

KIBERFIZIK TIZIMLAR VA ULARNING ZAMONAVIY ISHLAB CHIQUARISHDA QO‘LLANILISHI

Ne'matjonova Sarvinoz Ikromjon qizi

Qo'qon universiteti Andijon filiali Kompyuter injinerligi yo'nalishi 1-bosqich talabasi

Annotatsiya: Ushbu maqolada kiberfizik tizimlarning (CPS) nazariy asoslari, ularni ishlab chiqarish jarayonlariga tatbiq etish metodologiyasi hamda amaliy samaralari yoritilgan. Tadqiqot natijalariga ko'ra, CPS texnologiyalari ishlab chiqarish samaradorligini oshirish, energiya sarfini kamaytirish, xavfsizlikni ta'minlash va mahsulot sifatini yaxshilashda muhim ahamiyatga ega. Shuningdek, maqolada O'zbekiston sanoatida CPS'ni joriy etish imkoniyatlari va istiqbollari ham muhokama qilingan.

Kalit so'zlar: kiberfizik tizimlar, ishlab chiqarish, Sanoat 4.0, raqamli egizak, avtomatlashtirish, kiberxavfsizlik.

Аннотация: В данной статье рассмотрены теоретические основы киберфизических систем (CPS), методология их внедрения в производственные процессы, а также практические результаты применения. Согласно проведённому анализу, технологии CPS играют важную роль в повышении эффективности производства, снижении энергопотребления, обеспечении безопасности и улучшении качества продукции. Кроме того, в статье обсуждаются перспективы внедрения CPS в промышленность Узбекистана.

Ключевые слова: киберфизические системы, производство, Индустрия 4.0, цифровой двойник, автоматизация, кибербезопасность.

Abstract: This article examines the theoretical foundations of Cyber-Physical Systems (CPS), the methodology of their implementation in production processes, and the practical outcomes of their application. The analysis shows that CPS technologies play a crucial role in improving production efficiency, reducing energy consumption, ensuring safety, and enhancing product quality. Furthermore, the paper discusses the opportunities and prospects of introducing CPS into Uzbekistan's industrial sectors.

Keywords: cyber-physical systems, manufacturing, Industry 4.0, digital twin, automation, cybersecurity.

XXI asrda ishlab chiqarish jarayonlari tubdan o'zgarib, insoniyat "to'rtinchi sanoat inqilobi" deb nom olgan yangi bosqichga qadam qo'ydi. Ushbu bosqichning asosiy mohiyati — ishlab chiqarish jarayonlarini raqamlashtirish, avtomatlashtirish va aqlli tizimlar orqali boshqarishdir. Mazkur jarayonning eng muhim komponentlaridan biri kiberfizik tizimlar (Cyber-Physical Systems — CPS) hisoblanadi. Kiberfizik tizimlar — bu real dunyo



ob'ektlarini axborot texnologiyalari bilan chambarchas bog'laydigan, ulardan olinadigan ma'lumotlarni qayta ishlash va natijani avtomatik tarzda boshqarish imkoniyatini beradigan integrallashgan texnologiyalardir. Kiberfizik tizimlarning paydo bo'lishi sanoatni yanada samarali va xavfsiz qilishga yordam bermoqda. Masalan, ishlab chiqarish jarayonlarida CPS yordamida uskunalarining holatini real vaqt rejimida nazorat qilish, nosozliklarni oldindan aniqlash, energiya sarfini optimallashtirish va inson mehnatini yengillashtirish mumkin. Shu sababdan ham CPS texnologiyalari Sanoat 4.0 konsepsiyasining yuragi hisoblanadi. Kiberfizik tizimlarning asosiy afzalliklaridan biri — ularning intellektualligi va moslashuvchanligidir. Ular ishlab chiqarish jarayonlarini nafaqat avtomatlashtiradi, balki turli sharoitlarga moslashib, yangi vaziyatlarda mustaqil qaror qabul qila oladi. Bugungi kunda dunyoning yetakchi davlatlarida — Germaniya, AQSh, Yaponiya, Janubiy Koreya kabi mamlakatlarda CPS asosida ishlaydigan aqlli fabrikalar keng joriy etilmoqda. Bu esa iqtisodiy samaradorlikni oshirish bilan birga, global raqobatbardoshlikni ham ta'minlamoqda. O'zbekiston sanoati ham bosqichma-bosqich raqamli transformatsiya yo'liga o'tmoqda. Energetika, transport, to'qimachilik va boshqa sohalarda kiberfizik tizimlarni qo'llash istiqbollari kengdir.

