ISNN 3030-3907

2026/2
VOLUME 5

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/2 VOLUME 5

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

SANOAT TARMOQLARIDA MODBUS/TCP PROTOKOLI ASOSIDA MA’LUMOT UZATISHNING ISHONCHLILIGINI OSHIRISH USULI

Jurayev O‘tkirbek Murodullo o‘g‘li

Iqtisodiyot va pedagogika universiteti o‘qituvchisi

Annotatsiya. Ushbu maqolada sanoat Ethernet tarmoqlarida Modbus/TCP protokoli orqali ma’lumot uzatish jarayonida yuzaga keladigan paket yo‘qotilishi va kechikish muammolari tahlil qilinadi. Tarmoq yuklamasi, kechikish va paket yo‘qotilish ehtimolligi o‘rtasidagi bog‘liqlik o‘rganildi. Ishonchlilikni oshirish maqsadida VLAN segmentatsiyasi, QoS mexanizmi va redundant topologiya asosidagi optimallashtirish usuli taklif qilindi. Eksperimental natijalar taklif etilgan usul paket yo‘qotilishini kamaytirishi va kechikishni barqarorlashtirishini ko‘rsatdi.

Kalit so‘zlar: Modbus/TCP, Industrial Ethernet, paket yo‘qotilishi, kechikish, QoS, VLAN, ishonchlilik.

Аннотация. В данной статье анализируются проблемы потери пакетов и задержек передачи данных в промышленных Ethernet-сетях при использовании протокола Modbus/TCP. Исследована взаимосвязь между сетевой нагрузкой, задержкой и вероятностью потери пакетов. В целях повышения надежности предложен метод оптимизации на основе сегментации VLAN, механизма QoS и резервированной топологии. Экспериментальные результаты показали, что предложенный метод снижает потери пакетов и стабилизирует задержку передачи данных.

Ключевые слова: Modbus/TCP, Industrial Ethernet, потеря пакетов, задержка, QoS, VLAN, надежность.

Abstract. This paper analyzes packet loss and latency issues in industrial Ethernet networks using the Modbus/TCP protocol. The relationship between network load, delay, and packet loss probability is investigated. To improve reliability, an optimization method based on VLAN segmentation, Quality of Service (QoS) mechanisms, and redundant topology is proposed. Experimental results demonstrate that the proposed approach reduces packet loss and stabilizes transmission delay.

Keywords: Modbus/TCP, Industrial Ethernet, packet loss, latency, QoS, VLAN, reliability.

