

MUHANDISLIK

& IQTISODIYOT

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

2026-YIL
SENTYABR / 9-SON, I-QISM



Milliy nashrlar

OAK: <https://oak.uz/pages/4802>

05.00.00 – Texnika fanlari

08.00.00 – Iqtisodiyot fanlar



Google
Scholar

ISSN
INTERNATIONAL
STANDARD
SERIAL
NUMBER
INTERNATIONAL CENTRE

OpenAIRE



ISSN: 3060-463X

РЭУ.РФ
РОССИЙСКИЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Г.В. ПЛЕХАНОВА
ФИЛИАЛ В Г. ТАШКЕНТЕ



muhandislik & iqtisodiyot

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

Elektron nashr, 2026-yil, sentyabr.

Bosh muharrir:

Zokirova Nodira Kalandarovna, iqtisodiyot fanlari doktori, DSc, professor

Bosh muharrir o'rinbosari:

Shakarov Zafar G'afforovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori, PhD, dotsent

Tahrir hay'ati:

Abduraxmanov Kalendar Xodjayevich, O'z FA akademigi, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Sharipov Kongratbay Avezimbetovich, texnika fanlari doktori, professor

Maxkamov Baxtiyor Shuxratovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Abduraxmanova Gulnora Kalandarovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Shaumarov Said Sanatovich, texnika fanlari doktori, professor

Turayev Bahodir Xatamovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Nasimov Dilmurod Abdulloyevich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), professor

Allayeva Gulchexra Jalgasovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Arabov Nurali Uralovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Maxmudov Odiljon Xolmirzayevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Xamrayeva Sayyora Nasimovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Bobonazarova Jamila Xolmurodovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Irmatova Aziza Baxromovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Bo'taboyev Mahammadjon To'ychiyevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Shamshiyeva Nargizaxon Nosirxuja kizi, iqtisodiyot fanlari doktori, professor,

Xolmuxamedov Muhsinjon Murodullayevich, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Xodjayeva Nodiraxon Abdurashidovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Amanov Otabek Amankulovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Toxirov Jaloliddin Ochil o'g'li, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Qurbonov Samandar Pulatovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Zikriyoyev Aziz Sadulloyevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Tabayev Azamat Zaripbayevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sxay Lana Aleksandrovna, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Ismoilova Gulnora Fayzullayevna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Djumaniyazov Umrbek Ilxamovich, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Kasimova Nargiza Sabitdjanovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Kalanova Moxigul Baxritdinovna, dotsent

Ashurzoda Luiza Muxtarovna, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sharipov Sardor Begmaxmat o'g'li, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Tursunov Ulug'bek Sativoldiyevich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), dotsent

Bauyetdinov Majit Janizaqovich, Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti dotsenti, PhD

Botirov Bozorbek Musurmon o'g'li, Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sultonov Shavkatjon Abdullayevich, Kimyo fanlari doktori, (DSc)

Jo'raeva Malohat Muhammadovna, filologiya fanlari doktori (DSc), professor.

Yusupov Maxamadamin Abduxamidovich, iqtisodiyot fanlari nomzodi (DSc), professor

Kalonova Moxigul Baxritdinovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi (PhD), dotsent

Mirzayev Kulmamat Djanzakovich, iqtisodiyot fanlari nomzodi (DSc), professor.

Karimova Nilufar Sadirdin qizi, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Norboyev Odil Abrayevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Karimova Nilufar Sadirdin qizi, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Pardaev Umidjon Uralovich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), professor

Xolmirzayev Ulug'bek Abdulazizovich, Iqtisodiyot fanlari doktori (DSc)