Chunki ushbu texnologiyalar orqali ishlab chiqarish tannarxini pasaytirish, sifatni oshirish, xavfsizlikni ta'minlash va ekologik barqarorlikni mustahkamlash mumkin. Shunday qilib, mazkur maqolada kiberfizik tizimlarning nazariy asoslari, metodologiyasi, ishlab chiqarishdagi qo'llanilishi, afzalliklari va muammolari ilmiy nuqtayi nazardan yoritiladi. Ushbu mavzu bugungi kunda dolzarbligi jihatidan juda muhim bo'lib, kelajakda O'zbekistonning sanoat taraqqiyoti uchun ham katta ahamiyat kasb etadi.

NAZARIY ASOSLAR: Kiberfizik tizimlar (Cyber-Physical Systems — CPS) mohiyatan real dunyo ob'ektlari va jarayonlarini raqamli texnologiyalar bilan integratsiyalashgan holda boshqaruvchi murakkab tizimdir. Ular uch asosiy komponentdan tashkil topadi: hisoblash moduli (computing), aloqa tarmog'i (communication) va jismoniy jarayonlar (physical processes). Aynan shu uchlik kiberfizik tizimlarning samarali ishlashini ta'minlaydi.

1. Hisoblash moduli – bu tizimning miyasidir. U sensorlar orqali yig'ilgan ma'lumotlarni qayta ishlaydi, algoritmlar yordamida ularni tahlil qiladi va boshqaruv signallarini yaratadi.

2. Aloqa tarmog'i – CPS elementlari o'rtasida real vaqt rejimida uzluksiz ma'lumot almashuvini ta'minlaydi. Bu jarayon Internet tarmoqlari, 5G texnologiyalari yoki maxsus sanoat protokollari orqali amalga oshadi.

3. Jismoniy jarayonlar – ishlab chiqarishdagi real obyektlar (uskunalar, robotlar, zavod liniyalari) bo'lib, ular sensorlar va aktuatorlar orqali boshqaruv moduli bilan bog'lanadi. Kiberfizik tizimlarning muhim xususiyati — IoT (Internet of Things) bilan bevosita



aloqadorligidir. IoT texnologiyasi millionlab qurilmalarni yagona tarmoqqa ulash imkonini bersa, CPS ushbu qurilmalar faoliyatini intellektual tarzda boshqaradi. Natijada ishlab chiqarish jarayonlari yanada avtomatlashtirilgan, xavfsiz va samarali bo'lib boradi. CPS'ning dasturiy va apparat qismlarining integratsiyasi ham muhimdir. Dasturiy ta'minot ma'lumotlarni qayta ishlash, nazorat va optimallashtirishni ta'minlasa, apparat qismi — sensorlar, aktuatorlar, robototexnika elementlari ishlab chiqarishdagi jismoniy jarayonlarni boshqaradi. Shu jihatdan kiberfizik tizimlar klassik avtomatlashtirishdan keskin farq qiladi: ular faqat buyruqlarni bajarish emas, balki vaziyatni o'rganib, mustaqil qaror qabul qilish imkoniyatiga ham ega. Nazariy jihatdan kiberfizik tizimlarning asoslari kibernetika, avtomatika va axborot texnologiyalarining birlashuvidan kelib chiqqan. Norbert Viner tomonidan XX asrning o'rtalarida ishlab chiqilgan kibernetika nazariyasi, bugungi kunda CPS konsepsiyasining ilmiy asosini tashkil qiladi. Hozirda esa u "aqlli tizimlar", "raqamli egizaklar (digital twins)" va "aqlli fabrikalar" kabi yangi tushunchalar bilan boyib bormoqda. Shunday qilib, kiberfizik tizimlar nazariy jihatdan murakkab, ammo kelajakka qaratilgan texnologiya bo'lib, u ishlab chiqarish jarayonlarini to'liq avtomatlashtirish va optimallashtirishda hal qiluvchi ahamiyatga ega.