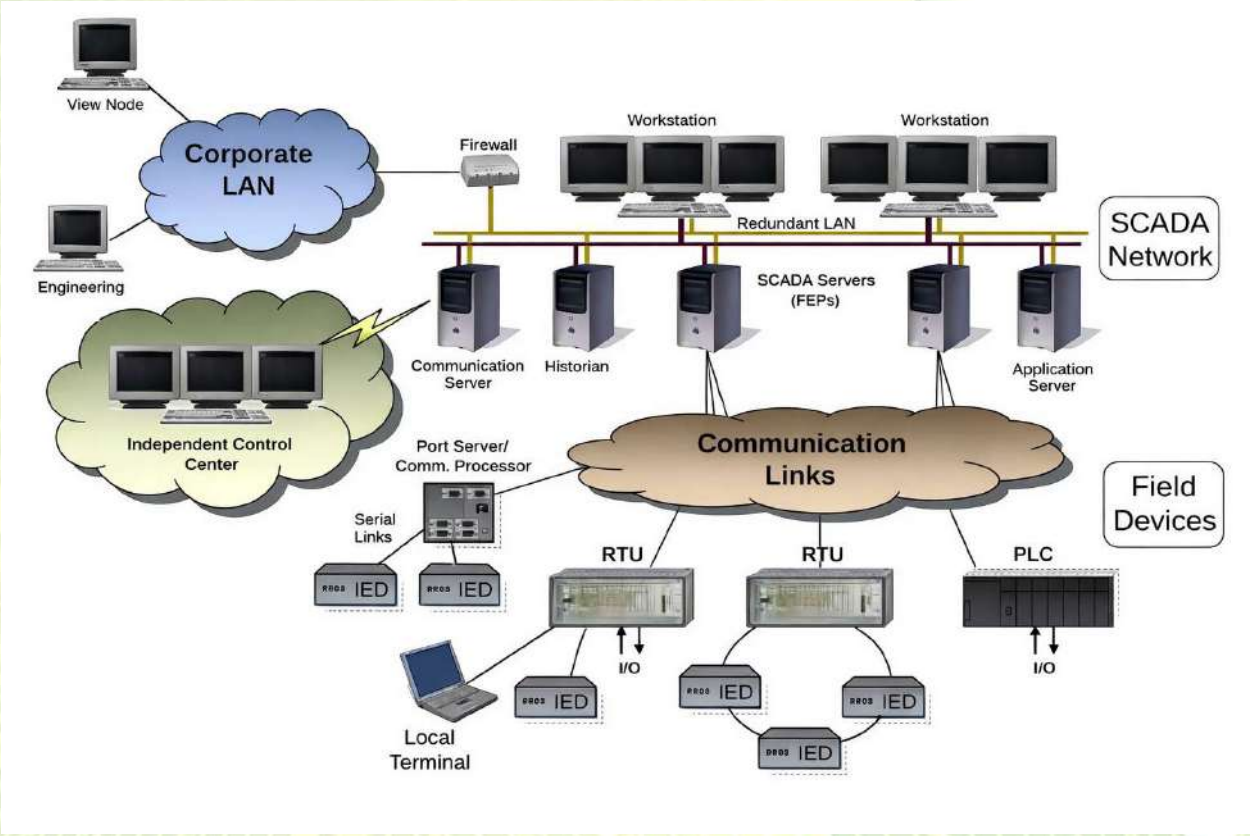
KIRISH.

Sanoat avtomatlashtirish tizimlarida real vaqt rejimida ma’lumot uzatish ishlab chiqarish jarayonlarining barqarorligi, aniqligi va xavfsizligini ta’minlashda hal qiluvchi ahamiyatga ega [1]. Zamonaviy ishlab chiqarish korxonalarida texnologik jarayonlar ko‘plab datchiklar, ijro mexanizmlari, boshqaruv

ISSN 3030-3907

kontrollerlari hamda monitoring tizimlari orqali boshqariladi. Ushbu qurilmalar o‘rtasidagi uzluksiz va ishonchli axborot almashinuvi butun tizim samaradorligini belgilaydi.

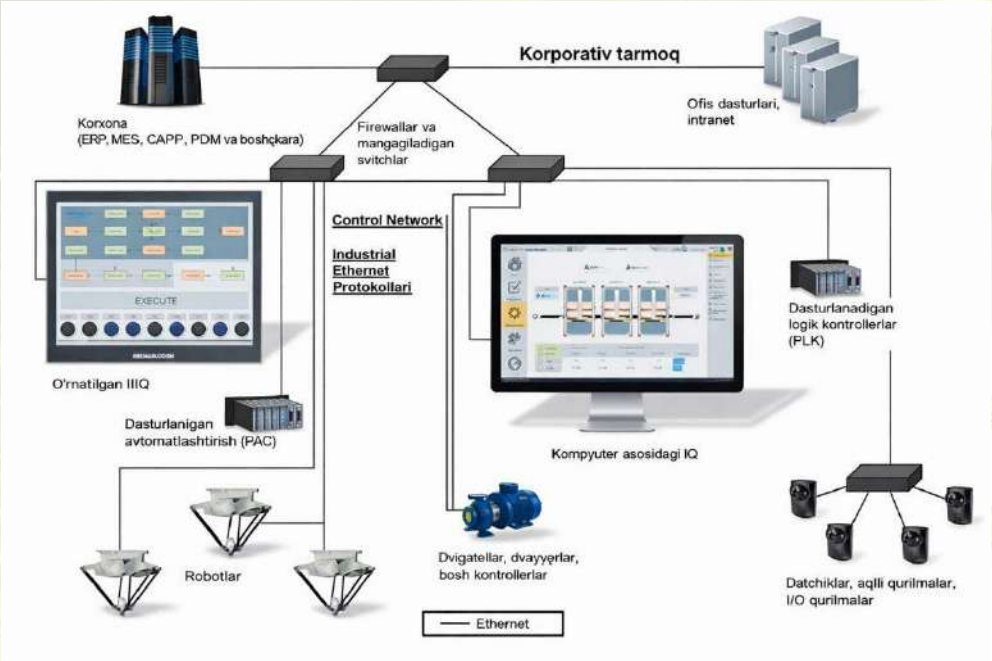
Hozirgi kunda PLC (Programmable Logic Controller), SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) va HMI (Human Machine Interface) qurilmalari o‘rtasidagi kommunikatsiya ko‘pincha Modbus/TCP protokoli asosida tashkil etiladi. Modbus/TCP ochiq arxitekturaga ega bo‘lib, turli ishlab chiqaruvchilarning qurilmalarini yagona tarmoqda birlashtirish imkonini beradi. Shu sababli u sanoat tarmoqlarida keng qo‘llanilmoqda [3].