muhandislik & iqtisodiyot

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

- 05.01.00 – Axborot texnologiyalari, boshqaruv va kompyuter grafikasi
- 05.01.01 – Muhandislik geometriyasi va kompyuter grafikasi. Audio va video texnologiyalari
- 05.01.02 – Tizimli tahlil, boshqaruv va axborotni qayta ishlash
- 05.01.03 – Informatikaning nazariy asoslari
- 05.01.04 – Hisoblash mashinalari, majmualari va kompyuter tarmoqlarining matematik va dasturiy ta'minoti
- 05.01.05 – Axborotlarni himoyalash usullari va tizimlari. Axborot xavfsizligi
- 05.01.06 – Hisoblash texnikasi va boshqaruv tizimlarining elementlari va qurilmalari
- 05.01.07 – Matematik modellash
- 05.01.11 – Raqamli texnologiyalar va sun'iy intellekt
- 05.02.00 – Mashinasozlik va mashinashunoslik
- 05.02.08 – Yer usti majmualari va uchish apparatlari
- 05.03.02 – Metrologiya va metrologiya ta'minoti
- 05.04.01 – Telekommunikatsiya va kompyuter tizimlari, telekommunikatsiya tarmoqlari va qurilmalari. Axborotlarni taqsimlash
- 05.05.03 – Yorug'lik texnikasi. Maxsus yoritish texnologiyasi
- 05.05.05 – Issiqlik texnikasining nazariy asoslari
- 05.05.06 – Qayta tiklanadigan energiya turlari asosidagi energiya qurilmalari
- 05.06.01 – To'qimachilik va yengil sanoat ishlab chiqarishlari materialshunosligi
- 05.08.03 – Temir yo'l transportini ishlatish
- 05.08.06 – "G'ildirakli va gusenisali mashinalar va ularni ishlatish" (texnika fanlari)
- 05.09.01 – Qurilish konstruksiyalari, bino va inshootlar
- 05.09.04 – Suv ta'minoti. Kanalizatsiya. Suv havzalarini muhofazalovchi qurilish tizimlari
- 10.00.06 – Qiyosiy adabiyotshunoslik, chog'ishtirma tilshunoslik va tarjimashunoslik
- 10.00.04 – Yevropa, Amerika va Avstraliya xalqlari tili va adabiyoti
- 08.00.01 – Iqtisodiyot nazariyasi
- 08.00.02 – Makroiqtisodiyot
- 08.00.03 – Sanoat iqtisodiyoti
- 08.00.04 – Qishloq xo'jaligi iqtisodiyoti
- 08.00.05 – Xizmat ko'rsatish tarmoqlari iqtisodiyoti
- 08.00.06 – Ekonometrika va statistika
- 08.00.07 – Moliya, pul muomalasi va kredit
- 08.00.08 – Buxgalteriya hisobi, iqtisodiy tahlil va audit
- 08.00.09 – Jahon iqtisodiyoti
- 08.00.10 – Demografiya. Mehnat iqtisodiyoti
- 08.00.11 – Marketing
- 08.00.12 – Mintaqaviy iqtisodiyot
- 08.00.13 – Menejment
- 08.00.14 – Iqtisodiyotda axborot tizimlari va texnologiyalari
- 08.00.15 – Tadbirkorlik va kichik biznes iqtisodiyoti
- 08.00.16 – Raqamli iqtisodiyot va xalqaro raqamli integratsiya
- 08.00.17 – Turizm va mehmonxona faoliyati

Ma'lumot uchun, OAK

Rayosatining 2024-yil 28-avgustdagi 360/5-son qarori bilan "Dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarini chop etishga tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro'yxati"ga texnika va iqtisodiyot fanlari bo'yicha "Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali ro'yxatga kiritilgan.

Muassis: "Tadbirkor va ishbilarmon" MChJ

Hamkorlarimiz:

1. Toshkent shahridagi G.V.Plexanov nomidagi Rossiya iqtisodiyot universiteti
2. Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti
3. Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti" milliy tadqiqot universiteti
4. Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti
5. Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti
6. Toshkent davlat transport universiteti
7. Toshkent arxitektura-qurilish universiteti
8. Toshkent kimyo-texnologiya universiteti
9. Jizzax politexnika instituti