METODOLOGIYA: Kiberfizik tizimlarni ishlab chiqarishga tatbiq etish aniq metodologik yondashuvni talab etadi. Ular oddiy avtomatlashtirilgan tizimlardan farqli ravishda kompleks integratsiya, real vaqt rejimida ishlash va moslashuvchanlikka asoslanadi. Metodologiya bosqichma-bosqich amalga oshiriladi va quyidagilarni o'z ichiga oladi:

1. Talablarni aniqlash. Avvalo, ishlab chiqarish korxonasining mavjud jarayonlari tahlil qilinadi. Qaysi bosqichlarni avtomatlashtirish, qaysi jarayonlarda sensorlar va monitoring tizimlari kerakligi aniqlanadi.

2. Arxitektura loyihalash. Kiberfizik tizim uchun ma'lumot to'plash sensorlari, aloqa protokollari, hisoblash serverlari va aktuatorlar o'zaro uyg'unlikda tanlanadi. Ushbu bosqichda "aqlli zavod"ning dastlabki modeli yaratiladi.

3. Ma'lumotlarni integratsiya qilish. Tizim ishlab chiqarishdagi real obyektlardan ma'lumotlarni to'playdi. Masalan, sensorlar uskunalarning harorati, bosimi yoki ishlash tezligini qayd etadi. Bu ma'lumotlar markaziy serverga uzatiladi va dasturiy algoritmlar orqali qayta ishlanadi.

4. Real vaqt rejimida boshqaruv. Kiberfizik tizimlarning asosiy ustunligi — ularning vaqtni boy bermasdan ishlashidir. Masalan, agar uskuna haddan tashqari qizib ketsa, tizim darhol uni to'xtatib qo'yadi yoki yuklamani kamaytiradi. Shu tariqa ishlab chiqarishda favqulodda nosozliklarning oldi olinadi.

5. Sanoat 4.0 konsepsiyasi bilan integratsiya. Metodologiya navbatdagi qismi kiberfizik tizimlarni "raqamli egizaklar" (digital twins) bilan uyg'unlashtirishdir. Bu orqali



ishlab chiqarish liniyalari virtual modelda sinovdan o'tkazilib, so'ng real muhitga joriy etiladi.

6. Doimiy monitoring va takomillashtirish. Tizim bir marta o'rnatilib qo'yiladigan emas, balki uzluksiz yangilanib boradigan kompleksdir. Har bir bosqichda kiberxavfsizlikni mustahkamlash, dasturiy ta'minotni yangilash va yangi texnologiyalarni integratsiya qilish talab etiladi. Metodologik yondashuv CPS'ni samarali tatbiq etishda juda muhimdir. U nafaqat ishlab chiqarish sifatini oshiradi, balki xarajatlarni kamaytirish, inson omilidan kelib chiqadigan xatoliklarni minimallashtirish va xalqaro raqobatda ustunlikka erishishga yordam beradi. Shu sababli CPS metodologiyasi Sanoat 4.0 konsepsiyasining asosiy ustunlaridan biri sifatida qoraladi.

NATIJALAR VA TAHLIL: Kiberfizik tizimlarning ishlab chiqarishda qo'llanilishi bugungi kunda sanoat korxonalari uchun katta iqtisodiy, texnologik va ijtimoiy samaradorlikni ta'minlamoqda. Ularning samaradorligini aniqlashda bir nechta yo'nalishlarni ko'rib chiqish mumkin: ishlab chiqarish jarayonlarini optimallashtirish, energiya tejamkorligi, xavfsizlikni oshirish, mahsulot sifati va xalqaro tajribalar. Quyida natijalar va tahlillar har bir yo'nalish bo'yicha yoritiladi.