1-rasm. Sanoat avtomatlashtirish tizimining umumiy tarmoq sxemasi.

Ushbu rasmda sanoat avtomatlashtirish tizimining umumiy tarmoq sxemasi ko‘rsatilgan bo‘lib, unda korporativ LAN, SCADA serverlari, RTU va PLC qurilmalari hamda maydon darajasidagi IED qurilmalari o‘rtasidagi o‘zaro bog‘lanish tasvirlangan [7]. Tarmoq ko‘p darajali tuzilishga ega bo‘lib, ma’lumotlar maydon darajasidan boshqaruv darajasiga va undan korporativ darajaga uzatiladi.

ISSN 3030-3907



2-rasm. Korporativ tarmoq va sanoat boshqaruv tarmog‘i (Industrial Ethernet) arxitekturasi.

Ushbu rasmda esa korporativ tarmoq va sanoat boshqaruv tarmog‘ining (Industrial Ethernet) o‘zaro integratsiyasi aks ettirilgan. Ushbu arxitektura xavfsizlik devorlari (firewall), boshqariladigan kommutatorlar va redundant LAN segmentlari orqali yuqori darajadagi uzluksizlik va himoyalanganlikni ta’minlashga qaratilgan.

Modbus/TCP protokoli TCP/IP modeliga asoslangan bo‘lib, Ethernet fizik muhiti orqali ishlaydi. TCP transport protokoli ma’lumotlarni yetkazib berishning ishonchliligini ta’minlasada, sanoat muhitida bir qator omillar uzatish sifatiga salbiy ta’sir ko‘rsatishi mumkin [8]. Jumladan elektromagnit shovqinlar EMI,yuqori tarmoq yuklamasi, broadcast trafigining ortishi, switch buferlarining to‘lishi, noto‘g‘ri topologiya va segmentatsiya. Ushbu omillar paket yo‘qotilishi (packet loss), kechikish (latency) va jitter ko‘rsatkichlarining ortishiga olib keladi. Natijada real vaqt boshqaruv tizimlarida signal kechikishi yuzaga kelib, texnologik jarayon aniqligi pasayadi. Ayniqsa, tezkor boshqaruv talab qilinadigan sanoat jarayonlarida (masalan, energetika, kimyo sanoati, metallurgiya) hatto kichik kechikishlar ham jiddiy oqibatlarga olib kelishi mumkin. Shuningdek, korporativ va boshqaruv tarmoqlarining integratsiyalashuvi kiberxavfsizlik va trafik ustuvorligi masalalarini ham dolzarb qiladi. Tarmoq yuklamasi ortgan sharoitda Modbus paketlari boshqa trafiklar bilan raqobatlashadi, bu esa real vaqt talablariga zid bo‘lishi mumkin. Shu sababli, sanoat Ethernet tarmoqlarida Modbus/TCP asosida ma’lumot uzatishning ishonchliligini oshirish ilmiy va amaliy jihatdan muhim masalalardan biridir[8].

