BUYUMLAR INTERNETI EKOTIZIMIDA TEXNOLOGIK JARAYONLAR SAMARADORLIGINI OSHIRISH MASALASIGA OID (ISHLAB CHIQARISH KORXONASI MISOLIDA)

Gulyamov Shuxrat Mannapovich[1], Usmanova Nargiza[2], Doshanova Malika Yuldashovna[3], Gayratov Zafar[4]

[1]Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti professori,
[2]Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU professori,
[3]Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU dotsenti,
[4]Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU dotsenti
E-mail: yuldashevna12@gmail.com

K E Y W O R D S

Industrial Internet of Things (IIoT), Buyumlar Interneti (IoT), adaptiv boshqaruv, aqlli ishlab chiqarish, Industry 4.0, sensorlar, aktuatorlar, Cisco Packet Tracer, MATLAB, ishlab chiqarish korxonasi, real vaqt monitoringi, sun'iy intellekt, Edge Computing, Cloud Computing, texnologik jarayonlar, sanoat avtomatlashtirish

A B S T R A C T

Mazkur maqolada ishlab chiqarish korxonasi misolida Buyumlar Interneti (Industrial Internet of Things, IIoT) ekotizimida texnologik jarayonlar samaradorligini adaptiv boshqaruv asosida oshirish masalasi tadqiq etilgan. IIoT infratuzilmasining asosiy komponentlari, jumladan sensorlar, aktuatorlar, aloqa tarmoqlari, Edge va Cloud platformalari hamda sun'iy intellekt texnologiyalarining o'zaro integratsiyasi tahlil qilingan. Texnologik jarayonlarni real vaqt rejimida monitoring qilish va boshqarish uchun adaptiv boshqaruvning matematik modeli ishlab chiqilgan hamda uning formal tavsifi keltirilgan. Tadqiqot obyekti sifatida Navoiy kon-metallurgiya kombinati tanlanib, Cisco Packet Tracer muhitida IIoT arxitekturasi va MATLAB dasturiy muhitida adaptiv boshqaruv modeli ishlab chiqilgan. Modellashtirish natijalari IoT asosidagi adaptiv boshqaruv tizimi favqulodda vaziyatlarga javob berish vaqtini sezilarli darajada qisqartirishini, ishlab chiqarish xavfsizligini oshirishini, inson omiliga bog'liqlikni kamaytirishini hamda korxonaning umumiy texnologik va iqtisodiy samaradorligini yaxshilashini ko'rsatdi. Olingan natijalar sanoat korxonalarida IIoT texnologiyalarini joriy etish va aqlli ishlab chiqarish tizimlarini rivojlantirish uchun amaliy ahamiyatga ega.

Kirish

Raqamli iqtisodiyot sharoitida Buyumlar Interneti (Internet of Things, IoT) turli sohalarda samaradorlik va unumdorlikni oshirish maqsadida ma'lumotlarni to'plash va tahlil qilish uchun ulangan qurilmalardan foydalanadigan texnologik yechim bo'lib, 4.0 Sanoat inqilobi va 5.0 Iqtisodiyotga o'tishda muhim o'rin egallaydi. Sanoat 4.0 kontekstida IoT ishlab chiqarish jarayonlarini avtomatlashtirish, resurslarni boshqarishni optimallashtirish va real vaqt rejimida ma'lumotlarni tahlil qilish orqali bashoratli texnik xizmat ko'rsatishni osonlashtirishda alohida ahamiyatga ega. IoT nafaqat ishlamay qolish vaqtini va operatsion xarajatlarni kamaytiradi, balki mahsulot sifati va ishonchliligini ham yaxshilaydi [1]. IoT ning ijobiy ta'siri hayotning turli jabhalarini qamrab oladi, hayot sifatini va jamiyatning farovonligini oshirishga hissa qo'shadi.

Mutaxassislar fikriga ko'ra, yaqin ikki yil ichida global sanoat IoT bozori 933,62 milliard dollarga yetishi kutilmoqda. Bulutli ilovalar ko'lami va masshtablash imkoniyati uning barcha sohalarida qo'shimcha o'sishni ta'minlaydigan ikkita omildir. Hozirda sanoat IoT yechimlaridan eng ko'p foyda ko'radigan sohalar qatoriga ishlab chiqarish, sog'liqni saqlash, energetika va elektr energiyasi ishlab chiqarish, logistika va transport, neft va gaz hamda qishloq xo'jaligi kiradi. Kelgusi bir necha yil ichida ishlab chiqarish sektori dominant sektorga aylanishi kutilmoqda. Tahliliy

(cc) BY

ISSN: 3030-3346

hisobotlarga ko‘ra, sanoat buyumlari interneti global iqtisodiy mahsulotning taxminan uchdan ikki qismini tashkil etuvchi ko‘plab sohalarni qayta kashf etadi va 2030-yilga kelib 14,2 trillion dollarlik iqtisodiy daromad keltiradi [2].

IoT qo‘llanilish doirasi juda keng va xilma-xil. Hozirgi vaqtda IoT yechimlaridan obyektlarni boshqarish, sanoat xavfsizligini oshirish, logistika va ta’minot zanjirini optimallashtirish, aqlli o‘lchash kabilarni bajarish uchun foydalanish mumkin. Biroq, sanoat va iqtisodiyotda IoTni joriy etishda turli xil qiyinchiliklarga ham duch kelinadi, jumladan, qurilmalarning o‘zaro ishlashi va adaptiv boshqaruv (moslashuvchanlik) masalalarida. Misol uchun, aksariyat korxonalarda oddiy ish tartibi qo‘llaniladi – agar biror narsa buzilsa, uni tuzatadilar, vaholanki, aqlli sensorlar va to‘g‘ri dasturiy ta’minotdan foydalanish kelajakdagi nosozliklarni to‘g‘ri bashorat qilish imkonini beradi (ba’zi tahlillarga ko‘ra, sanoat dunyosida ishdan chiqish/rad etishlar narxi sanoat kompaniyalariga soatiga 260 000 dollarga tushar ekan). Uskunalarni ancha samaraliroq usulda almashtirish va texnik xizmat ko‘rsatish mumkin, bu esa ishdan chiqish va sanoat jarayonlarining to‘xtab qolish xavfini kamaytiradi.

