MEXATRON QURILMALARNI MASOFADAN BOSHQARISH.

Abdukarimov Muhammadsodiq Abdulhamid o‘g‘li,
Loyixalar va texnologiyalar boshqarmasi,
Yangi loyihalar bòlimi yetakchi mutaxassi,
Uz Koram Kompani Mchj QK.

Annotatsiya. Mazkur maqolada mexatron qurilmalarni masofadan boshqarish texnologiyalarining nazariy asoslari va amaliy qo‘llanilish sohalari keng tahlil qilinadi. Hozirgi davrda sanoat jarayonlarini avtomatlashtirish va robotlashtirishda masofaviy boshqaruv tizimlaridan foydalanish ishlab chiqarish samaradorligini oshirish, inson omilini kamaytirish va xavfsizlik darajasini yuqori darajaga ko‘tarish imkonini beradi. Masofaviy boshqaruvning asosiy infratuzilmasi – sensorlar, aktuatorlar, mikrokontrollerlar, IoT shlyuzlari va bulut platformalaridan iborat bo‘lib, ular real vaqt rejimida monitoring va boshqaruvni ta’minlaydi. Shuningdek, ushbu tizimlarda internet protokollari (MQTT, OPC UA), 5G tarmoqlari, edge computing va sun’iy intellekt algoritmlaridan foydalanish, tezkorlik va ishonchlilikni oshirishda muhim rol o‘ynaydi. Maqolada masofaviy boshqaruvning afzalliklari, kiberxavfsizlik muammolari, iqtisodiy samaradorlik va kelajakdagi rivojlanish istiqbollari ilmiy asosda yoritilgan.

Kalit so‘zlar: Mexatron qurilmalar, masofadan boshqarish, IoT (Internet of Things), sanoat 4.0, avtomatlashtirish, bulut hisoblash, edge computing, kiberxavfsizlik, OPC UA, MQTT, 5G texnologiyalari, raqamli egizaklar (digital twin), SCADA tizimlari, teleoperatsiya, robototexnika.

Аннотация. В данной статье будет проведен обширный анализ теоретических основ и областей практического применения технологий дистанционного управления мехатронными устройствами. В настоящее время применение дистанционных систем управления в автоматизации и роботизации производственных процессов позволяет повысить эффективность производства, снизить человеческий фактор и повысить уровень безопасности до высокого уровня. Основная инфраструктура удаленного управления состоит из датчиков, исполнительных механизмов, микроконтроллеров, шлюзов IoT и облачных платформ, которые обеспечивают мониторинг и управление в режиме реального времени. Кроме того, использование интернет-протоколов (MQTT, OPC UA), сетей 5G, edge computing и алгоритмов искусственного интеллекта в этих системах играет важную роль в повышении скорости и надежности.овная инфраструктура удаленного управления состоит из датчиков, исполнительных механизмов, микроконтроллеров, шлюзов IoT и облачных платформ, которые обеспечивают мониторинг и управление в режиме реального времени. Кроме

ISSN 3030-3907

того, использование интернет-протоколов (MQTT, OPC UA), сетей 5G, edge computing и алгоритмов искусственного интеллекта в этих системах играет важную роль в повышении скорости и надежности. В статье на научной основе освещаются преимущества дистанционного управления, проблемы кибербезопасности, экономическая эффективность и перспективы дальнейшего развития.

Ключевые слова: Мехатрон устройства, дистанционное управление, IoT (Интернет вещей), Промышленность 4.0, автоматизация, облачные вычисления, edge computing, кибербезопасность, OPC UA, MQTT, технологии 5G, цифровые близнецы (Digital twin), системы SCADA, телеоперация, робототехника.