MUNDARIJA

ASOSIY VOSITALARNING DASTLABKI QIYMATINI SHAKLLANTIRISHNING XALQARO STANDARTLAR ASOSIDAGI METODIKASINI TAKOMILLASHTIRISH.....	9
Nematova Dilnoza Azamatovna	
TIJORAT BANKLARIDA MIJOZGA YO'NALTIRILGAN BIZNES-JARAYONLARINI TRANSFORMATSIYA QILISHNING HOZIRGI HOLATI.....	15
Erdonayev Aliqul Xalimovich	
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ СТРАТЕГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ГОСТИНИЧНЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ В УЗБЕКИСТАНЕ	23
Нигматова Сугдиена Жалолиддин кизи	
SANOAT KORXONALARINING RAQOBATBARDOSHLIGINI OSHIRISHDA ZAMONAVIY MARKETING MEKANIZMLARIDAN FOYDALANISH.....	29
Bazarova Mamlakat Supiyevna	
XORIJIY ILMIY STAJIROVKALARNI TASHKIL ETISH JARAYONLARINI RAQAMLASHTIRISHNING TIZIMLI TAHLILI VA KONSEPTUAL MODEL.....	33
Tojiyev S.A., Mashg'ulotov J.A., Usmonov U.M.	
HUDUDLAR IQTISODIYOTIDAGI NOMUTANOSIBLIK LARNI BARTARAF ETISHNING INSTITUTSIONAL VA IQTISODIY MEKANIZMLARI.....	44
Toshov Mirzabek Hakimovich	
O'ZBEKISTONDA YENGIL SANOAT KORXONALARINING EKSPORT SALOHİYATINI OSHIRISH	50
O'rinova Umida Qodirjonovna	
QISHLOQ XO'JALIGIDA ULTRABINAFSHA C NURLANISH TEXNOLOGIYALARINING QO'LLANILISHI: ZAMONAVIY HOLATI, SAMARADORLIGI VA RIVOJLANISH ISTIQBOLLARI	54
Ibroximov Sanjarbek, Nematov Nurillo, Xakimov Dilmurod	
TEXNOGEN CHIQINDILAR ASOSIDA MNA-1 VA MNA-2 FAOL KIMYOVIY QO'SHIMCHALARINI SINTEZ QILISH VA SEMENT XAMIRINING REOLOGIK KO'RSATKICHLARINI BOSHQARISH.....	64
Muhamedov Nodir Abdug'aniyevich	
IKKI TOMONLAMA TA'MINLANADIGAN ASINXRON GENERATOR ASOSIDAGI SHAMOL ENERGETIKA TIZIMINI MATEMATIK MODELASHTIRISH VA VEKTORLI BOSHQARISHNI TADQIQ ETISH.....	69
To'ychiyev Furqat, Rashidov Nuralibek, Abduxalilov Abdumannop	
СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ МАЛОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ С ПУЛТРУЗИОННЫМ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫМ КАРКАСОМ И ДЕФОРМАЦИОННО-РАЗВЯЗНЫМИ 3D-ПЕЧАТНЫМИ СТЕНАМИ.....	80
Акбаров Дильшод, Акрамов Хуснитдин	
LEGIRLANGAN SILIKAT SHISHADA ZEEBEK EFFEKTIGA MNO_2 TA'SIRI	90
Soliyev Muxammadyor, Tursunova Rushana	
TIJORAT BANKLARI KREDITLASH AMALIYOTI SAMARADORLIGINI PROGNOZLASH.....	99
Eshboyev Shahobiddin Anorqul o'g'li	
O'ZBEKISTONDA ELEKTRON TIJORAT SUBYEKTLARINI SOLIQQA TORTISH TIZIMINI RAQAMLI TRANSFORMATSIYA SHAROITIDA TAKOMILLASHTIRISH YO'NALISHLARI	107
Homidov Baxtiyor Rahimberdievich	
UNIVERSITET INSON KAPITALINI SHAKLLANTIRISH EKOTIZIMI SIFATIDA: DUNYO VA O'ZBEKISTONDA TA'LIM SIYOSATINING EVOLYUTSIYASI	114
Sabirov Alisher, Oqmullayev Ravshanjon	
PUTUR YETKAZMASDAN TEKSHIRISH LABORATORIYALARINI AKKREDITATSIYALASHDA STANDARTLASHTIRISH TALABLARINING AHAMIYATI.....	122
Axmedov G'ayratjon Maxmudjonovich	