Maqolada ishlab chiqarish korxonasi misolida IoT tizimlarida adaptiv boshqaruv qo‘llab, faoliyat samaradorligini oshirish masalasi ko‘rib chiqilgan. IoT tizimlari asosida ishlab chiqarish korxonasida adaptiv boshqaruvni formal ifodalanishi va Cisco Packet Tracer imitatsion modellashtirish muhitida amaliy misollar keltirilgan.

Sanoat (industrial) IoTning texnologik ekotizimini shakllantirish va boshqarish jihatlari

Sanoat IoT (Industrial IoT, IIoT) ishlab chiqarish jarayonini kuzatib borish uchun aqlli sensorlar va boshqa ulangan qurilmalardan foydalanadi, ushbu ulangan qurilmalar ma’lumotlarni to‘plash, almashish va tahlil qilish uchun birgalikda ishlashi ta’minlanadi. Oddiy qilib aytganda IIoT – bu Internet orqali sanoat ilovalariga ulanadigan sensorlar va qurilmalar to‘plamidir. Odatda, IIoT ilovalari asosan ishlab chiqarish, energetika, transport va logistika sohalariga xizmat ko‘rsatadi.

Sanoat IoT sanoat jarayonlari, ishlab chiqarish tizimlari va infratuzilmalarni sensorlar, aloqa tarmoqlari, hisoblash platformalari va analitik tizimlar orqali yagona raqamli muhitga birlashtiruvchi texnologik ekotizimdir. IIoT ekotizimi, o‘z navbatida fizik qurilmalar, sensorlar, hisoblash resurslari, tarmoqlar va dasturiy platformalarning o‘zaro integratsiyasi natijasida hosil bo‘ladigan aqlli sanoat muhitidir. Bunday ekotizimning asosiy maqsadi – real vaqt rejimida ma’lumot yig‘ish, tahlil qilish va bashoratlash, avtomatik boshqaruv qarorlarini qabul qilish, ishlab chiqarish samaradorligini oshirish hisoblanadi.

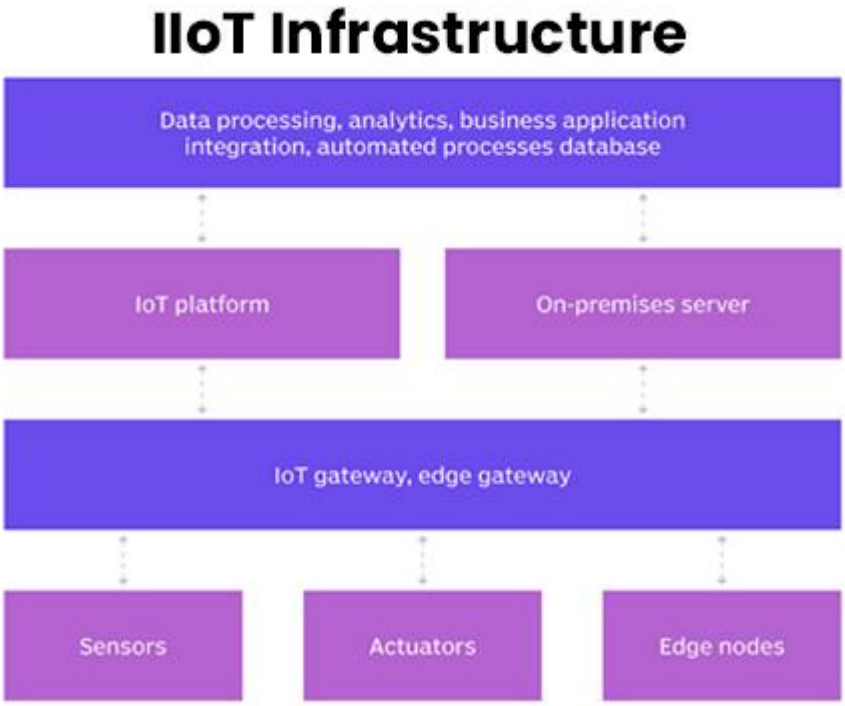
Texnologik nuqtai nazardan IIoT turli texnologiyalar bilan integratsiya qilinadi, ya’ni chegaraviy va bulitli hisoblashlar (Edge computing, Cloud computing), kata hajmdagi ma’lumotlar tahlili (Big Data analytics), sun’iy intellekt (Artificial Intelligence, AI), kiber-fizik tizimlar (Cyber-Physical Systems) kabi. IIoT qurilmalari va sensorlarini ulaydigan tarmoq turli xil kanallarni qo‘llab-quvvatlashi kerak [3]. Masalan, Ethernet kabellari zavodda keng tarqalgan qurilmalarni ulashi mumkin bo‘lsa-da, ulanish uchun 5G, 4G LTE, NFC, RFID, Bluetooth, NB-IOT, LoRaWAN va Wi-SUN kabi simsiz texnologiyalar ham talab qilinishi mumkin.

Tashkiliy jihatdan IIoT texnologik ekotizimining asosiy komponentlari fizik qurilmalar va sensorlar qatlami (real sanoat jarayonlarini kuzatadigan sensorlar, aktuatorlar, PLC (Programmable Logic Controller)lar, robotlar, ishlab chiqarish uskunalari), tarmoq va kommunikatsiya qatlami (qurilmalar o‘rtasida ma’lumot almashishni ta’minlaydigan vositalar, masalan Ethernet, 5G, Wi-Fi, LPWAN va boshq.), Edge computing qatlami (ma’lumotlarni manbaga yaqin joyda qayta ishlaydi), Platforma (Cloud/Industrial platform) qatlami (IIoT tizimining markaziy boshqaruv platformasidir, u ma’lumotlarni saqlash, katta hajmdagi analitika, AI modellari, “digital twin” (raqamli egizak) platformalari kabilarda namoyon bo‘ladi, ilovalar va qaror qabul qilish qatlami (sanoat boshqaruv tizimlarini, masalan ishlab chiqarishni optimallashtirish, energiya boshqaruvi, logistika boshqaruvi kabilarni o‘z ichiga oladi) [4,5].

(cc) BY

ISSN: 3030-3346

Umuman olganda, Sanoat Interneti infratuzilmasi bir nechta komponentlarni o‘z ichiga oladi (1-rasm).