1. Ishlab chiqarish jarayonlarini optimallashtirish. Kiberfizik tizimlarning eng asosiy samarasi — bu ishlab chiqarish jarayonlarini avtomatlashtirish orqali ularni tezkor va moslashuvchan qilishdir. Masalan, Germaniya va AQShdagi yirik avtomobil ishlab chiqaruvchi zavodlarda CPS asosida ishlaydigan "aqli liniyalar" joriy etilgan. Bu liniyalarda robotlar mustaqil ravishda detallarning nuqsonlarini aniqlaydi, kerak bo'lsa ularni almashtiradi va ishlab chiqarish jarayonini to'xtatmasdan davom ettiradi. Natijada mahsulot ishlab chiqarish tezligi 25–30% ga oshgani kuzatilgan. O'zbekiston sharoitida ham bu tajribani tatbiq etish imkoniyatlari keng. Masalan, to'qimachilik sanoatida CPS yordamida to'quv mashinalari monitoring qilinib, xatoliklar real vaqt rejimida bartaraf etilishi mumkin. Bu mahsulot tannarxini kamaytirish va sifatni yaxshilashga olib keladi.

2. Energiya tejamkorligi va resurslardan oqilona foydalanish. Dunyo miqyosida kiberfizik tizimlarning joriy etilishi sanoat korxonalarida energiya sarfini 15–20% ga qisqartirgani ilmiy tadqiqotlarda qayd etilgan. Masalan, Janubiy Koreya zavodlarida CPS yordamida ishlab chiqarish liniyalarida elektr energiyasi iste'moli real vaqt rejimida kuzatilib, ortiqcha sarfning oldi olinadi. Shuningdek, tizimlarning aqli algoritmlari ishlab chiqarish jarayonlarini resurslar sarfini optimallashtirgan holda boshqaradi. O'zbekistonda energetika tizimini modernizatsiya qilishda ham CPS'ning qo'llanilishi samarali natijalar berishi mumkin. Masalan, issiqlik elektr stansiyalarida sensorlar va kiberfizik boshqaruv tizimlari yordamida yoqilg'i sarfi optimallashtirilsa, bir yil davomida millionlab kub metr gaz tejash mumkin. Bu nafaqat iqtisodiy samaradorlik, balki ekologik foyda ham beradi.



3. Xavfsizlikni ta'minlash:. Ishlab chiqarishdagi xavfsizlik muammolari har doim dolzarb hisoblangan. An'anaviy ishlab chiqarishda inson omilidan kelib chiqadigan xatolar ko'plab avariyalarga sabab bo'lgan. CPS tizimlari esa bu muammoni sezilarli darajada kamaytiradi. Masalan, neft-gaz sanoatida kiberfizik tizimlar quvurlardagi bosim va haroratni doimiy nazorat qilib boradi. Agar ko'rsatkichlar xavfli darajaga yaqinlashsa, tizim darhol signal yuboradi va avtomatik tarzda jarayonni to'xtatadi. Shu bilan birga, sanoatdagi mehnat muhofazasi ham sezilarli darajada yaxshilanadi. Inson uchun xavfli bo'lgan jarayonlarda (yuqori harorat, kimyoviy moddalar bilan ishlash, radiatsion xavf mavjud muhitlar) kiberfizik tizimlar robototexnika yordamida ishni bajarib, insonni bevosita xavfdan himoya qiladi.

4. Mahsulot sifati va raqobatbardoshlik. Kiberfizik tizimlar yordamida ishlab chiqarish jarayonining har bir bosqichi nazorat qilinadi. Bu esa mahsulot sifatini doimiy barqaror ushlab turishga imkon beradi. Masalan, Yaponiyada CPS asosidagi zavodlarda ishlab chiqarilgan elektron qurilmalar nuqsonlari 0,1% dan ham kamni tashkil qilmoqda. Shuningdek, Evropa Ittifoqida olib borilgan tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, CPS tatbiq etilgan korxonalarda mahsulot sifati 35% ga oshgan. O'zbekiston sanoati uchun ham sifat masalasi raqobatbardoshlikning eng muhim omillaridan biridir. Agar to'qimachilik yoki avtomobilsozlikda CPS tizimlari joriy qilinsa, eksport qilinadigan mahsulotlar sifati xalqaro standartlarga to'liq mos keladi va bu milliy brendlarni jahon bozorida mustahkamlashga xizmat qiladi.

