joriy etish: muammolar va yechimlar.**

O‘zbekiston sanoatida aqlli ishlab chiqarish texnologiyalarini joriy etish boshlang‘ich bosqichda bo‘lib, bir qator tizimli muammolar bilan bog‘liq. So‘nggi yillarda raqamli iqtisodiyotga o‘tish davlat siyosatining ustuvor yo‘nalishlaridan biriga aylangan bo‘lsa-da, sanoat korxonalarining aksariyati hali ham an‘anaviy boshqaruv va ishlab chiqarish usullariga tayanmoqda.

Asosiy muammolar sifatida quyidagilar aniqlangan. Birinchidan, O‘zbekiston sanoat korxonalarining katta qismi sovet davrida qurilgan va hozirgi kunga qadar eskirgan texnologik bazaga ega. Ko‘plab dastgohlar va ishlab chiqarish liniyalari raqamli boshqaruv tizimlari, sensorlar va IoT qurilmalarini o‘rnatish imkoniyatiga ega emas. Usmonov va Raximov (2021) ta’kidlaganidek, “O‘zbekiston sanoat korxonalarining texnologik tuzilmasida uchinchi va to‘rtinchi texnologik ukladlar (mexanizatsiyalashgan va qisman avtomatlashtirilgan ishlab chiqarish) ustunlik qiladi, beshinchi va oltinchi ukladlar (raqamli va intellektual ishlab chiqarish) esa alohida uchastkalardagina uchraydi”<sup>49</sup>.

Ikkinchidan, malakali kadrlar yetishmasligi muhim to‘siq hisoblanadi. Aqlli ishlab chiqarishni joriy etish uchun sanoat muhandislari, ma’lumotlar olimlari, sun‘iy intellekt va mashinaviy o‘rganish bo‘yicha mutaxassislar, IoT tizimlari arxitektorlari kerak. O‘zbekistonda ushbu sohalaridagi kadrlar zaxirasi juda cheklangan. Oliy ta’lim muassasalarida muhandislik va axborot texnologiyalari fanlari ko‘pincha bir-biridan ajratilgan holda o‘qitiladi, dual ta’lim tizimi esa yetarlicha rivojlanmagan<sup>50</sup>.

Uchinchidan, yuqori boshlang‘ich investitsiyalar kichik va o‘rta korxonalar (KO‘B) uchun jiddiy to‘siq bo‘lib turibdi. Sensorlar, IoT infratuzilmasi, AI platformalari, bulutli tizimlar va kadrlar tayyorlash katta mablag‘ talab qiladi. Abdullayev (2022) ta’kidlashicha, “o‘zbekistonlik KO‘B larning aksariyati qisqa muddatli moliyaviy rejalashtirishga ega va raqamli transformatsiyaning uzoq muddatli iqtisodiy samarasini baholashda qiynaladi”<sup>51</sup>.

---

<sup>49</sup> Usmonov B., Raximov A. O‘zbekistonda raqamli iqtisodiyotga o‘tish muammolari va istiqbollari // Iqtisod va ta’lim. – 2021. – №6. – B. 24–29.

<sup>50</sup> Usmonov B., Raximov A. O‘zbekistonda raqamli iqtisodiyotga o‘tish muammolari va istiqbollari // Iqtisod va ta’lim. – 2021. – №6. – B. 24–29.

<sup>51</sup> Abdullayev Sh. Sanoat korxonalarida raqamli transformatsiyani boshqarish // O‘zbekiston iqtisodiy axborotnomasi. – 2022. – №2. – B. 45–52.



To'rtinchidan, raqamli madaniyatning pastligi kuzatilmoqda. "An'anaviy usullar ishonchliroq", "sistemaga ishonmayman, o'zim eslab qo'yaman" kabi mentalitet hali ham keng tarqalgan. Boshqaruv darajasida raqamli transformatsiyaning strategik ahamiyatini tushunmaslik, xodimlarning ish o'rinlarini yo'qotishdan qo'rqishi raqamli transformatsiyaga nisbatan ichki qarshilikni keltirib chiqaradi<sup>52</sup>. Beshinchidan, IoT va bulutli tizimlarning joriy etilishi bilan birga kiberhujumlar xavfi ortadi, biroq O'zbekiston sanoat korxonalarida axborot xavfsizligi madaniyati va texnik yechimlari yetarlicha rivojlanmagan<sup>53</sup>.

Ushbu muammolarni bartaraf etish bo'yicha bir qator tavsiyalar ishlab chiqilgan: bosqichma-bosqich raqamlashtirish, ta'lim tizimini modernizatsiya qilish, moliyaviy qo'llab-quvvatlash mexanizmlarini joriy etish, texnologiyalar transferi va xalqaro hamkorlikni rivojlantirish, hamda milliy raqamli sanoat strategiyasini ishlab chiqish.