1-rasm. IIoT infratuzilmasi

Chegaraviy (edge) qurilmalar: masalan, ma’lumotlarni to‘playdigan sensorlar va aktuatorlar. Tarmoq infratuzilmasi Sanoat IoT tomonidan to‘plangan ma’lumotlarni uzatadi.

Bulutli infratuzilma: ma’lumotlarni saqlaydi, tahlil qiladi, takliflar va amallar bajaradi.

Foydalanuvchi interfeysi qurilmalari: operatorlarga muhim ma’lumotlarni uzatadi.

IoT platformalari IoT ekotizimidagi har bir qurilma va aktuatorni bog‘laydigan qo‘llab-quvvatlovchi vositani taqdim etadi. Natijada, u to‘g‘ri aloqa, ma’lumotlarni saralash va qurilmalarni boshqarish imkonini beradi. U ilovalarning funksionalligini tekshiradi, bir nechta vazifalarni bajaradi (masalan sensorlar yoki apparat vositalarini ulash, aloqa protokollarini boshqarish, xavfsizlik xususiyatlarini taqdim etish, ma’lumotlarni to‘plash va umumlashtirish, boshqa veb-xizmatlar bilan integratsiyani ta’minlash).

IoT ekotizimida bir nechta pog‘onalar (qatlamlar) mavjud. Dastlab, IoT qurilmalariga ma’lumotlarni to‘plash imkonini beruvchi qatlam kerak, shuningdek, ma’lumotlarni Internetga uzatish kerak.

IoT qurilmalari ekotizimning birinchi qatlamini tashkil etuvchi aqlli IoT qurilmalari, odatda, IoT qurilmalarida sensorlar va aktuatorlar o‘rnatilgan.

IoT ekotizimidagi ma’lumotlarni tahlil qilish har doim xavfsizlik bilan bog‘liq muammolar bilan birga keladi. Shuning uchun, ma’lumotlarni to‘plash, tahlil qilish va oxirgi manzilga uzatish uchun bulutli ma’lumotlar bazasidan foydalanishda har doim ma’lumotlar xavfsizligini hisobga olish kerak.

Ma’lumotlar tahlili ma’lumotlarni qayta ishlashga va ma’lumotlarga ega bo‘lishga yordam beradi. Ko‘pincha bulutli ma’lumotlar bazalaridan foydalaniladi, chunki bu bashoratli tahlilga yordam beradi. Masalan, sensorlar ma’lumotlarni to‘playdi, uni shlyuz orqali bulutga yuboradi va bulutda tahlil qiladi, bir nechta modellarga asoslanib, tizim ob-havoni bashorat qiladi.

(cc) BY

IoT platformasi infratuzilmasining yana bir muhim komponenti shundaki, oxirgi foydalanuvchi interfeysi to‘plangan ma’lumotlar sensorlarini umumlashtirishga yordam beradi. Bundan tashqari, bu ularga ulangan IoT qurilmalaringiz bilan o‘zaro ishlash imkonini beradi. Tahlil platformasi ma’lumotlarni tahlil qiladi.

IIoT ekotizimini shakllantirish ancha murakkab masala hisoblanandi va bunda bir nechta texnik va texnologik tamoyillar inobatga olinadi, jumladan o‘zaro ishlash qobiliyati (interoperability), ya’ni turli ishlab chiqaruvchilarning qurilmalari bir-biri bilan ishlay olishi, yangi qurilmalar qo‘shilganda oson kengayishi, masshtablanuvchanlik (scalability), real vaqtda qayta ishlash qobiliyati, ishonchlilik va xavfsizlik. Bu tamoyillar muhit tomonidan qo‘llab-quvvatlanishida ekotizim komponentlarning boshqaruvi alohida ahamiyatga ega. IIoT qurilmalari ko‘p sonli bo‘lishi va katta geografik hududga tarqalishi mumkin, ammo tarmoq boshqaruvi tarmoq uskunalarini joylashtirishni avtomatlashtirishi va konfiguratsiyalarni izchil saqlashi, shuningdek, dasturiy ta’minotni yangilab turishi mumkin. Bu shuningdek, qurilmalarning kutilgan natijalarga muvofiq ishlashini ta’minlashga yordam beradi va agar bunday bo‘lmasa, administratorlarga tuzatish choralarini ko‘rishga yo‘naltiradi.

IIoT sharoitida adaptiv boshqaruv ishlab chiqarish jarayonlarining o‘zgaruvchan sharoitlariga moslashish, uskunalar samaradorligini oshirish, energiya sarfini optimallashtirish, nosozliklarni oldindan aniqlash (predictive maintenance) kabilarni ta’minlaydi.

IIoT ekotizimida adaptiv boshqaruv tizim parametrlari va boshqaruv algoritmlarini real vaqt rejimida o‘zgaruvchan ishlab chiqarish sharoitlariga moslashtirish orqali jarayonlarni optimal boshqarishga qaratilgan yondashuvdir. Bunday boshqaruv IIoT muhitida sensorlar, tarmoqlar, analitik platformalar va sun’iy intellekt yordamida amalga oshiriladi.

An’anaviy talqinda adaptiv boshqaruv – bu tizimning dinamik parametrlarini avtomatik aniqlash va boshqaruv qonunini real vaqt rejimida moslashtirishga asoslangan boshqaruv usulidir [6].

IIoT infratuzilma komponentlarini inobatga olgan holda, adaptiv boshqaruvni sensorlar va monitoring tizimi, ma’lumotlarni uzatish, chegaraviy analitika, sun’iy intellekt, boshqaruv vositalari kabi tarkibiy elementlar asosida talqin qilish mumkin.

Sensorlar real vaqt rejimida texnologik parametrlarni o‘lchaydi, masalan temperatura, bosim, vibratsiya, ishlab chiqarish tezligi va energiya sarfini. Bunda ma’lumot oqimi shakllanadi:

$$X(t) = \{x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)\}, \quad (1)$$

bu yerda $x_i(t)$ – i-sensor o‘lchovi.