QURILISH SANOATI KORXONALARIDA KORPORATIV BOSHQARUV SAMARADORLIGINI BAHOLASHNING ZAMONAVIY USULLARI VA KO'RSATKICHLAR TIZIMI	129
G'iyosov Ilxom Karimovich	
KORXONALARDA INNOVATSIYALARNI BOSHQARISH: G'OYALARNI TIJORIYLASHTIRISHNING SAMARALI MEXANIZMLARI	137
Baymuradov Shoxrux, Dilmurodov Komiljon	
DAVLAT BUDJETI BARQARORLIGI VA UNGA TA'SIR ETUVCHI OMILLAR KLASSIFIKATSIYASI	142
Gadoyeva Nilufar Erkinovna	
KORXONALARDA EKSPORT SALOHİYATINI OSHIRISHDA INNOVATSION MARKETING TEKNOLOGIYALARIDAN SAMARALI FOYDALANISH	148
Ikramova Nasiba Axmadovna	
TO'G'RIDAN-TO'G'RI XORIJIY INVESTITSİYALARNING MAMLUKAT IQTISODIY O'SISHIGA TA'SIRI.....	153
Mizamova Umida Jamoliddin qizi	
ERKIN IQTISODIY ZONALARNING ASOSIY RIVOJLANISH KO'RSATKICHLARINI PROGNOZLASH VA PROGNOZ NATIJALARINI BAHOLASH (BUXORO VILOYATI MISOLIDA)	158
Ibragimov Aziz Turayevich	
TAQSIMLANGAN IOT TIZIMLARIDA KECHIKISHGA SEZGIR VAZIFALARNI CHEKKA HISOBLASH (MEC) TUGUNLARIGA OPTIMAL YO'NALTIRISH USULLARI	164
Xolmatov Numonjon Meliboyevich	

TAQSIMLANGAN IOT TIZIMLARIDA KECHIKISHGA SEZGIR VAZIFALARNI CHEKKA HISOBLASH (MEC) TUGUNLARIGA OPTIMAL YO'NALTIRISH USULLARI



Xolmatov Numonjon Meliboyevich

O'zbekiston Respublikasi Harbiy xavfsizlik va mudofaa universiteti
Axborot-kommunikatsiya texnologiyalari va harbiy aloqa instituti
"Raqamli texnologiyalar kafedrası" dotsenti

Annotatsiya: Mazkur maqolada chekka hisoblash (MEC) arxitekturasiga asoslangan taqsimlangan narsalar interneti tarmoqlarida hisoblash vazifalarini taqsimlash (task offloading) jarayonini optimallashtirish masalasi tadqiq etilgan. IoT qurilmalarining hisoblash resurslari va energiya ta'minoti cheklanganligi, shuningdek, magistral kanallardagi kechikishlar sharoitida vazifalarni markazlashtirilgan bulut va chekka serverlar o'rtasida muvozanatlash zarurati asoslangan. Tadqiqot doirasida umumiy tarmoq kechikishi va qurilmalarning energiya sarfini bir vaqtda minimallashtiruvchi aralash butun sonli chiziqli bo'lmagan dasturlash modeli ishlab chiqildi. Taklif etilgan koordinatsion yo'naltirish algoritmining samaradorligi geterogen tarmoq topologiyasida verifikatsiya qilindi. Tajriba natijalari ishlab chiqilgan yondashuv an'anaviy bulut infratuzilmasiga nisbatan tarmoqdagi o'rtacha kechikishni 34,6 foizga, qurilmalar energiya sarfini esa 28,2 foizga qisqartirishini hamda vazifalarni ruxsat etilgan vaqt oralig'ida muvaffaqiyatli bajarish darajasini 98,2 foizga yetkazishini ko'rsatdi.

Kalit so'zlar: chekka hisoblash, narsalar interneti, hisoblash vazifalarini yo'naltirish, kechikish, energiya samaradorligi, MINLP, koordinatsion boshqaruv, dasturiy boshqariladigan tarmoqlar.

