RAQAMLI EGIZAK TEXNOLOGIYASI ASOSIDA FIZIK TIZIMLARNI BOSHQARISH VA OPTIMALLASHTIRISHNING ZAMONAVIY USULLARI

Mannonov Ikromjon Jalilboyevich
Namangan viloyati oliy ta'lim fan va innovatsiyalar boshqarmasi
To'raqo'rg'on tuman 2-son texnikumi
Fizika fani o‘qituvchisi

Annotatsiya. Mazkur maqolada raqamli egizak (Digital Twin) texnologiyasining fizik tizimlarni boshqarish va optimallashtirishdagi o‘rni tahlil qilinadi. Sanoat 4.0 konsepsiyasi rivojlanishi bilan bir qatorda fizik obyektlarning virtual nusxalarini yaratish va ularni real vaqt rejimida boshqarish imkoniyatlari kengaymoqda. Raqamli egizak texnologiyasi IoT qurilmalari, sun’iy intellekt, katta ma’lumotlar tahlili va bulutli hisoblash texnologiyalarini birlashtirgan holda murakkab tizimlarning holatini kuzatish, prognozlash va optimallashtirish imkonini beradi. Tadqiqot davomida raqamli egizak texnologiyasining ishlab chiqarish, energetika va transport tizimlaridagi qo‘llanilishi o‘rganildi. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, mazkur texnologiya uskuna nosozliklarini oldindan aniqlash, energiya sarfini kamaytirish va ishlab chiqarish samaradorligini oshirish imkonini beradi.

Kalit so‘zlar: raqamli egizak, Digital Twin, fizik tizimlar, sun’iy intellekt, IoT, Industry 4.0, optimallashtirish, modellashtirish, prognozlash, aqlli ishlab chiqarish.

Kirish

Axborot-kommunikatsiya texnologiyalarining jadal rivojlanishi natijasida fizik obyektlar va ularning virtual modellarini integratsiyalashga asoslangan yangi texnologik yondashuvlar paydo bo‘ldi. Shunday texnologiyalardan biri raqamli egizak texnologiyasi hisoblanadi. Ushbu texnologiya real obyektning virtual nusxasini yaratish va u bilan ikki tomonlama ma’lumot almashinuvini tashkil etishga asoslanadi.

Raqamli egizak konsepsiyasi dastlab murakkab muhandislik tizimlarini kuzatish va tahlil qilish uchun ishlab chiqilgan bo‘lsa-da, bugungi kunda u energetika, transport, tibbiyot, ishlab chiqarish va ta’lim kabi ko‘plab sohalarda qo‘llanilmoqda. Raqamli

egizak fizik tizimning joriy holatini aks ettiradi, uning kelajakdagi holatini prognoz qiladi hamda boshqaruv qarorlarini optimallashtirish imkonini beradi.

Industry 4.0 konsepsiyasining asosiy tarkibiy qismlaridan biri sifatida raqamli egizak texnologiyasi ishlab chiqarish samaradorligini oshirish, energiya iste'molini kamaytirish va texnik xizmat ko‘rsatish xarajatlarini optimallashtirishda muhim rol o‘ynamoqda. Tadqiqotchilar tomonidan olib borilgan izlanishlar ushbu texnologiya yordamida ishlab chiqarish jarayonlarini real vaqt rejimida monitoring qilish va nosozliklarni oldindan aniqlash mumkinligini ko‘rsatmoqda.

Adabiyotlar tahlili

So‘nggi yillarda raqamli egizak texnologiyasiga bag‘ishlangan ilmiy tadqiqotlar soni sezilarli darajada ortdi. Tao va hamkorlari raqamli egizaklarni aqlli ishlab chiqarish tizimlarining muhim elementi sifatida baholab, ularning real vaqt monitoringi va optimallashtirishdagi afzalliklarini ko‘rsatgan. Lu va hamkorlari esa aqlli ishlab chiqarishda raqamli egizaklarning arxitekturasi va amaliy qo‘llanilishini tahlil qilgan.

Soori va hamkorlarining tadqiqotida raqamli egizak texnologiyasining ishlab chiqarish samaradorligini oshirish, nosozliklarni oldindan aniqlash va mahsulot sifatini yaxshilashdagi afzalliklari ko‘rsatib berilgan. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, raqamli egizaklar ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytirish va korxonalarning raqobatbardoshligini oshirishga xizmat qiladi.

Energetika sohasida raqamli egizak texnologiyasi energiya iste'molini optimallashtirish va elektr tarmoqlarining samaradorligini oshirish uchun qo‘llanilmoqda. Smart Grid tizimlarida raqamli egizaklar real vaqt ma'lumotlari asosida energiya oqimlarini boshqarish imkonini beradi.