Ma’lumotlarni uzatishda sensor ma’lumotlari IIoT tarmoqlari orqali uzatiladi va ma’lumot oqimi intensivligi quyidagicha ifodalanadi:

$$F(t) = \sum_{i=1}^{n} f_i(t). \quad (2)$$

Chegaraviy (edge) analitika uchun qurilmalar signalni filtratsiya qilish, lokal qaror qabul qilish, kechikishni kamaytirish kabilarni bajaradi. Umumiy tahlillar va sun’iy intellekt qismi parametrlar identifikatsiyasi, prognozlash, optimallashtirish algoritmlari asosida kerakli vazifalarni amalga oshiradi.

Boshqaruv aktuatorlaridan ishlab chiqarish tizimiga boshqaruv signali $u(t)$ (motor tezligini o‘zgartirish, haroratni boshqarish, ishlab chiqarish tezligini moslashtirish kabi) uzatiladi.

Adaptiv boshqaruvning matematik modeli IIoT tizimida boshqaruv obyekti uchun umumlashgan dinamik model bilan ifodalanishi mumkin:

$$\dot{x}(t) = A(\delta)x(t) + B(\delta)u(t), \quad (3)$$

bu yerda $x(t)$ – tizim holati, $u(t)$ – boshqaruv signali, $A(\delta), B(\delta)$ – noma’lum parametrli matritsalar, δ – tizim parametrlari.

IIoT tizimida adaptiv boshqaruv quyidagi bosqichlarda amalga oshiriladi.

1. Ma’lumot yig‘ish sensorlar ma’lumot oqimidan: $X(t)$;

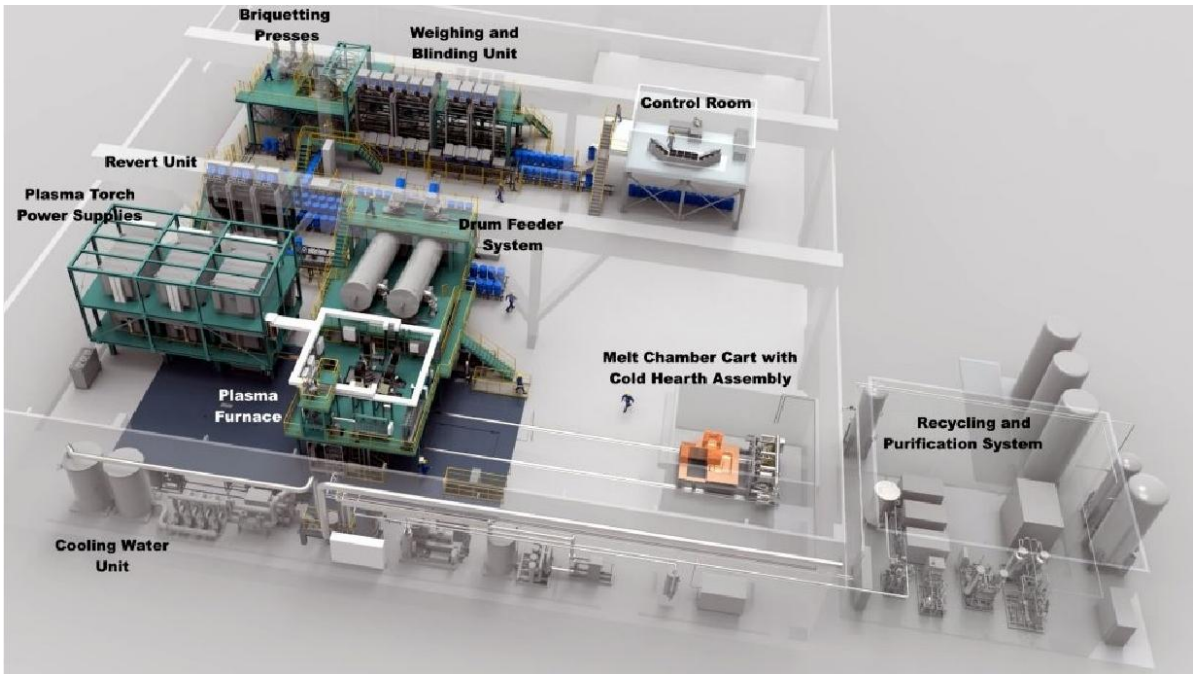
(cc) BY

2. Parametr identifikatsiyasi uchun tizim parametrlari aniqlanadi: $\hat{\delta}(t)$;
3. Holatni baholash: $\hat{x}(t)$;
4. Boshqaruv qonuni shakllantiriladi: $u(t) = -K(t)x(t)$;
5. Adaptatsiya $K(t+1) = K(t) + \Delta K$ amalga oshiriladi.

Shu tariqa adaptiv boshqaruv tamoyillarini qo‘llab, IoT asosida tashkil etilgan korxona faoliyatini takomillashtirish mumkin.

IoT yechimlari platformasi aqlli korxona/tashkilotning eng muhim qismidir. IoT-ga asoslangan texnologiyalarni to‘g‘ridan-to‘g‘ri amalga oshirishni boshlashdan oldin, qulay, ochiq arxitektura mavjudligiga ishonch hosil qilish juda muhimdir. Sanoat korxonasi kesimida bunday yechimlarni aprobatsiya qiish uchun yurtimizda faoliyat olib borayotgan real obyekt, Navoiy kon-metallurgiya kombinati (https://www.ngmk.uz/) model sifatida tanlab olindi. Bunday modelni yaratishdan maqsad – IoT texnologiyasini qo‘llaganda korxona faoliyatiga ta’sirini o‘rganish hamda samaradorlik ko‘rsatkichlarini model asosida tahlil qilish.

IIoT ekotizimida adaptiv boshqaruv arxitekturasini shakllantirishda korxonaning tizim arxitekturasini ta’riflash kerak. Bunda sanoat jarayoni, sensorlar, IIoT tarmog‘i, chegaraviy tahlil, adaptiv kontroller, boshqaruv signali, aktuatorlar, sanoat uskunalari kabi komponentlar asosiy hisoblanadi. Korxonaning ishlash samaradorligini ishchi kuchi bilan emas, IoT texnologiyasidan foydalangan holda yo‘lga qo‘yish maqsadga muvofiq, chunki kombinatga olingan oddiy konchi yoki nazoratchilarning vazifasini IoT ga murojaat qilish orqali amalga oshirish mumkin. Navoiy kon-metallurgiya kombinatida ish faoliyatini o‘rganish uchun Cisco Packet Tracer muhiti (7.1.1-versiyasi)da imitatsion modeli yaratildi (2-rasmda keltirilgan).