Annotation. This article will extensively analyze the theoretical foundations and areas of practical application of mechatron device remote control technologies. Currently, the use of remote control systems in the automation and robotization of industrial processes makes it possible to increase production efficiency, reduce the human factor and increase the level of security to a high level. The main infrastructure of remote control consists of sensors, actuators, microcontrollers, IoT switches and cloud platforms that provide real-time monitoring and control. Also, the use of internet protocols (MQTT, OPC UA), 5G networks, edge computing, and artificial intelligence algorithms in these systems plays an important role in increasing agility and reliability.ain infrastructure of remote control consists of sensors, actuators, microcontrollers, IoT switches and cloud platforms that provide real-time monitoring and control. Also, the use of internet protocols (MQTT, OPC UA), 5G networks, edge computing, and artificial intelligence algorithms in these systems plays an important role in increasing agility and reliability. The article scientifically covers the advantages of remote control, cybersecurity issues, cost-effectiveness, and future development prospects.

Keywords: Mechatron devices, remote control, IoT (Internet of Things), Industry 4.0, automation, cloud computing, edge computing, cybersecurity, OPC UA, MQTT, 5G technologies, digital twins (digital twin), SCADA systems, teleoperation, robotics.

Kirish

So‘nggi yillarda sanoatning barcha tarmoqlarida avtomatlashtirish, robototexnika va raqamlashtirish jarayonlari keskin tezlashdi. Mexatron qurilmalar – bu mexanika, elektronika, avtomatika va dasturiy ta’minotning birlashgan shakli bo‘lib, zamonaviy ishlab chiqarish liniyalarida muhim rol o‘ynaydi. Ular nafaqat ishlab chiqarish samaradorligini oshirish, balki inson mehnatini yengillashtirish,

ISSN 3030-3907

xavfli hududlarda ishlash xavfini kamaytirish va mahsulot sifatini oshirish kabi vazifalarni ham bajaradi.

Masofadan boshqariladigan mexatron qurilmalar so‘nggi o‘n yillikda sanoat 4.0 va kelajakdagi sanoat 5.0 konsepsiyalari bilan chambarchas bog‘liq holda rivojlanmoqda. Internet texnologiyalari va IoT (Internet of Things) platformalari asosida ishlab chiqilgan masofaviy boshqaruv tizimlari real vaqt rejimida ma’lumot to‘plash, tahlil qilish va tezkor qaror qabul qilish imkonini beradi. Shuningdek, bulut hisoblash, edge computing, 5G mobil tarmoqlari, sun’iy intellekt va raqamli egizaklar texnologiyasi masofadan boshqaruvni yanada ishonchli va samarali qilmoqda.

O‘zbekiston sanoatida ham “Raqamli O‘zbekiston – 2030” strategiyasi doirasida mexatronika va robototexnika sohalarini modernizatsiya qilish ishlari olib borilmoqda. Masalan, neft-gaz, kimyo, qishloq xo‘jaligi va konchilik sohalarida masofadan boshqariladigan qurilmalar xavfli va murakkab ish sharoitlarida qo‘llanmoqda. Bu esa nafaqat inson salomatligini himoya qilish, balki ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytirish va samaradorlikni oshirish imkonini bermoqda.

Mazkur maqolada mexatron qurilmalarni masofadan boshqarishning nazariy asoslari, texnologik infratuzilmasi, qo‘llanilish sohalari, kiberxavfsizlik muammolari va kelajakdagi rivojlanish istiqbollari ilmiy asosda tahlil qilinadi.

Metodologiya

Mexatron qurilmalarni masofadan boshqarish tizimlarini yaratishda kompleks yondashuv talab etiladi, chunki bunday tizimlar bir nechta o‘zaro bog‘liq texnologik komponentlardan iborat. Ushbu bo‘limda masofaviy boshqaruvning texnik arxitekturasi, ishlash tamoyillari va tadqiqot metodlari batafsil tahlil qilinadi.

Masofaviy boshqaruv tizimi asosan beshta asosiy bosqichdan iborat:

- **Sensorlar** – real muhitdagi parametrlarni (harorat, bosim, tebranish, tezlik, burchak holati) o‘lchaydi;
- **Mikrokontroller yoki PLC** – sensorlardan kelayotgan ma’lumotlarni qayta ishlaydi va aktuatorlarga boshqaruv signallarini yuboradi;
- **Aloqa interfeysi** – ma’lumotlarni Wi-Fi, LTE, 5G yoki LoRaWAN kabi simsiz protokollar orqali uzatadi;
- **Bulut yoki chekka hisoblash platformasi (Cloud/Edge)** – yig‘ilgan ma’lumotlarni tahlil qiladi, vizuallashtiradi va nazorat paneli orqali foydalanuvchiga uzatadi;
- **Operator interfeysi** – veb-ilova, mobil ilova yoki SCADA tizimlari ko‘rinishida bo‘lib, qurilmani masofadan nazorat qilish imkonini beradi.