ISSN 3030-3907

Mazkur tadqiqotning maqsadi - Modbus/TCP asosidagi sanoat tarmoqlarida paket yo‘qotilishi va kechikishlarni kamaytirish orqali ma’lumot uzatish ishonchliligini oshirish usulini ishlab chiqish hamda taklif etilgan yechimni tajribaviy baholashdan iborat. Tadqiqot doirasida tarmoq yuklamasi tahlil qilinadi, optimallashtirish mexanizmlari ishlab chiqiladi va ularning samaradorligi eksperimental natijalar asosida baholanadi.Mazkur tadqiqot sanoat Ethernet tarmog‘ida Modbus/TCP asosida ma’lumot uzatish jarayonini modellashtirish, tarmoq yuklamasi sharoitida uzatish sifatini baholash va optimallashtirish mexanizmlarining samaradorligini aniqlash bosqichlarida amalga oshirildi.

Tadqiqot quyidagi ketma-ketlikda bajarildi: Sanoat tarmog‘i modelini yaratish,Turli yuklama sharoitlarini modellashtirish, Uzatish sifat ko‘rsatkichlarini o‘lchash, Optimallashtirish mexanizmlarini joriy etish, Natijalarni solishtirma tahlil qilish

Tarmoq modeli. Tajriba Industrial Ethernet asosidagi lokal sanoat tarmog‘i modeli orqali amalga oshirildi. Model quyidagi asosiy elementlardan tashkil topdi: 1 ta PLC (Master) - so‘rov yuboruvchi qurilma, 4 ta Slave qurilma (RTU/IED) - javob beruvchi qurilmalar, 1 ta Layer - 2 boshqariladigan switch, 1 ta SCADA server Ethernet (100/1000 Mbps) aloqa kanali. PLC qurilma Modbus/TCP protokoli orqali Slave qurilmalarga davriy so‘rov (polling) yuboradi [8]. Slave qurilmalar esa javob paketlarini qaytaradi. SCADA server esa monitoring va ma’lumotlarni arxivlash vazifasini bajaradi. Tarmoq yuklamasi uch xil sharoitda modellashtirildi.

Past yuklama - 30% , O‘rta yuklama - 60% , Yuqori yuklama - 85% . Yuklama sun’iy ravishda qo‘shimcha fon trafigini (background traffic) generatsiya qilish orqali hosil qilindi. Bu sanoat tarmog‘ining real ishlash sharoitini imitatsiya qilish imkonini berdi. Tarmoq samaradorligi quyidagi asosiy ko‘rsatkichlar orqali baholandi:

1.Paket yo‘qotilish darajasi (%) $\mathrm{PacketLoss}(\%)=\frac{\mathrm{N_{lost}}}{\mathrm{N_{sent}}}\times 100$

Bu yerda:

N_{lost} –yo'qolgan paketlar soni

N_{sent} –uzatilgan umumiy paketlar soni

O‘rtacha kechikish (Latency) $D_{avg}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(t_{receive,i}-t_{send,i}\right)$

Bu yerda:

ISSN 3030-3907

D_{avg} –o'rtacha kechikish

n –paketlar soni

$t_{receive,i}$ –i- paketni qabul qilish vaqti

$t_{send,i}$ –i- paketni yuborish vaqti

3. Jitter (kechikish tebranishi) $J = |D_i - D_{i-1}|$

Jitter real vaqt tizimlarida barqarorlikni belgilovchi muhim parametr hisoblanadi.