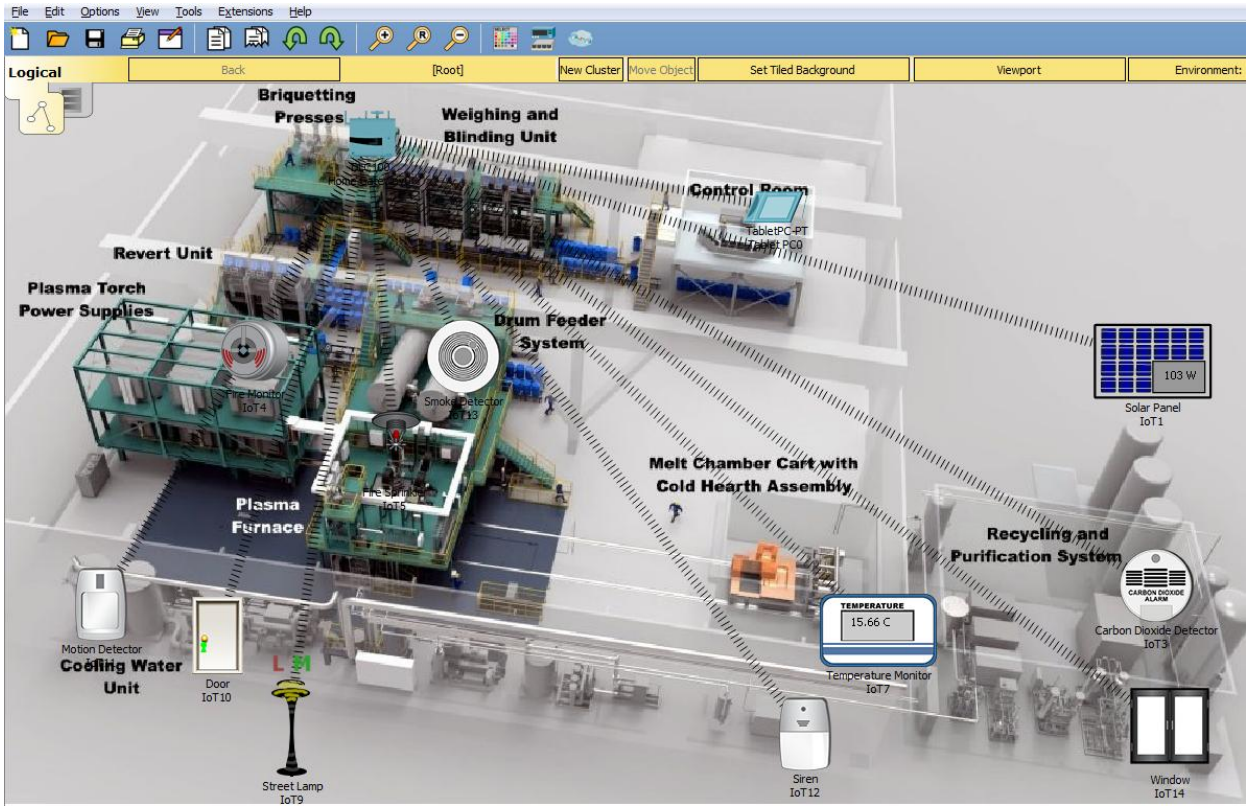
2-rasm. Navoiy kon-metallurgiya kombinatining ishchi modeli

Packet Tracer – bu Cisco Systems (https://www.cisco.com/) tomonidan ishlab chiqilgan platformalararo vizual simulyatsiya vositasi bo‘lib, foydalanuvchilarga tarmoq topologiyalarini yaratish va zamonaviy kompyuter tarmoqlarini taqlid qilish imkonini beradi. Yuqoridagi rasmda Industrial IoTni Navoiy kon-metallurgiya kombinati kesimida tasvirlanishi keltirilgan va u quyidagi qismlardan iborat:

- qayta ishlash va tozalash (ma’dan ajratish) tizimi;
- plazma pechi;
- konteynerni to‘ldirish tizimi;
- quvvat ta’minoti va Plazma mash’alasi bloki;
- qayta uzatish bloki;
- o‘lchash va presslash bloki;
- eritish va muzlatish kameralari;
- nazorat xonasi.

(cc) BY

Tadqiqot modeli bo‘yicha berilgan bloklarning barchasida IoT elementlarini ishlatish mumkin. Bunda quyidagicha o‘zgartirish taklif etiladi (3-rasm).



3-rasm. Navoiy kon-metallurgiya kombinatining IoT asosida qurilgan modeli

3-rasmda ko‘rsatib o‘tilgan Navoiy kon-metallurgiya kombinatining IoT asosida qurilgan modelida kombinatga har xil turdagi IoT elementlari o‘rnatilgan. Bu IoT elementlari uchun Control Room orqali masofadan turib yoki internet tarmog‘i orqali boshqaruv va monitoring amalga oshiriladi. Bunday boshqaruv turi inson hayoti uchun xavfsiz muhitni yaratishga imkon beradi, shuningdek ishchi kuchining tejalishi korxonada iqtisodiy samaradorlikka erishishga imkon beradi.