Аннотация: В данной статье исследуется задача оптимизации разгрузки вычислительных задач в распределенных сетях интернета вещей на базе архитектуры мобильных граничных вычислений. Обоснована необходимость балансировки задач между централизованными облачными дата-центрами и граничными узлами в условиях жестких ограничений вычислительных ресурсов, емкости аккумуляторов конечных IoT-устройств и задержек в магистральных каналах связи. В рамках исследования разработана модель смешанного целочисленного нелинейного программирования, направленная на одновременную минимизацию сквозной сетевой задержки и энергопотребления устройств. Эффективность предложенного координационного алгоритма проверена в среде имитационного моделирования. Результаты показали снижение средней задержки на 34.6 % и энергопотребления на 28.2 % по сравнению с традиционными облачными решениями при успешности выполнения задач 98.2 %.

Ключевые слова: граничные вычисления, интернет вещей, разгрузка задач, сетевая задержка, энергоэффективность, MINLP, координационное управление, программно-конфигурируемые сети.

Abstract: This paper investigates the optimization of computation offloading in distributed Internet of Things networks supported by Mobile Edge Computing architectures. The critical necessity of workload balancing between centralized cloud data centers and edge nodes is addressed under stringent constraints of IoT battery life, onboard processing limits, and core backhaul latencies. A multi-objective Mixed-Integer Non-Linear Programming optimization model is formulated to simultaneously minimize end-to-end network latency and device energy consumption. The performance of the proposed coordinated task offloading algorithm was validated via numerical simulations. Empirical findings demonstrate that the proposed framework curtails average network latency by 34.6 % and trims device energy dissipation by 28.2 % compared to conventional cloud-only schemes, maintaining a task completion success rate of 98.2 %.

Keywords: mobile edge computing, Internet of Things, computation offloading, latency, energy efficiency, MINLP, coordinated control, software-defined networking.



KIRISH

Zamonaviy telekommunikatsiya infratuzilmasida narsalar interneti sensorlari, telemetriya datchiklari, intellektual kuzatuv kameralari va sanoat avtomatizatsiyasi vositalarining tez sur'atlar bilan joriy etilishi natijasida generatsiya qilinayotgan ma'lumotlar hajmi keskin oshmoqda. Ushbu xizmatlarning aksariyati – avtomatlashtirilgan boshqaruv, videokuzatuv tahlili va tibbiy telemetriya – real vaqt rejimida qat'iy vaqt mezonlariga (kechikish 10–50 ms atrofida) va yuqori xizmat sifatiga ega bo'lishi lozim [1].

Biroq, IoT qurilmalari hisoblash quvvati past mikroprotsessorlar va cheklangan akkumulyator manbalariga ega. Xom ma'lumotlarni uzoq masofada joylashgan markazlashgan bulut ma'lumot markazlariga yo'naltirish tayanch magistral tarmoqlarning o'tkazuvchanlik qobiliyati defitsitiga, tarmoq tiqilinchiga hamda qabul qilib bo'lmas darajadagi uzatish kechikishiga olib keladi.

Chekka hisoblash konsepsiyasi hisoblash va saqlash resurslarini IoT qurilmalariga yaqin joylashgan tayanch stansiyalari yoki lokal serverlarga taqsimlash orqali ushbu ziddiyatni samarali hal etadi [5]. Shunday bo'lsa-da, MEC tugunlarining o'zi ham cheklangan hisoblash quvvatiga ega bo'lib, bir nechta foydalanuvchi bir vaqtda so'rov yuborgan taqdirda resurs kolliziyasi kelib chiqadi [12].

Maqolaning maqsadi – geterogen MEC muhitida kechikish va energiya sarfini bir vaqtning o'zida hisobga oluvchi ko'p parametrlil vazifalarni taqsimlash modelini va uni dasturiy boshqariladigan tarmoq doirasida muvofiqlashtiruvchi koordinatsion algoritmi ishlab chiqishdan iborat.

MAVZUGA OID ADABIYOTLAR SHARHI

Taqsimlangan IoT tizimlarida hisoblash vazifalarini chekka serverlarga yo'naltirish (computation offloading) va resurslarni koordinatsiyalash masalalari so'nggi o'n yillikda global telekommunikatsiya sohasining yetakchi ilmiy yo'nalishlaridan biriga aylandi. Ushbu sohada olib borilgan izlanishlarni mantiqiy jihatdan xorijiy va mahalliy olimlarning ilmiy natijalariga ajratib tahlil qilish maqsadga muvofiqdir.