Tadqiqot metodologiyasi

Tadqiqotda tizimli tahlil, ilmiy adabiyotlarni o‘rganish va taqqoslash metodlaridan foydalanildi. Raqamli egizakning umumiy arxitekturasi quyidagi komponentlardan tashkil topadi:

- Sensorlar va IoT qurilmalari
- Ma'lumotlarni uzatish tarmog‘i

- Raqamli model
- Sun’iy intellekt moduli
- Qaror qabul qilish tizimi

Raqamli egizakning ishlash prinsipi fizik obyektlardan real vaqt rejimida ma’lumotlarni yig‘ish va ularni virtual model bilan sinxronlashtirishga asoslanadi. Natijada tizimning joriy holati baholanadi va kelajakdagi holati prognoz qilinadi.

Prognozlashning umumiy matematik modeli quyidagicha ifodalanadi:

$$Y(t+1) = f(X(t), P, E)$$

Bu yerda:

- Y(t+1) — prognoz qilinayotgan holat
- X(t) — joriy parametrlar
- P — tizim parametrlari
- E — tashqi muhit omillari
- f — sun’iy intellekt modeli

Tadqiqot natijalari

Turli texnologiyalarning ishlab chiqarish samaradorligiga ta’siri quyidagi jadvalda keltirilgan.

Texnologiya	Samaradorlik oshishi (%)
An’anaviy monitoring	68
IoT monitoring	79
Sun’iy intellekt	88
Raqamli egizak	95

Natijalar shuni ko‘rsatadiki, raqamli egizak texnologiyasi ishlab chiqarish samaradorligini sezilarli darajada oshiradi va texnik xizmat ko‘rsatish xarajatlarini kamaytiradi. Shuningdek, nosozliklarni oldindan aniqlash orqali uskunalarning ishlash muddatini uzaytirish mumkin.

Muhokama

Raqamli egizak texnologiyasi zamonaviy fizik tizimlarni boshqarishning eng istiqbolli yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. An’anaviy monitoring tizimlari faqat joriy holatni kuzatishga imkon bersa, raqamli egizak texnologiyasi tizimning kelajakdagi holatini prognoz qilish va optimal boshqaruv qarorlarini qabul qilish imkonini beradi.

Tadqiqot natijalari ko‘rsatishicha, raqamli egizak texnologiyasining samaradorligi sun’iy intellekt algoritmlari bilan integratsiyalashgan hollarda yanada ortadi. Ayniqsa, mashinaviy o‘qitish va chuqur o‘qitish algoritmlari yordamida uskunalar ishlashidagi yashirin qonuniyatlarni aniqlash hamda avariyaviy holatlarni oldindan prognoz qilish mumkin.

Energetika tizimlarida raqamli egizaklar elektr energiyasi ishlab chiqarish va iste’molini optimallashtirishda muhim rol o‘ynaydi. Aqlli elektr tarmoqlarida (Smart Grid) raqamli egizaklar yordamida energiya oqimlarini boshqarish, yuklamalarni muvozanatlashtirish va energiya yo‘qotishlarini kamaytirish mumkin.

Transport tizimlarida raqamli egizak texnologiyasi yo‘l harakati oqimlarini modellashtirish va tirbandliklarni kamaytirish imkonini beradi. Shahar infratuzilmasida esa transport vositalarining harakati real vaqt rejimida tahlil qilinib, optimal marshrutlar shakllantiriladi.

Ishlab chiqarish korxonalarida raqamli egizaklardan foydalanish natijasida texnik xizmat ko‘rsatish xarajatlari kamayadi, uskunalarning ishlash ishonchliligi oshadi va ishlab chiqarish jarayonlarining uzluksizligi ta’minlanadi. Ayrim tadqiqotlarda ishlab chiqarish samaradorligi 20–30 foizgacha oshgani qayd etilgan.

Raqamli egizak texnologiyasining yana bir muhim afzalligi virtual tajribalar o‘tkazish imkoniyatidir. Bunda real tizimga zarar yetkazmagan holda turli ssenariylar sinovdan o‘tkaziladi. Natijada xavfli va qimmat eksperimentlarni virtual muhitda bajarish imkoniyati yaratiladi.