Cisco Packet Tracerda modellashtirilgan korxonaning IoT asosida qurilgan qiyosiy modelini ishlatadigan bo‘lsak, modelni tashqi muhitdagi o‘zgarishlarga javobini kuzatish mumkin. Masalan, Plazma pechida yong‘in sodir bo‘lsa, avtomatik tarzda Smoke detector (Tutun payqagich) ishga tushadi va Fire sprinkler (o‘t o‘chirgich)ni hamda Siren(Sirena)ni ishga tushiradi, buning natijasida yuzaga kelgan yong‘in inson ishtirokisiz bartaraf etiladi. Nazoratchi uni faqatgina Control room (Nazorat xonasi) orqali kuzatib turadi. Quyida o‘t ochirgich (Fire sprinkler) ga yozilgan dastur kodi (misoli) keltirilgan:

```
var WATERLEVEL_RATE = 0.1; // 0.1 cm per second
var HUMIDITY_RATE = 5/3600; // 5% per hour
var VOLUME_AT_RATE = 100000;
var state = 0;  // 0 off, 1 on
function setup()
{
IoEClient.setup(
{
type: "Fire Sprinkler",
states: [{
name: "Status",
type: "bool",
controllable: true}]});
setState(parseInt(data));}
function setState(newState){
state = newState;
analogWrite(A1, state);
customWrite(0, state);
IoEClient.reportStates(state);
setDeviceProperty(getName(), "state", state);
updateEnvironment();}
function updateEnvironment(){

if (state == 1){
var volumeRatio = VOLUME_AT_RATE / Environment.getVolume();
Environment.setContribution("Water Level", WATERLEVEL_RATE *volumeRatio);
Environment.setContribution("Humidity",
```

```
IoEClient.onInputReceive = function(input) {
processData(input, true);};
attachInterrupt(0, function() {
processData(customRead(0), false);});
setState(state);}
function mouseEvent(pressed, x, y, firstPress) {
if (firstPress)
setState(state ? 0 : 1);}
function processData(data, bIsRemote) {
if ( data.length <= 0 )
return;
HUMIDITY_RATE*volumeRatio);}
else{
Environment.setContribution("Water Level", 0);
Environment.setContribution("Humidity", 0);}}
```

Shu tariqa tizimning boshqa komponentlar ishini imitatsiya qilish uchun dastur kodlari yoziladi.

Bundan tashqari kombinatda yuzaga kelishi mumkin bo‘lgan har qanday favqulodda vaziyatlar insonning bevosita ishtirokisiz IoT qurilmalari orqali internet tarmog‘i bo‘ylab yoki boshqaruv xonasidan turib bartaraf etilishi mumkin. Bu esa kombinatda talofatlarsiz, iqtisodiy ziyonlarsiz boshqaruv muhitini shakllantirishga zamin yaratadi, inson hayotiga tahdid soluvchi ofatlarni oldi olinadi. Modeldan bunga yana bir misol bu – kombinatning Qayta ishlash va tozalash (ma’dan ajratish) tizimidir. Bu yerda komyoviy elementlar qayta ishlanishi tufayli xonada karbonat angidrid gazi miqdori oshib ketishi turli xil ko‘ngilsiz voqealarga sabab bo‘lishi mumkin. Buning oldini olish uchun Qayta ishlash va tozalash (ma’dan ajratish) xonasiga IoT deraza (window) hamda karbonat angidrid gazini payqagich (Carbon dioxide detector) o‘rnatilsa kifoya, masofadan turib bu vaziyatni ham boshqarish va nazorat qilish mumkin.

Korxona kesimida component/bloklarning har birida IoT sensorlari va aktuatorlari o‘rnatilishi orqali jarayonlarni real vaqt rejimida monitoring qilish va boshqarish imkoniyati yaratiladi. Nazorat jarayonlari Control Room orqali yoki internet tarmog‘i orqali masofadan amalga oshiriladi. Bunday yondashuv inson hayoti uchun xavfsiz muhit yaratadi, texnologik jarayonlarni optimallashtiradi, ishchi kuchi sarfini kamaytiradi va iqtisodiy samaradorlikni oshiradi. Tabiiyki, bunda IoT asosidagi model tashqi muhitdagi o‘zgarishlarga adaptiv tarzda javob qaytarishi yo‘li bilan erishish nazarda tutiladi.

IoT asosidagi adaptiv boshqaruv tizimini modellashtirish

Navoiy kon-metallurgiya kombinati kesimida IoT asosidagi adaptiv boshqaruvning formal modelini ifoda etamiz. Buning uchun kombinat tizimi quyida keltirilgan ko‘rinishda ifodalanadi. Tizim komponentlari to‘plami quyidagi ko‘rinishga ega:

$$K = \{B_1, B_2, \dots, B_8\}, \quad (4)$$

bu yerda B_1 – qayta ishlash bloki, B_2 – plazma pechi, B_3 – konteyner tizimi, B_4 – energiya bloki, B_5 – qayta uzatish bloki, B_6 – o‘lchash bloki, B_7 – eritish kamerasi, B_8 – nazorat xonasi.

Sensorlar to‘plami quyidagi ko‘rinishga ega:

$$S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}. \quad (5)$$

Sensorlar quyidagi parametrlarni o‘lchaydi: tutun miqdori, CO_2 konsentratsiyasi, harorat, namlik, gazlar konsentratsiyasi.

Aktuatorlar quyidagi ko‘rinishga ega:

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}. \quad (6)$$

Aktuatorlarga “fire sprinkler”, “siren”, “ventilyatsiya oynasi”, “signalizatsiya tizimi” kabilar misol bo‘lishi mumkin. Tizim holati quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$X(t) = [x_1(t), x_2(t), x_3(t), x_4(t)\,], \quad (7)$$

bu yerda x_1 – tutun darajasi, x_2 – CO_2 miqdori, x_3 – harorat, x_4 – gazlar konsentratsiyasi.

(cc) BY

Adaptiv boshqaruv funksiyasi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$U(t) = f(X(t)), \qquad (8)$$

bu yerda $U(t) = [u_1, u_2, u_3]$, u_1 – sprinklerni yoqish, u_2 – sirena ishga tushirish, u_3 – ventilyatsiyani ochish.

Chegaraviy shartlarda, masalan, tutun darajasi:

Smoke>40 bo‘lsa, Sprinkler=1, Siren=1;

CO_2 uchun adaptiv qoida: CO_2>60 bo‘lsa Window=Open.

Cisco Packet Tracerda IoT qurilmalar yordamida simulyatsiya tajribasi quyidagi natijalarni berdi:

1-holat: IoT tizimisiz:

Holat	Natija
Plazma pechida yong‘in	operator aralashuvi talab etiladi
CO_2 ortishi	xavfli muhit

Reaksiya vaqti: T≈120−180 sekund.

2-holat: IoT adaptiv boshqaruv bilan:

Jarayon avtomatik bajariladi, ya’ni Smoke detector signal beradi, Fire sprinkler ishga tushadi, Siren ogohlantiradi, Control room monitoring qiladi.

Reaksiya vaqti: T≈3−5 sekund.

1-jadvalda IoT tizimi joriy etilgandan keyin samaradorlik tahlili keltirilgan.