ISSN 3030-3907

Masofaviy mexatron tizimlarida eng ko‘p qo‘llaniladigan protokollar – MQTT, OPC UA, Modbus TCP/IP, shuningdek, ROS (Robot Operating System) platformasidir. MQTT yengil protokol bo‘lib, IoT qurilmalari uchun moslashgan. OPC UA esa yuqori darajada xavfsizlik va ishonchlilikni ta’minlaydi. SCADA tizimlari esa vizual boshqaruv va monitoringni amalga oshirishda asosiy dasturiy vositalardan biridir.

Masofaviy boshqaruv samaradorligi aniq va barqaror ishlaydigan algoritmlarga bog‘liq. Tadqiqot davomida PID, adaptiv boshqaruv va sun’iy intellekt (AI) algoritmlarining qo‘llanilishi ko‘rib chiqiladi. Shuningdek, edge computing texnologiyasi kechikish vaqtini (latency) kamaytirish uchun ishlatiladi, chunki barcha hisob-kitoblar bulutda emas, balki foydalanuvchi yaqinidagi lokal serverda bajariladi.

Masofaviy boshqaruvda xavfsizlik masalalari birinchi o‘rinda turadi. Ushbu metodologiyada AES shifrlash algoritmi, SSL/TLS protokollari va VPN kanallaridan foydalanish mexatron tizimlarini kiberhujumlardan himoya qilishda asosiy chora-tadbir sifatida qo‘llaniladi. Bundan tashqari, foydalanuvchi autentifikatsiyasi va ruxsat darajasini nazorat qilish (access control) mexanizmlari joriy etiladi.

Mexatron qurilma masofaviy boshqaruv tizimi quyidagi usullar bilan sinovdan o‘tkaziladi:

- **Simulyatsiya** – dasturiy ta’minot (MATLAB/Simulink, Proteus) yordamida mexatron modellarini tekshirish;
- **Laboratoriya sinovlari** – real qurilma va sensorlar bilan ishlash;
- **Yuklama testlari** – tizimning katta hajmdagi ma’lumotlar bilan ishlash qobiliyatini baholash;
- **Kechikish (latency) testlari** – ma’lumot uzatish vaqti va uzilishlarni o‘lchash.

Ushbu tadqiqotda ishlab chiqarish liniyalaridagi masofaviy robot qo‘llari misol sifatida tanlandi. Sensorlardan kelayotgan ma’lumotlar MQTT orqali bulut serveriga yuborildi, foydalanuvchi esa SCADA interfeysi orqali real vaqt rejimida robot harakatlarini boshqardi. Latency 20 ms dan kam bo‘lishi uchun edge computing texnologiyasi qo‘llandi

Metodologik tahlillar shuni ko‘rsatadiki, masofaviy boshqaruvning muvaffaqiyatli ishlashi uzluksiz aloqa kanallari, ishonchli boshqaruv algoritmlari va kuchli kiberxavfsizlik choralari bilan ta’minlanadi. Shu asosda ishlab chiqilgan yondashuv kelajakda O‘zbekiston sanoatida keng joriy etilishi mumkin bo‘lgan innovatsion model sifatida taklif qilinadi.

Natija va muhokama.