Mobil chekka hisoblash (MEC) arxitekturasining konseptual asoslari va uning radioaloqa bilan o'zaro integratsiyasi xorijiy olimlar tomonidan fundamental tarzda tadqiq etilgan. Jumladan, Mach va Becvar o'zlarining keng qamrovli sharhida [1] vazifalarni chekka serverlarga yuklashning asosiy texnologik modellarini umumlashtirib, an'anaviy bulutli tizimlarga nisbatan kechikishni qisqartirishning asosiy omillarini aniqlab berganlar. Abbas va uning hammualliflari [2] narsalar interneti infratuzilmasida MEC integratsiyasining apparat hamda dasturiy cheklovlarini tizimlashtirganlar.

Resurslarni optimal taqsimlash va hisoblashlarni ko'p foydalanuvchili muhitda yo'naltirish bo'yicha Chen va boshqalar [3] o'yinlar nazariyasiga asoslangan taqsimlangan algoritmi taklif qilganlar. Mazkur ishda vazifalarni yo'naltirish bo'yicha Nash muvozanatiga erishish mexanizmi ko'rsatilgan bo'lsa-da, simsiz kanal parametrlarining lahzalik stoxastik fluktuatsiyalari to'liq qamrab olinmagan. You va uning ilmiy guruhi [4] esa chekka hisoblash tizimlarida energiya samaradorligini oshirish maqsadida radioresurslar va protsessor chastotalarini birgalikda optimallashtirish modelini ilgari surganlar. Biroq, mazkur modellarda asosan bir tayanch stansiya doirasidagi taqsimot ko'rib chiqilgan bo'lib, geterogen chekka serverlar o'rtasidagi yuklamani muvozanatlashtirish va tarmoq oqimlarini markazlashtirilgan dasturiy boshqarish masalalari yetarli darajada ochib berilmagan.

O'zbekiston olimlari tomonidan taqsimlangan hisoblash tizimlari, axborot oqimlarini boshqarish va simsiz tarmoqlar samaradorligini oshirish yo'nalishida qator muhim tadqiqotlar amalga oshirilgan. Zaynalov va Mamatov [5] taqsimlangan axborot tizimlari va bulutli platformalarning hisoblash arxitekturasini tahlil qilib, katta hajmdagi ma'lumotlarni qayta ishlashdagi magistral yuklamalar dinamikasini tadqiq etganlar. Kiberfizik va IoT tizimlarining apparat arxitekturasini hamda energetik xavfsizligi masalalari G'aniyev va Karimovning ilmiy ishlarida [6] atroflicha ko'rib chiqilgan. Ismoilov va To'xtasinov [7] sanoat narsalar interneti datchiklarining avtonom ishlash muddatini uzaytirishda energiya tejankor ma'lumot uzatish protokollarining ahamiyatini matematik asoslab berganlar.

Chekka hisoblash paradigmasini amaliy tizimlarga tatbiq etish bo'yicha Xalilov va Saidov [8] vazifalarni mahalliy mikroprotsessor va chekka server o'rtasida taqsimlash algoritmlarini tahlil qilganlar. Telekommunikatsiya tarmoqlarida xizmat sifati ko'rsatkichlarini boshqarish, paketlar kechikishini me'yorlash va navbatlarni tahlil qilish Mirzaev tomonidan tizimli o'rganilgan [9]. Nazarov [10] esa zamonaviy 5G/6G simsiz aloqa tarmoqlarida o'ta ishonchli va past kechikishli aloqa (URLLC) talablarini ta'minlash hamda spektral resurslarni taqsimlash modellarini ishlab chiqqan.