1-javdal.

IoT tizimi joriy etilgandan keyin samaradorlik tahlili

Ko‘rsatkich	Avval	IoT bilan
Favqulodda reaksiya vaqti	150 s	4 s
Ishchi aralashuvi	yuqori	minimal
Xavfsizlik darajasi	o‘rta	yuqori

IoT tizimi quyidagi adaptiv boshqaruv algoritmi asosida ishlaydi:

$$U(t) = U(t-1) + K(X_p - X(t)), \quad (9)$$

bu yerda X_p – holat parametri, K – adaptiv koeffitsient.

Kon-metallurgiya ishlab chiqarish tizimlarida xavfsizlik, energiya samaradorligi hamda texnologik jarayonlarning barqaror ishlashi muhim hisoblanadi. IoT sensorlari orqali real vaqt rejimida ma'lumotlarni yig‘ish va adaptiv boshqaruv algoritmlarini qo‘llash orqali ishlab chiqarish tizimining samaradorligini oshirish mumkin. Bu imkoniyatni namoyon qilish maqsadida Navoiy kon-metallurgiya kombinati texnologik jarayonlari uchun IoT asosidagi adaptiv boshqaruv modeli MATLAB muhitida modellashtirildi.

IoT tizimi quyidagi holat vektori orqali ifodalanadi:

$$X(t) = \begin{bmatrix} S(t) \\ C(t) \\ T(t) \\ H(t) \end{bmatrix}, \qquad (10)$$

bu yerda S(t) – tutun darajasi, C(t) – karbonat angidrid miqdori, T(t) – harorat, H(t) – namlik.

Boshqaruv vektori quyidagi ko‘rinishga ega:

$$U(t) = \begin{bmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \\ u_3(t) \end{bmatrix}, \qquad (11)$$

bu yerda u_1 – sprinkler tizimi, u_2 – sirena, u_3 – ventilyatsiya oynasi.

Tizim dinamikasi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$X(t+1) = AX(t) + BU(t) + W(t), \qquad (12)$$

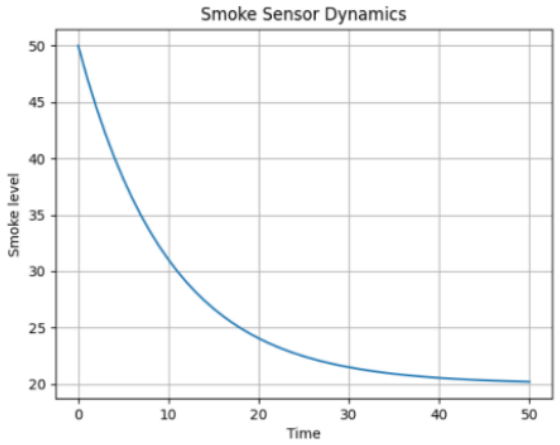
bu yerda: A – tizim matritsasi

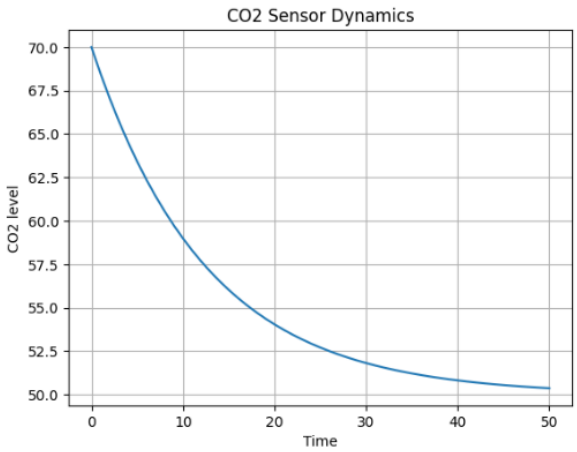
(cc) BY

$$A = \begin{bmatrix} 0.82 & 0.05 & 0.03 & 0.02 \\ 0.04 & 0.88 & 0.05 & 0.03 \\ 0.03 & 0.04 & 0.85 & 0.06 \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} 0.82 & 0.05 & 0.03 & 0.02 \\ 0.04 & 0.88 & 0.05 & 0.03 \\ 0.03 & 0.04 & 0.85 & 0.06 \\ 0.02 & 0.03 & 0.04 & 0.90 \end{bmatrix},$$

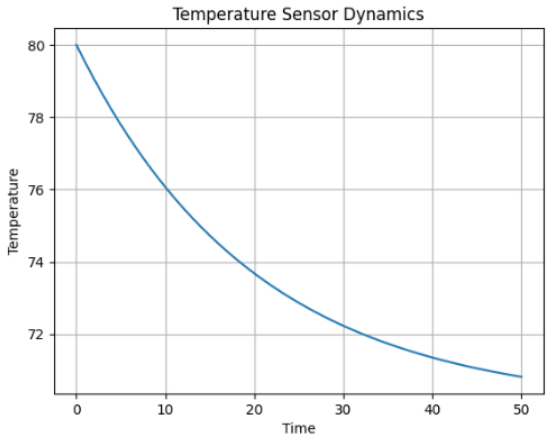
B – boshqaruv matritsasi $B = \begin{bmatrix} 0.6 & 0.1 & 0.2 \\ 0.2 & 0.1 & 0.5 \\ 0.3 & 0.2 & 0.1 \\ 0.1 & 0.1 & 0.4 \end{bmatrix}$.

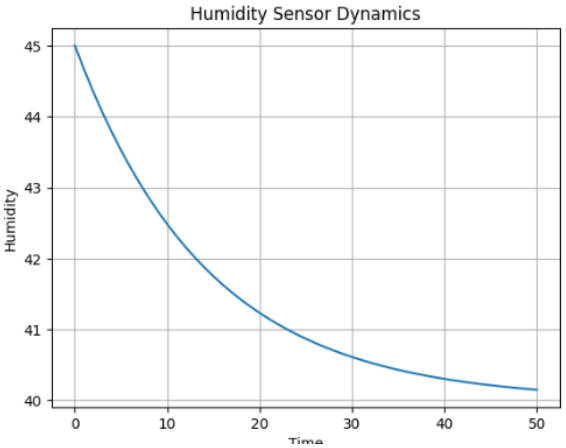
IoT tizimi modellashtirilganda sensorlar monitoringi, CO_2 konsentratsiyasi, harorat va namlik bo‘yicha natijalar mos ravishda 4-7-rasmlarda keltirilgan.