4.Tarmoq o‘tkazuvchanligi (Throughput)

$$\text{Throughput} = \frac{\text{Total Data}}{\text{Transmission Time}} \qquad T = \frac{D_{total}}{t_{transmission}}$$

Paket yo‘qotilish ehtimolligi modeli. Paket yo‘qotilish ehtimolligi Poisson jarayoniga asoslangan model orqali baholandi:

$$P_{loss} = 1 - e^{-\lambda t}$$

λ –trafik intensivligi (paket/sekund)

t –uzatish vaqti (sekund)

Model tarmoq yuklamasi ortishi bilan paket yo‘qotilish ehtimolligining eksponensial ravishda oshishini ko‘rsatadi. Taklif etilgan optimallashtirish usuli tadqiqotda sanoat tarmog‘ida ma’lumot uzatish ishonchliligini oshirish uchun kompleks yondashuv taklif etildi. Optimallashtirish quyidagi asosiy mexanizmga asoslandi. VLAN segmentatsiyasi boshqaruv trafigi (Modbus/TCP) va umumiy ofis trafigi alohida VLAN larga ajratildi.Natijada:Broadcast trafigi kamaytirildi,Tarmoq kolliziyalari oldi olindi va Switch bufer yuklamasi kamaytirildi.Bu Modbus paketlarining kechikishini kamaytirishga xizmat qildi.QoS (Quality of Service) konfiguratsiyasi [5]. Modbus/TCP paketlariga yuqori ustuvorlik berildi. Switch konfiguratsiyasida: DSCP markirovkasi, Priority queue mexanizmi, Traffic shaping qo‘llanildi. Natijada real vaqt trafigi oddiy trafikdan ustun qo‘yildi va kechikish sezilarli kamaytirildi.

Redundant ring topologiya.Tarmoqda ring topologiya joriy etilib, Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP) mexanizmi qo‘llanildi.Bu quyidagilarni ta’minladi.Uzilish holatida avtomatik qayta tiklanish.Tarmoq uzluksizligi.Ishonchlilik koeffitsientining oshishi [3].Tarmoq ishonchliligi quyidagi formula bilan baholandi:

$$R = 1 - P_{failure}$$

R –tizim ishonchliligi (reliability)

$P_{failure}$ –nosozlik ehtimoli

Redundant arxitektura orqali umumiy nosozlik ehtimolligi kamaytirildi.Metodikaning afzalligi, Taklif etilgan metodika. Tarmoq yuklamasi

ISSN 3030-3907

ortgan sharoitda barqarorlikni ta’minlaydi.Paket yo‘qotilishini kamaytiradi. Real vaqt boshqaruv tizimlarida aniqlikni oshiradi. Amaliy sanoat tarmoqlarida qo‘llash uchun mos keladi. Tajriba natijalari oddiy (optimallashtirilmagan) tarmoq va taklif etilgan optimallashtirish mexanizmlari joriy qilingan tarmoq o‘rtasida solishtirma tahlil asosida baholandi. Paket yo‘qotilish darajasi Eksperimental o‘lchov natijalari 1-jadvalda keltirilgan.

1-Jadval.

Paket yo‘qotilish darajasi

Tarmoq yuklamasi	Oddiy tarmoq (%)	Optimallashtirilgan (%)	Kamayish darajasi
30%	0.2	0.05	4 barobar
60%	1.8	0.4	4.5 barobar
85%	6.5	1.1	≈5.9 barobar

Natijalardan ko‘rinib turibdiki, yuklama ortishi bilan oddiy tarmoqda paket yo‘qotilishi keskin oshadi. 85% yuklama sharoitida paket yo‘qotilish darajasi 6.5% ga yetgan. Taklif etilgan optimallashtirish mexanizmlari qo‘llanilgandan so‘ng esa shu sharoitda paket yo‘qotilishi 1.1% gacha kamaydi. Foizli samaradorlik hisoblash

85% yuklama sharoitida samaradorlik:

$$\text{Efficiency} = \frac{6.5 - 1.1}{6.5} \times 100 \approx 83\% \qquad \eta = \frac{Q_{initial} - Q_{loss}}{Q_{initial}} \times 100 \approx 83\%$$

η –samaradorlik(%)

$Q_{initial}$ –boshlang'ich qiymat

Q_{loss} –yo'qotish miqdori

Demak, yuqori yuklama sharoitida paket yo‘qotilishi 83% ga kamaydi. Kechikish (Latency) tahlili

2-Jadval.