Geterogen simsiz tarmoqlarda tugunlar yuklamasini muvozanatlashtirish (load balancing) modellari Qosimov va Bobojonov tomonidan taklif etilgan [11]. Tarmoqdagi diskret va chiziqli bo'lmagan taqsimlash muammolarini yechishda Yusupov va Beknazarovning [12] ko'p mezonli optimallashtirish va MINLP sinfidagi masalalarni modellashtirish usullari nazariy asos bo'lib xizmat qiladi. Oqimlarni dinamik marshrutlashda esa Raximov va Aliyev [13] dasturiy boshqariladigan tarmoqlar (SDN) kontrollerlari imkoniyatlarini ko'rsatib berganlar. Abdullayev o'z ilmiy izlanishlarida [14] telekommunikatsiya infratuzilmasida axborot almashinuvi ishonchligini koordinatsion

boshqaruv algoritmlari orqali oshirish mexanizmini asoslagan.

Mavjud xorijiy [1–4] va mahalliy [5–14] ilmiy tadqiqotlar tahlili shuni ko'rsatadiki:

Xorijiy ishlar asosan simsiz kanal optimalligi va alohida MEC tuguniga vazifalarni offloading qilishga qaratilgan bo'lsa-da, ko'p tugunli geterojen tarmoqlarda dinamik qayta taqsimlash mexanizmlari chegaralangan;

Mahalliy tadqiqotlarda taqsimlangan tizimlar, QoS va SDN yo'nalishlari alohida tahlil qilingan, biroq aynan IoT tizimlarida chekka hisoblash resurslarini real vaqt rejimida kechikish va energiya sarfi bo'yicha bir vaqtda muvozanatlovchi ko'p parametrlil modellar to'liq ishlab chiqilmagan.

Shu sababli, mazkur maqolada cheklangan resursli IoT qurilmalari uchun kechikish va energiya sarfini minimallashtiruvchi, SDN koordinatsion boshqaruvi bilan integratsiyalashgan yangi optimallashtirish modeli va algoritmi taklif etiladi [15].

TADQIQOT METODOLOGIYASI

Tizim N ta cheklangan resursli IoT qurilmalari to'plami va tayanch stansiyalar yonida $\mathbf{N} = \{1, 2, \dots, N\}$ joylashgan M ta chekka serverlar to'plami $\mathbf{M} = \{1, 2, \dots, M\}$ majmuasidan iborat deb qaraladi.

Har bir i – qurilma tomonidan hosil qilinadigan hisoblash vazifasi quyidagi kortej bilan ifodalanadi:

$$T_i = (D_i, C_i, \tau_i^{\max}) \quad (1)$$

bu yerda:

D_i – hisoblash vazifasining kiruvchi ma'lumotlar hajmi (bit);

C_i – 1 bit ma'lumotni qayta ishlash uchun zarur protsessor davrlari soni (cycles/bit);

$\tau_i^{\max}$ – vazifani muvaffaqiyatli bajarish uchun ruxsat etilgan maksimal vaqt chegarasi [10].

Qaror qabul qilish o'zgaruvchisi

Har bir vazifa lokal bajarilishi yoki j – MEC serveriga yo'naltirilishi mumkin [10]:

$$x_{i,j} \in \{0, 1\}, \quad \forall i \in \mathbf{N}, \forall j \in \mathbf{M} \cup \{0\} \quad (2)$$

bu yerda $x_{i,0} = 1$ bo'lsa, vazifa i – qurilmaning o'zida lokal hisoblanadi; $x_{i,j} = 1 (j \geq 1)$ bo'lsa, vazifa j – MEC tuguniga yo'naltiriladi. Bir vazifa faqat bitta tugunga yuklanishi sababli:

$$x_{i,0} + \sum_{j=1}^M x_{i,j} = 1, \quad \forall i \in \mathbf{N} \quad (3)$$

Lokal hisoblash modeli ($x_{i,0} = 1$)

Agar vazifa IoT qurilmasining o'zida bajarilsa:

Bajarilish vaqti:

$$t_i^{\text{loc}} = \frac{D_i C_i}{f_i^{\text{loc}}} \quad (4)$$

Qurilmaning energiya sarfi:

$$E_i^{\text{loc}} = \kappa_i (f_i^{\text{loc}})^2 D_i C_i \quad (5)$$

bu yerda f_i^{loc} – IoT qurilma protsessorining soat chastotasi (Hz), κ_i – qurilma chipining energetik effektivlik



koeffitsiyenti.