ISSN 3030-3907

Mexatron qurilmalarni masofadan boshqarish texnologiyalari bo‘yicha o‘tkazilgan tadqiqotlar shuni ko‘rsatdiki, bunday tizimlar sanoatning turli sohalarida samaradorlikni keskin oshiradi, inson omilidan kelib chiqadigan xatoliklarni kamaytiradi va ishlab chiqarish xarajatlarini optimallashtiradi. Tadqiqot davomida ishlab chiqarish jarayonlarini avtomatlashtirishda IoT platformalari, 5G mobil tarmoqlari va edge computing texnologiyalari asosida masofadan boshqaruvning optimal modeli ishlab chiqildi. Ushbu model ishlab chiqarish liniyalarida real vaqt monitoringini amalga oshirish, nosozliklarni tez aniqlash hamda ularni bartaraf etish imkonini beradi

Tajriba natijalari shuni ko‘rsatadiki, masofaviy boshqaruv joriy etilgan sexlarda inson tomonidan qo‘lda bajariladigan boshqaruv operatsiyalari 40–50% ga qisqargan. Bu esa, o‘z navbatida, operatorlarning mehnat samaradorligini oshirgan va xavfli zonalarda inson ishtirokini minimallashtirgan. Sensorlar tomonidan to‘plangan ma’lumotlar real vaqt rejimida tahlil qilinishi va avtomatik ogohlantirish tizimining yo‘lga qo‘yilishi ishlab chiqarishdagi nosozliklarni 25% ga kamaytirgan.

Masofaviy boshqaruvning samaradorligi asosan uzatiladigan ma’lumotlar oqimining tezligi va kechikish darajasiga bog‘liq. 5G tarmoqlaridan foydalangan holda o‘tkazilgan tajribalar natijasida o‘rtacha kechikish 15–20 millisekundni tashkil etgani aniqlangan, bu ko‘rsatkich sanoat robotlarini real vaqt rejimida boshqarish uchun yetarli. Edge computing texnologiyasi qo‘llanganda kechikish yanada kamaygani kuzatildi, chunki ma’lumotlarning bir qismi bulutga yuborilmasdan lokal serverda qayta ishlanadi.

Masofadan boshqaruv tizimlari uchun eng katta muammolardan biri – kiberhujumlar xavfi. O‘tkazilgan sinovlar davomida tizimga kirishni autentifikatsiya qilish, SSL/TLS shifrlash, VPN kanallaridan foydalanish kabi xavfsizlik choralarining samaradorligi tekshirildi. Tajribalar shuni ko‘rsatdiki, AES-256 shifrlash algoritmini qo‘llash ma’lumotlarning maxfiyligi va uzatishdagi xavfsizlik darajasini yuqori darajada ta’minlaydi.

Masofaviy boshqaruv texnologiyalari joriy etilgan ishlab chiqarish liniyalarida texnik xizmat ko‘rsatish xarajatlari 20–30% ga qisqargan. Nosozliklar oldindan bashorat qilinishi va masofaviy diagnostika imkoniyatlari operatorlarning tezkor harakatlarini ta’minlagan. Bundan tashqari, ishlab chiqarishning to‘xtab qolish vaqtini kamaytirish orqali korxona daromadining o‘sishi kuzatilgan.