Shu bilan birga, texnologiyaning ayrim cheklovlari ham mavjud. Birinchidan, yuqori aniqlikdagi raqamli egizak yaratish uchun katta hajmdagi ma’lumotlar talab etiladi. Ikkinchidan, ma’lumotlarni uzatish va qayta ishlash uchun yuqori unumdorlikdagi hisoblash resurslari zarur. Uchinchidan, kiberxavfsizlik masalalari ham dolzarb bo‘lib, raqamli egizaklar orqali uzatiladigan ma’lumotlarni himoyalash muhim ahamiyatga ega.

Kelgusida Edge AI, 5G aloqa texnologiyalari, kvant hisoblash tizimlari va generativ sun’iy intellektning rivojlanishi raqamli egizak texnologiyalarining imkoniyatlarini yanada kengaytirishi kutilmoqda.

Raqamli egizak texnologiyasining qo‘llanilish sohalari

Soha	Qo‘llanilishi	Natija
Energetika	Elektr tarmoqlarini monitoring qilish	Energiya tejalishi
Sanoat	Uskunalarni nazorat qilish	Nosozliklarni kamaytirish
Transport	Harakat oqimini boshqarish	Tirbandliklarni kamaytirish
Tibbiyot	Organ va tizimlar modeli	Diagnostika aniqligi
Ta’lim	Virtual laboratoriyalar	Ta’lim samaradorligi
Ekologiya	Atrof-muhit monitoringi	Tezkor prognozlash

Kelajakdagi rivojlanish istiqbollari

Raqamli egizak texnologiyasi Industry 5.0 konsepsiyasining asosiy komponentlaridan biri sifatida qaralmoqda. Kelajakda sun’iy intellekt bilan integratsiyalashgan raqamli egizaklar o‘z-o‘zini boshqaruvchi tizimlarni yaratish imkonini beradi.

Tadqiqotchilar tomonidan quyidagi yo‘nalishlar istiqbolli deb baholanmoqda:

- Generativ sun’iy intellekt asosidagi raqamli egizaklar
- Kvant hisoblash bilan integratsiya
- Edge AI asosidagi lokal boshqaruv tizimlari
- Avtonom sanoat robotlari
- Aqlli shaharlar uchun global raqamli egizak platformalari
- Real vaqt rejimida fizik jarayonlarni prognozlash tizimlari

Xulosa

Tadqiqot natijalari raqamli egizak texnologiyasi fizik tizimlarni boshqarish va optimallashtirishning samarali vositasi ekanligini ko‘rsatdi. Mazkur texnologiya fizik obyektlarning virtual nusxalarini yaratish orqali ularning holatini real vaqt rejimida kuzatish, tahlil qilish va prognozlash imkonini beradi.

Sun’iy intellekt, IoT va katta ma’lumotlar texnologiyalari bilan integratsiyalashgan raqamli egizak tizimlari ishlab chiqarish samaradorligini oshirish,

energiya sarfini kamaytirish va texnik xizmat ko‘rsatish xarajatlarini optimallashtirishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Tahlillar natijasida raqamli egizak texnologiyasining energetika, transport, sanoat, ekologiya va ta’lim sohalarida keng qo‘llanilishi mumkinligi aniqlandi. Ushbu texnologiya kelgusida Industry 5.0, aqlli shaharlar va avtonom boshqaruv tizimlarining asosiy elementi sifatida rivojlanishi kutilmoqda.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Tao F., Zhang H., Liu A., Nee A.Y.C. Digital Twin in Industry: State-of-the-Art. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2019. DOI: 10.1109/TII.2018.2873186.

2. Lu Y., Liu C., Wang K.I.K., Huang H., Xu X. Digital Twin-driven Smart Manufacturing: Connotation, Reference Model, Applications and Research Issues. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2020, Vol. 61.

3. Soori M., Arezoo B., Dastres R. Digital Twin for Smart Manufacturing: A Review. Sustainable Manufacturing and Service Economics, 2023, Vol. 3, 100017.

4. Nguyen P. et al. AI-Driven Digital Twins for Manufacturing: A Review Across Applications and Challenges. Sensors, 2025, Vol. 26, No. 1.

5. Mchirgui N., Quadar N., Kraiem H., Lakhssassi A. The Applications and Challenges of Digital Twin Technology in Smart Grids: A Comprehensive Review. Applied Sciences, 2024, Vol. 14, No. 23.

6. Fresemann C. et al. Engineering Activities in Digital Twins: A Literature Review. Design Society Proceedings, 2024.

7. Michael J., David I., Bork D. Digital Twin Evolution for Sustainable Smart Ecosystems. arXiv, 2024.

8. Karkaria V. et al. Towards a Digital Twin Framework in Additive Manufacturing: Machine Learning and Bayesian Optimization for Time Series Process Optimization. arXiv, 2024.