O‘rtacha kechikish ko‘rsatkichlari

Yuklama	Oddiy tarmoq (ms)	Optimallashtirilgan (ms)	Kamayish
30%	8	6	25%
60%	24	14	41.6%
85%	75	28	62.7%

Yuqori yuklama sharoitida kechikish 75 ms dan 28 ms gacha kamaydi. 85% yuklama uchun kechikish samaradorligi:

ISSN 3030-3907

$$\text{Reduction} = \frac{75-28}{75} \times 100 \approx 62.7\%$$ Bu real vaqt boshqaruv tizimlari uchun sezilarli yaxshilanish hisoblanadi. Jitter va barqarorlik. Optimallashtirilgan tarmoqda kechikish tebranishi (jitter) ham sezilarli darajada kamaydi. Oddiy tarmoqda maksimal jitter: 18 - 22 ms. Optimallashtirilgan tarmoqda: 6 - 8 ms. Bu esa signal uzatishning barqarorligini oshirdi va real vaqt rejimida ishlovchi tizimlarda xatolik ehtimolini kamaytirdi. O‘tkazuvchanlik (Throughput). Yuqori yuklama sharoitida optimallashtirilgan tarmoqda foydali trafik o‘tkazuvchanligi 12 - 18% ga oshdi. Buning sababi:

VLAN orqali trafik ajratilishi, QoS mexanizmi orqali ustuvorlik berilishi, Paket retransmissionlarining kamayishi.Umumiy samaradorlik bahosi.Tarmoq ishonchlilik koeffitsienti quyidagicha baholandi:

$R = 1 - P_{loss}$ 85% yuklama uchun: Oddiy tarmoq:

R=1−0.065 = 0.935R = 1 - 0.065 = 0.935R = 1−0.065 = 0.935

Optimallashtirilgan tarmoq:

R=1 − 0.011= 0.989R = 1 - 0.011 = 0.989R = 1−0.011 = 0.989

Demak, tizim ishonchliligi 93.5% dan 98.9% gacha oshdi.

NATIJALAR TAHLILI. Olingan natijalar shuni ko‘rsatdiki. Paket yo‘qotilishi 4 - 6 barobar kamaydi. Kechikish 2 - 3 barobar qisqardi. Jitter barqarorlashdi. Tarmoq ishonchliligi 5% dan ortiq oshdi. Yuqori yuklama sharoitida tizim barqarorligi sezilarli yaxshilandi.Ayniqsa 85% yuklama sharoitida optimallashtirish mexanizmlarining samaradorligi yaqqol namoyon bo‘ldi. Bu taklif etilgan kompleks yondashuv sanoat real vaqt tizimlarida qo‘llash uchun amaliy jihatdan maqsadga muvofiq ekanligini tasdiqlaydi.

MUHOKAMA. Olingan natijalar sanoat Ethernet tarmoqlarida yuqori yuklama sharoitida yuzaga keladigan asosiy muammo - switch buferlarining to‘lishi va trafik navbatlarining ortib ketishi ekanligini ko‘rsatdi. Bu holat TCP asosidagi Modbus/TCP protokolida retransmission mexanizmining ishga tushishiga olib keladi. Natijada paket yo‘qotilishi, kechikish va jitter ortadi. Ayniqsa 85% yuklama sharoitida oddiy arxitektura real vaqt talablariga javob bera olmay qoladi.Switch buferi va trafik navbatlari ta’siri. Yuqori trafik intensivligi (λ) oshgan sari paketlar kelish tezligi ularni qayta ishlash tezligidan yuqori bo‘lib ketadi. Bu quyidagi muammolarni keltirib chiqaradi. Queue delay ortishi, Buffer overflow,TCP retransmission, End-to-end kechikishning keskin oshishi.Eksperimental natijalar bu jarayonni tasdiqladi: optimallashtirilmagan tarmoqda yuklama ortishi bilan kechikish eksponensial tarzda o‘sdi.VLAN segmentatsiyasi broadcast domenlarini ajratish orqali tarmoqdagi keraksiz trafikni kamaytiradi.Broadcast va multicast trafigi cheklanadi. Switch buferlaridagi