4-rasm. Tutun sensorlari monitoring 5-rasm. CO_2 konsentratsiyasi





6-rasm. Harorat sensori monitoring 7-rasm. Namlik sensori monitoringi

Grafiklardan ko‘rinadiki, IoT sensorlari yordamida texnologik parametrlarning vaqt bo‘yicha o‘zgarishi kuzatildi. Adaptiv boshqaruv algoritmi ishga tushirilgach tizim parametrlari kritik (holat) qiymatlardan xavfsiz zona tomon konvergensiya qiladi. Jumladan, ‘Smoke Sensor Dynamics’ uchun: yong‘in boshlanishida tutun darajasi yuqori bo‘ladi, sprinkler ishga tushgach vaqt o‘tishi bilan tutun darajasi kamayadi; ‘CO_2 Sensor Dynamics’ uchun ishlab chiqarish jarayonida CO_2 miqdori oshadi, ventilyatsiya yoki IoT oynasi ochilgach konsentratsiya asta-sekin kamayadi; ‘Temperature Sensor Dynamics’ uchun plazma pechida boshlang‘ich harorat yuqori, sovitish va boshqaruv tizimi ishga tushgach harorat barqarorlashadi; ‘Humidity Sensor Dynamics’ uchun sprinkler ishlaganda namlik vaqtincha oshadi, keyin normal holatga qaytadi.

Umuman olganda, tadqiqot natijasida IoT asosidagi tizim favqulodda vaziyatlarga avtomatik javob berishi, ishlab chiqarish xavfsizligi sezilarli oshishi, inson omiliga bog‘liqlik kamayishi, reaksiya tezligi oshishi kabi omillar namoyon

(cc) BY

etildi. Cisco Packet Tracer muhitida yaratilgan model hamda MATLAB modellashtirish natijalari IoT asosidagi adaptiv boshqaruv tizimining ijobiy qo‘llanilishini tasdiqlaydi.

Kelgusi ishlarda IoT tizimida adaptiv boshqaruv hisobiga tizim samaradorligini oshirish imkoniyati orqali ishlab chiqarish jarayonining barqaror va xavfsiz ishlashini ta’minlaydigan modellar tadqiq qilinadi. Alohida e’tibor IoT asosidagi adaptiv boshqaruv modeli, tizim parametrlari identifikatsiyasi va formal matematik to‘liq ifodalanishiga beriladi.

Xulosa

Mazkur tadqiqotda ishlab chiqarish korxonasi misolida Buyumlar Interneti ekotizimida texnologik jarayonlar samaradorligini oshirish uchun adaptiv boshqaruv yondashuvi ishlab chiqildi va tahlil qilindi. Tadqiqot davomida IIoT infratuzilmasining asosiy komponentlari tizimli ravishda o‘rganildi, adaptiv boshqaruvning matematik modeli shakllantirildi hamda sanoat korxonasi uchun IIoT asosidagi arxitektura taklif etildi.

Taklif etilgan model Navoiy kon-metallurgiya kombinati misolida Cisco Packet Tracer va MATLAB dasturiy muhitlarida modellashtirildi. Olingan natijalar IoT sensorlari, aktuatorlar va adaptiv boshqaruv algoritmlaridan foydalanish favqulodda vaziyatlarga javob berish vaqtini an’anaviy boshqaruvga nisbatan taxminan **150–180 soniyadan 3–5 soniyagacha** qisqartirish imkonini berishini ko‘rsatdi. Shu bilan birga, texnologik parametrlarning real vaqt rejimida monitoring qilinishi ishlab chiqarish xavfsizligini oshirish, inson omiliga bog‘liqlikni kamaytirish, texnik xizmat ko‘rsatish samaradorligini yaxshilash hamda ishlab chiqarish jarayonlarini optimallashtirish imkonini beradi.

Shuningdek, MATLAB muhitida o‘tkazilgan modellashtirish natijalari adaptiv boshqaruv algoritmi ishga tushirilgandan so‘ng tutun, CO_2 konsentratsiyasi, harorat va namlik kabi texnologik parametrlarning kritik qiymatlardan xavfsiz ishchi rejimga barqaror yaqinlashishini tasdiqladi. Bu esa taklif etilgan yondashuvning samaradorligi va barqarorligini ko‘rsatadi.

Tadqiqot natijalari IIoT texnologiyalarini sanoat korxonalariga joriy etish ishlab chiqarishning raqamli transformatsiyasini jadallashtirish, resurslardan oqilona foydalanish, avariya xavfini kamaytirish va korxonaning iqtisodiy samaradorligini oshirishga xizmat qilishini ko‘rsatadi. Kelgusidagi tadqiqotlarda taklif etilgan modelni raqamli egizak (Digital Twin), mashinali o‘qitish va sun’iy intellekt algoritmlari bilan integratsiyalash, shuningdek real sanoat ma’lumotlari asosida eksperimental validatsiya qilish rejalashtirilmoqda. Bu esa IIoT asosidagi adaptiv boshqaruv tizimlarining aniqligi, ishonchliligi va amaliy qo‘llanilish imkoniyatlarini yanada kengaytiradi.

Adabiyotlar ro‘yxati:

1. Judijanto L., Internet of Things (IoT) as a driver of the industrial revolution 4.0 towards economy 5.0/ International journal of financial economics, Vol.1, No.7
2. (https://wikep.net/index.php/IJEFE/article/view/909)
3. The Most Important Benefits and Challenges of Industrial IoT/https://www.iotforall.com/benefits-challenges-industrial-iot
4. https://www.cisco.com/site/us/en/learn/topics/industrial-iot/what-is-industrial-iot.html
5. https://www.controleng.com/a-practical-approach-to-industrial-iot-and-device-management/
6. The Industrial IoT Ecosystem: Key Framework and Top Components/ https://thinkpalm.com/blogs/the-industrial-iot-ecosystem-key-framework-and-top-components/Internet resurs (kirish 03.03.2026)
7. Растригин Л. А. Адаптация сложных систем: Методы и приложения. - Рига: Зинатне, 1981. - 375 с.

(cc) BY