5. Xalqaro tajriba va O'zbekiston istiqbollari. Bugungi kunda Germaniya "Industrie 4.0" dasturi doirasida kiberfizik tizimlarni keng tatbiq etmoqda. AQSh esa "Industrial Internet Consortium" orqali ishlab chiqarish korxonalarini CPS asosida modernizatsiya qilmoqda. Xitoy "Made in China 2025" strategiyasida ham kiberfizik tizimlar markaziy o'rinni egallagan. Bu davlatlar tajribasi CPS texnologiyasining kelajakda global iqtisodiy ustunlik berishini ko'rsatmoqda. O'zbekistonda esa "Raqamli O'zbekiston – 2030" strategiyasi doirasida ishlab chiqarishni raqamlashtirishga katta e'tibor qaratilmoqda. CPS texnologiyalarini energetika, transport, to'qimachilik, farmatsevtika va boshqa sohalarda joriy etish orqali mamlakat iqtisodiyotining samaradorligini oshirish mumkin. Masalan, raqamli egizaklar yordamida zavodlarning virtual modeli yaratilsa, ishlab chiqarishdan oldin barcha xatoliklar sinovdan o'tkazilishi, xarajatlar kamayishi va mahsulot sifatining barqarorligi ta'minlanadi. Xulosa sifatida aytish mumkinki, CPS texnologiyalarining joriy etilishi natijasida ishlab chiqarishda samaradorlik oshadi, resurslar tejaydi, xavfsizlik mustahkamlanadi va mahsulot sifati yaxshilanadi. Bu jarayon O'zbekiston sanoatining raqobatbardoshligini oshirish va barqaror rivojlanishini ta'minlashda muhim ahamiyatga ega.



MUNOZARA: Kiberfizik tizimlar ishlab chiqarishga ko'plab afzalliklarni olib kirayotgan bo'lsa-da, ularni keng miqyosda joriy etishda qator muammolar va cheklovlar mavjud. Shu sababli bu jarayonni har tomonlama ilmiy va amaliy nuqtayi nazardan muhokama qilish muhimdir. Birinchidan, afzalliklar haqida to'xtaladigan bo'lsak, CPS sanoat korxonalariga ishlab chiqarish jarayonlarini avtomatlashtirish, energiya va resurslarni tejash, mahsulot sifatini yaxshilash va xavfsizlikni oshirish imkonini beradi. Bundan tashqari, kiberfizik tizimlar ishlab chiqarishni moslashuvchan va tezkor qiladi. Masalan, talabning o'zgarishiga qarab ishlab chiqarish liniyalari qisqa vaqt ichida qayta sozlanishi mumkin. Bu esa global raqobatda muhim ustunlik hisoblanadi. Ikkinchidan, cheklovlar ham bor. Avvalo, CPS tizimlarini yaratish va joriy etish katta xarajatlarni talab qiladi. Dastlabki bosqichda yuqori texnologiyali uskunalar, sensorlar va dasturiy ta'minot xarajatlari kichik va o'rta korxonalar uchun qiyinchilik tug'dirishi mumkin. Shuningdek, CPS'ning samarali ishlashi uchun yuqori malakali mutaxassislar zarur. Bugungi kunda ko'plab rivojlanayotgan mamlakatlarda, jumladan O'zbekistonda, IT va muhandislik sohasidagi mutaxassislar yetishmovchiligi kuzatilmoqda. Uchinchi muammo — kiberxavfsizlik. CPS tizimlari Internet va tarmoqlar orqali boshqarilgani uchun ularni xakerlik hujumlaridan himoya qilish masalasi nihoyatda muhimdir. Agar ishlab chiqarish liniyasi yoki energetika tizimi kiberhujumga uchrasa, bu nafaqat iqtisodiy, balki milliy xavfsizlikka ham katta zarar yetkazishi mumkin. Shu sababli xalqaro miqyosda CPS uchun yagona xavfsizlik standartlarini ishlab chiqish dolzarb vazifa bo'lib qolmoqda.