ISSN 3030-3907

ortiqcha yuk kamayadi.Modbus paketlari uchun ishlov berish vaqti qisqaradi. Bu ayniqsa o‘rta va yuqori yuklama sharoitida sezilarli samaradorlik berdi. Tahlillar shuni ko‘rsatdiki, VLAN qo‘llanilishi umumiy trafik hajmini 15 - 25% gacha kamaytiradi, bu esa real vaqt paketlari uchun resurs ajratilishini yaxshilaydi [6].QoS (Quality of Service) konfiguratsiyasi Modbus/TCP paketlariga ustuvorlik berish orqali kechikish va jitter ko‘rsatkichlarini barqarorlashtirdi. Priority queue mexanizmi real vaqt trafigini oddiy ofis yoki fon trafigidan ajratib, ularni birinchi navbatda uzatishni ta’minladi.

Natijalar shuni ko‘rsatdiki: Kechikish 40 - 60% gacha kamaydi. Jitter 3 barobargacha kamaydi. TCP retransmission soni sezilarli kamaydi. Bu real vaqt boshqaruv tizimlari uchun muhim omil hisoblanadi, chunki barqaror kechikish boshqaruv aniqligini ta’minlaydi. Redundant topologiyaning ahamiyati. Redundant ring topologiya va RSTP mexanizmi tarmoq uzilishlarida avtomatik qayta tiklanishni ta’minladi. Oddiy liniyali topologiyada bitta kabel uzilishi butun segmentning ishdan chiqishiga olib kelishi mumkin. Redundant arxitektura esa: Uzilish vaqtini minimal darajaga tushiradi.Tizimning mavjudlik (availability) ko‘rsatkichini oshiradi. Ishonchlilik koeffitsientini yaxshilaydi. Nazariy jihatdan tizim ishonchliligi quyidagicha ifodalanadi:

$$R_{total} = 1 - \prod_{i=1}^{n} P_{failure,i} \qquad R_{total} = 1 - \prod P_{failure}$$

R_{total} –umumiy tizim ishonchliligi

$P_{failure,i}$ –i - elementning nosozlik ehtimoli

$\prod$ –ko'paytma operatori (product)

Muhimi shundaki, VLAN, QoS va redundant topologiya alohida qo‘llanganda ham foydali natija beradi, biroq ularni birgalikda qo‘llash sinergetik samaradorlik hosil qiladi. Tadqiqot natijalari ko‘rsatdiki, kompleks optimallashtirish. Paket yo‘qotilishini 80% dan ortiq kamaytirdi. Kechikishni 60% gacha qisqartirdi. Tarmoq ishonchliligini 98% dan yuqori darajaga olib chiqdi. Bu esa sanoat real vaqt tizimlari uchun talab etiladigan deterministik ishlashga yaqin natijani ta’minlaydi. Amaliy ahamiyati. Taklif etilgan yondashuv : Energetika obyektlari,Neft - gaz sanoati,Kimyo ishlab chiqarish.Avtomatlashtirilgan ishlab chiqarish liniyalari,uchun amaliy jihatdan qo‘llash mumkin.Shuningdek, natijalar sanoat tarmoqlarida Modbus/TCP dan foydalanishda trafik boshqaruvi va arxitektura optimallashtirish muhimligini tasdiqlaydi.