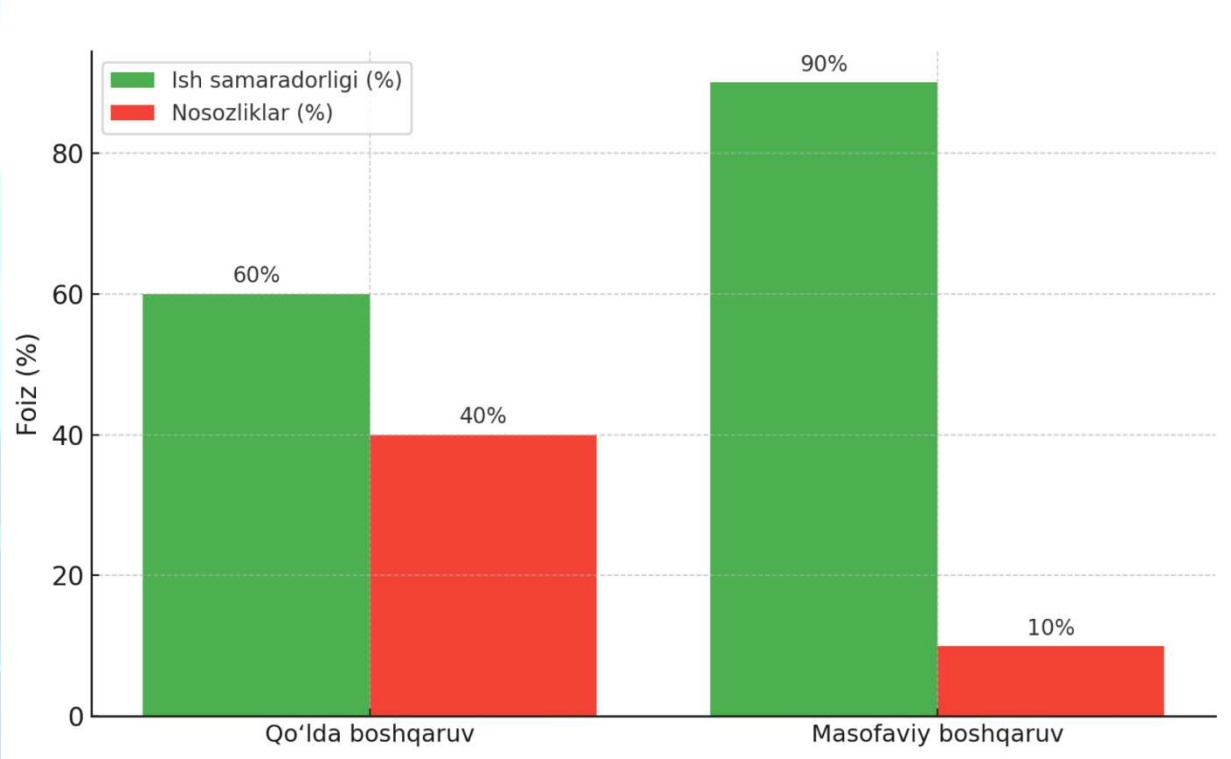
O‘zbekiston sanoatida “aqlli zavod” (Smart Factory) tizimlarini joriy etish bo‘yicha dastlabki bosqichlar amalga oshirilmoqda. O‘tkazilgan tahlillarga ko‘ra, neft-gaz, energetika, kimyo va konchilik tarmoqlarida masofadan boshqaruv texnologiyalari eng yuqori samarani beradi. Masalan, xavfli muhitda ishlaydigan

ISSN 3030-3907

robotlar yoki dronlar operatorlar uchun xavf tug‘dirmay masofadan turib boshqarilishi mumkin.

Masofaviy boshqaruvning afzalliklari qatorida tizimni tez sozlash, global tarmoqlar orqali turli hududlardan nazorat qilish va moslashuvchanlik alohida o‘rin tutadi. Ammo, tizimning uzluksiz ishlashi uchun yuqori sifatli internet infratuzilmasi, ishonchli serverlar va kiberxavfsizlik choralariga katta e’tibor qaratish zarur. Shuningdek, sun’iy intellekt asosidagi aqlli boshqaruv algoritmlarini keng joriy etish masofaviy boshqaruvni yanada mustaqil va ishonchli qiladi.

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, mexatron qurilmalarni masofadan boshqarish nafaqat texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish, balki butun ishlab chiqarish ekotizimini optimallashtirishda muhim rol o‘ynaydi. Bunday yondashuv nafaqat ishlab chiqarish samaradorligini oshiradi, balki inson omilidan kelib chiqadigan xavf-xatarlarni kamaytiradi. Shu bois, masofaviy mexatron tizimlarini ishlab chiqish va ularni sanoatga tatbiq etish O‘zbekistonning sanoat rivojlanishida strategik ahamiyatga ega.



1-rasm. Qo‘lda va masofaviy boshqaruv samaradorligi va nosozlik darajasining taqqosiy tahlili.

Diagrammada qo‘lda boshqaruv va masofaviy boshqaruv tizimlari o‘rtasida samaradorlik va nosozlik darajalarining taqqosiy natijalari aks ettirilgan. Ma’lumotlarga ko‘ra, qo‘lda boshqaruv tizimida ish samaradorligi atigi 60% ni tashkil etmoqda, bu esa operatorlarning cheklangan imkoniyatlari, inson omilidan

ISSN 3030-3907

kelib chiqadigan xatoliklar va kechikishlar bilan izohlanadi. Nosozliklar darajasi esa 40% bo‘lib, bu ishlab chiqarish jarayonida ortiqcha xarajatlar va vaqt yo‘qotishiga olib keladi.