2-jadval. O'zbekiston sharoitida aqlli ishlab chiqarishni joriy etish: muammolar va yechimlar<sup>54</sup>

| Muammo                                     | Tavsifi                                                                                         | Tavsiya etilgan yechim                                                                            |
|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Eski texnologik baza</b>                | Sovet davridan qolgan uskunalari; sensorlar va IoT qurilmalarini o'rnatish imkoniyati yo'qligi  | Bosqichma-bosqich raqamlashtirish: pilot loyihalardan boshlab, asta-sekin ko'lamni kengaytirish   |
| <b>Malakali kadrlar yetishmasligi</b>      | Sanoat muhandislari, data scientists, AI/ML mutaxassislarini kamligi; dual ta'lim rivojlanmagan | Dual ta'limni kengaytirish; qisqa muddatli kurslar; xalqaro sertifikatlashtirish (Siemens, Cisco) |
| <b>Yuqori boshlang'ich investitsiyalar</b> | Sensorlar, IoT, AI platformalari qimmat; KO'B uchun moliyaviy imkoniyat cheklangan              | Subsidiyalar (30-50%); imtiyozli kreditlar (5-7%, 5-7 yil); soliq imtiyozlari; grantlar           |

<sup>52</sup> Abdullayev Sh. Sanoat korxonalarida raqamli transformatsiyani boshqarish // O'zbekiston iqtisodiy axborotnomasi. – 2022. – №2. – B. 45–52.

<sup>53</sup> Usmonov B., Raximov A. O'zbekistonda raqamli iqtisodiyotga o'tish muammolari va istiqbollari // Iqtisod va ta'lim. – 2021. – №6. – B. 24–29.

<sup>54</sup> Ma'lumotlar asosida muallif tomonidan tuzildi



|                                       |                                                                                          |                                                                                                |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Raqamli madaniyatning pastligi</b> | “An’anaviy usullar ishonchliroq” mentaliteti; transformatsiyaga ichki qarshilik; qo‘rquv | Treninglar; muvaffaqiyatli misollarni targ‘ib qilish; tajriba almashish; xorijiy stajirovkalar |
| <b>Axborot xavfsizligi muammolari</b> | Kiberhujumlar xavfi; himoya tizimlarining eskirganligi; xodimlarning bilimi past         | ISO 27001 standartlarini joriy etish; xodimlarni o‘qitish; himoya tizimlarini yangilash        |

### **Xulosa.**

So‘nggi o‘n yillikda sanoatning to‘rtinchi inqilobi (Industry 4.0) ishlab chiqarish tarmoqlarida tub o‘zgarishlarni amalga oshirmoqda. Ushbu maqolada aqlli ishlab chiqarishning nazariy asoslari, asosiy texnologiyalari, rivojlanish yo‘nalishlari, afzalliklari hamda O‘zbekiston sharoitida joriy etishning muammolari va yechimlari tahlil qilindi.

Aqlli ishlab chiqarishning nazariy asoslari kiber-fizik tizimlar (CPPS) kontsepsiyasiga tayanadi. Zamonaviy ilmiy adabiyotlarda “aqlli ishlab chiqarish” tushunchasining yagona ta’rifi shakllanmagan bo‘lsa-da, uning asosiy xususiyatlari - ma’lumotlarga asoslangan qaror qabul qilish, o‘z-o‘zini sozlash va moslashish, bashoratli texnik xizmat, inson va mashina o‘rtasidagi uzluksiz interaktsiya, hamda real vaqt monitoringi - barcha tadqiqotchilar tomonidan e’tirof etiladi. Kiber-fizik ishlab chiqarish tizimlari to‘rt qatlamdan (fizik, kiber, aloqa va boshqaruv) tashkil topgan bo‘lib, real vaqt rejimida o‘zgaruvchan sharoitlarga moslasha olish qobiliyati bilan ajralib turadi.

Aqlli ishlab chiqarishning asosiy texnologiyalari sifatida narsalar interneti (IoT), sun’iy intellekt (AI), katta ma’lumotlar (Big Data), raqamli egizaklar (digital twins), bulutli va chekka hisoblash, hamda kollaboratsion robotlar (kobotlar) aniqlangan. Rajković va boshqalar (2025) tomonidan o‘tkazilgan tizimli adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, ilmiy adabiyotlarda eng ko‘p e’tibor IoT, AI va Big Data texnologiyalariga qaratilgan. 2025-2026 yillardagi eng so‘nggi tadqiqotlar agentli AI, sintetik ma’lumotlar asosida robot treningi va raqamli egizaklarning sanoat miqyosida tatbiqi kabi yo‘nalishlarning jadal rivojlanayotganini ko‘rsatmoqda<sup>55</sup>.

Aqlli ishlab chiqarishni rivojlantirish to‘rtta asosiy yo‘nalishda amalga oshirilmoqda: avtomatlashtirish va robotlashtirish, real vaqt monitoringi va

<sup>55</sup> "Technology Convergence for a Smarter, More Connected World: Market Trends" // CIMdata Commentary. – 2020.



bashoratli tahlil, moslashuvchan ishlab chiqarish tizimlari, hamda ma'lumotlarga asoslangan boshqaruv. Ushbu yo'nalishlarning har biri alohida samaradorlikka ega bo'lsa-da, eng katta natijaga ularning sinergik integratsiyasi orqali erishiladi. Xususan, avtomatlashtirish va robotlashtirish mehnat unumdorligini 15-30% ga oshirishi, bashoratli texnik xizmat rejadani tashqari to'xtashlarni 30-50% ga kamaytirishi, moslashuvchan ishlab chiqarish tizimlari buyurtma bajarish vaqtini 30-70% ga qisqartirishi, ma'lumotlarga asoslangan boshqaruv esa operatsion xarajatlarni 10-20% ga kamaytirishi mumkin<sup>56</sup>.