XULOSA. Mazkur tadqiqotda sanoat Ethernet tarmoqlarida Modbus/TCP protokoli asosida ma’lumot uzatish jarayonining ishonchliligi kompleks tahlil qilindi hamda uni oshirishga qaratilgan optimallashtirish usuli ishlab chiqildi. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, yuqori yuklama sharoitida tarmoqning

ISSN 3030-3907

an’anaviy konfiguratsiyasi real vaqt boshqaruv tizimlari talablariga to‘liq javob bera olmaydi. Ayniqsa switch buferlarining to‘lishi, trafik navbatlarining ortishi va retransmission jarayonlari paket yo‘qotilishi hamda kechikish ko‘rsatkichlarini sezilarli oshiradi. Taklif etilgan kompleks optimallashtirish mexanizmi - VLAN segmentatsiyasi, QoS konfiguratsiyasi va redundant ring topologiya - sanoat tarmog‘ining ishlash samaradorligini sezilarli darajada yaxshiladi.Eksperimental natijalarga ko‘ra:

Paket yo‘qotilishi 5 - 6 barobarga kamaydi (yuqori yuklama sharoitida 83% gacha yaxshilanish kuzatildi). O‘rtacha kechikish 2 - 3 barobarga qisqardi (60% dan ortiq kamayish). Jitter darajasi barqarorlashdi. Tarmoq ishonchlilik koeffitsienti 98% dan yuqori darajaga yetdi. Tizimning umumiy barqarorligi va deterministik ishlash xususiyati yaxshilandi.Bu natijalar taklif etilgan yondashuv sanoat real vaqt boshqaruv tizimlari uchun amaliy jihatdan samarali ekanligini tasdiqlaydi. Ayniqsa yuqori yuklama va intensiv ishlab chiqarish jarayonlarida trafikni boshqarish va ustuvorlik berish mexanizmlarining ahamiyati katta ekanligi aniqlandi.Tadqiqotning amaliy ahamiyati shundaki, ishlab chiqilgan usul.Energetika va neft-gaz obyektlarida. Kimyo va metallurgiya sanoatida. Avtomatlashtirilgan ishlab chiqarish liniyalarida.SCADA asosidagi nazorat tizimlarida qo‘llanilishi mumkin. Shuningdek, mazkur ish sanoat tarmoqlarini loyihalashda trafik segmentatsiyasi va ustuvorlik boshqaruvi strategiyalarini joriy etish zarurligini asoslab beradi. Kelgusidagi tadqiqotlarda quyidagi yo‘nalishlarni rivojlantirish maqsadga muvofiq:

Time - Sensitive Networking (TSN) texnologiyasini qo‘llash,Sun’iy intellekt asosida adaptiv trafik boshqaruvi;Kiberxavfsizlik mexanizmlarini integratsiyalash;

Real sanoat obyektlarida keng ko‘lamli tajribaviy sinovlar o‘tkazish. Xulosa qilib aytganda, taklif etilgan optimallashtirish usuli Modbus/TCP asosidagi sanoat Ethernet tarmoqlarida ma’lumot uzatishning ishonchliligini sezilarli darajada oshirish imkonini beradi va real vaqt boshqaruv tizimlarining aniqligi hamda barqarorligini ta’minlashga xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Modbus Organization, Modbus Application Protocol Specification V1.1b3, 2012.
2. Modbus Organization, Modbus Messaging on TCP/IP Implementation Guide V1.0b, 2006.
3. W. Stallings, Data and Computer Communications, 10th ed., Pearson, 2014.
4. A. S. Tanenbaum and D. J. Wetherall, Computer Networks, 5th ed., Pearson, 2011.

ISSN 3030-3907

5. .R. Zurawski (Ed.), Industrial Communication Technology Handbook, 2nd ed., CRC Press, 2015.
6. J. P. Thomesse, “Fieldbus Technology in Industrial Automation,” Proceedings of the IEEE, vol. 93, no. 6, pp. 1073–1101, 2005.
7. IEEE Standards Association, IEEE Std 802.3™-2018: Ethernet Standard, 2018.
8. H. Kopetz, Real-Time Systems: Design Principles for Distributed Embedded Applications, Springer, 2011.
9. Cisco Systems, Quality of Service Networking, Cisco Press, 2016.
10. S. Vitturi, M. Luvisotto, and S. Michieletto, “Industrial Communication Systems and Their Future Challenges,” IEEE Industrial Electronics Magazine, vol. 13, no. 4, pp. 6–17, 2019.

ISSN 3030-3907