To'rtinchidan, CPS texnologiyalarining joriy etilishi bilan bog'liq ijtimoiy muammolar ham mavjud. Avtomatlashtirish natijasida ko'plab oddiy ishchi o'rinlari qisqarishi mumkin. Shu bois yangi texnologiyalarni tatbiq etish bilan bir qatorda qayta tayyorlash va yangi kasblarga o'qitish dasturlarini ham joriy qilish talab etiladi. Shunday qilib, kiberfizik tizimlar ishlab chiqarishda ulkan imkoniyatlar ochsa-da, ularning keng qo'llanilishi iqtisodiy xarajatlar, mutaxassislar yetishmovchiligi, kiberxavfsizlik va ijtimoiy muammolar bilan chambarchas bog'liqdir. Shu sababli CPS'ni joriy etishda afzalliklar bilan bir qatorda ushbu cheklovlarni ham chuqur o'ylash zarur.

XULOSA VA TAVSIYALAR: Kiberfizik tizimlar (CPS) bugungi kunda sanoat taraqqiyotining resurslardan samarali foydalanish, mahsulot sifatini oshirish va xavfsizlikni ta'minlashda beqiyos imkoniyatlar yaratmoqda. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, CPS joriy etilgan korxonalarda ishlab chiqarish samaradorligi o'rtacha 25–30% ga oshadi, energiya sarfi 15–20% ga qisqaradi va mahsulot sifati sezilarli darajada yaxshilanadi. Bu natijalar ushbu texnologiyaning global miqyosda raqobatbardoshlikni ta'minlashdagi muhim o'rnini ko'rsatadi. O'zbekiston uchun ham kiberfizik tizimlarning joriy etilishi katta strategik ahamiyatga ega. Xususan, energetika, transport, to'qimachilik va avtomobilsozlik kabi sohalarda CPS'ni keng qo'llash orqali milliy iqtisodiyot samaradorligini oshirish, eksport





salohiyatini kuchaytirish va ekologik barqarorlikni ta'minlash mumkin. Shu bilan birga, texnologiyaning to'liq potensialidan foydalanish uchun bir qator muhim vazifalarni amalga oshirish lozim.

Tavsiyalar: 1. Milliy strategiya ishlab chiqish. O'zbekiston sanoatida CPS texnologiyalarini keng tatbiq etish uchun alohida davlat dasturi ishlab chiqilishi kerak.

2. Mutaxassislar tayyorlash. Oliy ta'lim muassasalarida kiberfizik tizimlar, IoT va avtomatlashtirish bo'yicha maxsus yo'nalishlar ochish zarur.

3. Kiberxavfsizlikni mustahkamlash. CPS'ni joriy etishda axborot xavfsizligini ta'minlaydigan milliy standartlar ishlab chiqilishi lozim.

4. Ilmiy-tadqiqotlarni rivojlantirish. CPS bo'yicha ilmiy markazlar tashkil etilib, xalqaro hamkorlik kengaytirilishi kerak.

5. Kichik va o'rta korxonalarni qo'llab-quvvatlash. Innovatsion texnologiyalarni joriy etishda davlat tomonidan subsidiya va grantlar berilishi muhim. Umuman olganda, kiberfizik tizimlarning joriy etilishi O'zbekistonning sanoat tarmoqlarida innovatsion taraqqiyotni jadallashtirish, xalqaro raqobatda munosib o'rin egallash va kelajakda barqaror rivojlanishni ta'minlash uchun muhim omil hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. Lee, E. A. (2015). The Past, Present and Future of Cyber-Physical Systems: A Focus on Models. *Sensors*, 15(3), 4837–4869.

2. Rajkumar, R., Lee, I., Sha, L., & Stankovic, J. (2010). Cyber-Physical Systems: The Next Computing Revolution. *Design Automation Conference (DAC)*, 731–736.

3. Monostori, L. (2014). Cyber-Physical Production Systems: Roots, Expectations and R&D Challenges. *Procedia CIRP*, 17, 9–13.

4. Baheti, R., & Gill, H. (2011). Cyber-Physical Systems. *The Impact of Control Technology*, IEEE, 161–166.

5. Xitoy Xalq Respublikasi Davlat Kengashi. (2015). *Made in China 2025 Strategy*. Beijing: Government Printing Office.

6. O'zbekiston Respublikasi Prezidenti. (2020). *Raqamli O'zbekiston – 2030 strategiyasi*. Toshkent: O'zbekiston Respublikasi Prezident Administratsiyasi.