O'zbekiston sanoatida aqlli ishlab chiqarishni joriy etish boshlang'ich bosqichda bo'lib, beshta asosiy muammo bilan bog'liq: eski texnologik baza, malakali kadrlar yetishmasligi, yuqori boshlang'ich investitsiyalar, raqamli madaniyatning pastligi va axborot xavfsizligi<sup>57</sup>. Ushbu muammolarni bartaraf etish uchun bosqichma-bosqich raqamlashtirish, ta'lim tizimini modernizatsiya qilish (dual ta'lim, xalqaro sertifikatlashtirish), moliyaviy qo'llab-quvvatlash mexanizmlarini joriy etish (subsidiyalar, imtiyozli kreditlar, soliq imtiyozlari, grantlar), texnologiyalar transferi va xalqaro hamkorlikni rivojlantirish (qo'shma korxonalar, texnoparklar, stajirovkalar), hamda milliy raqamli sanoat strategiyasini ishlab chiqish tavsiya etiladi<sup>58</sup>.

Xulosa qilib aytganda, aqlli ishlab chiqarish global sanoatning asosiy raqobatbardoshlik omiliga aylanmoqda. O'zbekiston uchun ushbu transformatsiyani kechiktirmasdan boshlash muhim ahamiyatga ega. Mavjud muammolar to'g'ri strategiya orqali bartaraf etilishi mumkin. Kelgusi tadqiqotlar O'zbekistonning ayrim yetakchi korxonalarida aqlli ishlab chiqarishni joriy etishning amaliy tajribasini o'rganishga, shuningdek, turli sanoat tarmoqlari (to'qimachilik, qurilish materiallari, kimyo) uchun moslashtirilgan "yengil" raqamli yechimlarni ishlab chiqishga qaratilishi lozim.

---

<sup>56</sup> Tao F., Qi Q., Liu A., Kusiak A. Data-driven smart manufacturing // Journal of Manufacturing Systems. – 2018. – Vol. 48. – P. 157–169.

<sup>57</sup> Usmonov B., Raximov A. O'zbekistonda raqamli iqtisodiyotga o'tish muammolari va istiqbollari // Iqtisod va ta'lim. – 2021. – №6. – B. 24–29.

<sup>58</sup> Abdullayev Sh. Sanoat korxonalarida raqamli transformatsiyani boshqarish // O'zbekiston iqtisodiy axborotnomasi. – 2022. – №2. – B. 45–52.



### FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Junpu Intelligence. "Sizning kompaniyaning yangi kimyo sanoati uchun qanday texnik zaxiralarni yaratgan?" // Redplanx. – 2023.
2. "Advanced manufacturing and process innovation: When the whole plant becomes the machine" // R&D World. – 2025.
3. "Technology Convergence for a Smarter, More Connected World: Market Trends" // CIMdata Commentary. – 2020.
4. Lee J., Bagheri B., Kao H.A. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems // Manufacturing Letters. – 2015. – Vol. 3. – P. 18–23.
5. Zhong R.Y., Xu X., Klotz E., Newman S.T. Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review // Engineering. – 2017. – Vol. 3, No. 5. – P. 616–630.
6. Rajković T., Makajić-Nikolić D., Lečić-Cvetković D., Aničić N. The most commonly used Industry 4.0 technologies in manufacturing: a systematic literature review // DKUM. – 2025.
7. IDEALIST Project. "The expected future degree of use for the advanced technologies in SMEs, by industrial ecosystem" // European Commission. – 2024-2025.
8. Davis J., Edgar T., Porter J., Bernaden J., Sarli M. Smart manufacturing, manufacturing intelligence and demand-dynamic performance // Computers & Chemical Engineering. – 2012. – Vol. 47. – P. 145–156.
9. Tao F., Qi Q., Liu A., Kusiak A. Data-driven smart manufacturing // Journal of Manufacturing Systems. – 2018. – Vol. 48. – P. 157–169.
10. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution. – Crown Business, New York, 2017. – 192 p.
11. Kagermann H., Wahlster W., Helbig J. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. – acatech, Munich, 2013. – 78 p.
12. Gilchrist A. Industry 4.0: The Industrial Internet of Things. – Apress, Berkeley, CA, 2016. – 250 p.
13. Monostori L. Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges // Procedia CIRP. – 2014. – Vol. 17. – P. 9–13.
14. Grieves M. Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication // White paper. – 2014. – 7 p.



# **BRIDGING THE GAP: EDUCATION AND SCIENCE FOR A SUSTAINABLE FUTURE**