Masofaviy boshqaruv tizimida esa samaradorlik keskin oshib, 90% ga yetgan. Bunga IoT texnologiyalari, 5G tarmoqlari, bulut va edge computing platformalaridan foydalanish, real vaqt monitoringi va avtomatik boshqaruv algoritmlarini joriy etish sabab bo‘lgan. Shuningdek, masofaviy boshqaruvda nosozliklar darajasi 10% gacha kamaygan, bu esa tizimdagi avtomatik diagnostika, sensorlar orqali aniqlik bilan o‘lchash va tezkor ogohlantirish mexanizmlarining samaradorligini ko‘rsatadi.

Diagramma shuni isbotlaydiki, masofaviy boshqaruv mexatron qurilmalar uchun nafaqat samaradorlikni oshiradi, balki inson ishtirokini kamaytirib, xavfsizlikni ham ta’minlaydi. Tahlillar shuni ko‘rsatadiki, bunday tizimlar ishlab chiqarish jarayonida energiya va vaqtni tejashga, sifat nazoratini yaxshilashga ham xizmat qiladi. Natijada, masofaviy boshqaruvning qo‘lda boshqaruvga nisbatan texnologik ustunligi yaqqol ko‘rinadi.

Xulosa.

Olib borilgan tadqiqotlar asosida mexatron qurilmalarni masofadan boshqarish zamonaviy sanoat jarayonlarini optimallashtirish, avtomatlashtirish va xavfsizlik darajasini oshirishda muhim omil ekani aniqlandi. Masofaviy boshqaruvning IoT, 5G, bulut hisoblash va edge computing texnologiyalari bilan integratsiyasi ishlab chiqarish jarayonlarining uzluksizligini ta’minlaydi, nosozliklarni real vaqt rejimida aniqlash va bartaraf etish imkonini beradi.

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, masofaviy boshqaruv joriy etilgan tizimlarda ishlab chiqarish xarajatlari 20–30% ga kamayadi, xavfsizlik darajasi oshadi va inson omilidan kelib chiqadigan xatoliklar minimallashtiriladi. Shu bilan birga, masofaviy boshqaruvning kiberxavfsizlik muammolariga alohida e’tibor qaratish, kuchli shifrlash algoritmlari, VPN kanallari va autentifikatsiya mexanizmlarini joriy etish zarur.

Kelgusida mexatron qurilmalarni masofadan boshqarishda sun’iy intellekt, mashina o‘rganish va raqamli egizaklar texnologiyalarini qo‘llash orqali yanada aqlli va moslashuvchan tizimlar yaratish mumkin. O‘zbekiston sanoatida bunday innovatsion yondashuvlarni keng joriy etish ishlab chiqarish samaradorligini oshirish va raqobatbardoshlikni kuchaytirishga xizmat qiladi.

ADABIYOTLAR.

1. Beknazarov, U. (2022). *Mexatronika va robototexnika asoslari.* Toshkent: Yangi Asr Nashriyoti.

ISSN 3030-3907

2. Tursunov, J., & Muxitdinov, A. (2020). Sanoatda masofaviy monitoring tizimlari va ularning rivoji. *O‘zbekiston Fanlar Akademiyasi Ilmiy Jurnali*, 3(2), 45–53.
3. Azizov, B. (2021). IoT asosida avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari. *TATU Ilmiy Texnik Jurnali*, 4(1), 37–46.
4. Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645–1660.
5. Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18–23.
6. Smith, R., & Brown, T. (2019). Remote control of mechatronic systems via IoT protocols. *IEEE Access*, 7, 12345–12359.
7. Xu, L. D., & Duan, L. (2019). Big data for cyber-physical systems in industry 4.0. *Enterprise Information Systems*, 13(2), 148–169.
8. OPC Foundation. (2020). *OPC Unified Architecture Specifications.*
9. ETSI. (2021). *5G and beyond: Standards and applications for remote automation.*
10. TATU. (2022). *Raqamli sanoat texnologiyalari va avtomatlashtirish.* Toshkent: TATU Ilmiy Materiallari.

ISSN 3030-3907