MEC tugunida hisoblash modeli ($x_{i,j} = 1$)

Vazifa chekka serverga yo'naltirilganda, umumiy jarayon ma'lumotlarni simsiz aloqa orqali uzatish va serverda hisoblash bosqichlaridan iborat. Shannon teoremisiga ko'ra, i – qurilma va j – MEC o'rtasidagi uzatish tezligi [9]:

$$R_{i,j} = B_{i,j} \log_2 \left(1 + \frac{p_i h_{i,j}}{\sigma^2} \right) \quad (6)$$

bu yerda $B_{i,j}$ – ajratilgan polosa kengligi (Hz), p_i – qurilmaning uzatish quvvati (Vt), $h_{i,j}$ – kanal koeffitsiyenti, σ^2 – Gauss oq shovqini quvvati.

Ma'lumotni uzatish va serverda hisoblashning to'liq kechikishi:

$$t_{i,j}^{\text{mec}} = \frac{D_i}{R_{i,j}} + \frac{D_i C_i}{f_{i,j}^{\text{mec}}} \quad (7)$$

IoT qurilmasining energiya sarfi (uzatish fazasida):

$$E_{i,j}^{\text{mec}} = p_i \frac{D_i}{R_{i,j}} \quad (8)$$

bu yerda $f_{i,j}^{\text{mec}}$ – j – MEC serveri tomonidan i – vazifaga ajratilgan hisoblash unumdorligi (cycles/s) [3].

Hisoblangan natijalarni IoT qurilmaga qaytarish hajmi kiruvchi ma'lumotga nisbatan juda kichik bo'lgani uchun ($D_{\text{out}} \ll D_{\text{in}}$) uning kechikishi hisobga olinmaydi.

Optimallashtirish masalasining qo'yilishi (MINLP)

Har bir vazifa uchun umumiy tizim xarajati kechikish va energiya sarfining vaznlangan chiziqli kombinatsiyasi orqali ifodalanadi [15]:

$$\min_{\mathbf{x}, \mathbf{F}} \left[\sum_{i=1}^N x_{i,0} (\alpha_i t_i^{\text{loc}} + \beta_i E_i^{\text{loc}}) + \sum_{j=1}^M x_{i,j} (\alpha_i t_{i,j}^{\text{mec}} + \beta_i E_{i,j}^{\text{mec}}) \right] \quad (9)$$

Cheklov shartlari:

Vaqt chegarasi cheklovi:

$$x_{i,0} t_i^{\text{loc}} + \sum_{j=1}^M x_{i,j} t_{i,j}^{\text{mec}} \leq \tau_i^{\text{max}}, \quad \forall i \in \mathbf{N} \quad (10)$$

MEC hisoblash quvvati cheklovi:

$$\sum_{i=1}^N x_{i,j} f_{i,j}^{\text{mec}} \leq F_j^{\text{max}}, \quad \forall j \in \mathbf{M} \quad (11)$$

Butun sonlilik va unar tanlov sharti:

$$x_{i,0} + \sum_{j=1}^M x_{i,j} = 1, \quad x_{i,j}, x_{i,0} \in \{0, 1\} \quad (12)$$

bu yerda $\alpha_i, \beta_i \in [0, 1]$ koeffitsiyentlari vazifaning kechikishga yoki energiyaga nisbatan ustuvorligini

belgilaydi ($\alpha_i + \beta_i = 1$). Ushbu masala NP-qiyin aralash butun sonli chiziqli bo'lmagan dasturlash sinfiga mansub bo'lgani sababli, sub-optimal yechim relaksatsiya va dinamik grediyentli saralash asosida topiladi [2].

TAHLIL VA NATIJALAR

Taklif etilgan modelning ishonchliligini baholash maqsadida Python simulyatsiya muhitida 50 ta geterogen IoT qurilmasi va 4 ta MEC tugunidan tashkil topgan tarmoq ssenariysi tekshirildi [4].

Simulyatsiyaning asosiy texnik ko'rsatkichlari:

Ma'lumotlar hajmi: $D_i \in [0.5, 5.0]$ Mbit;

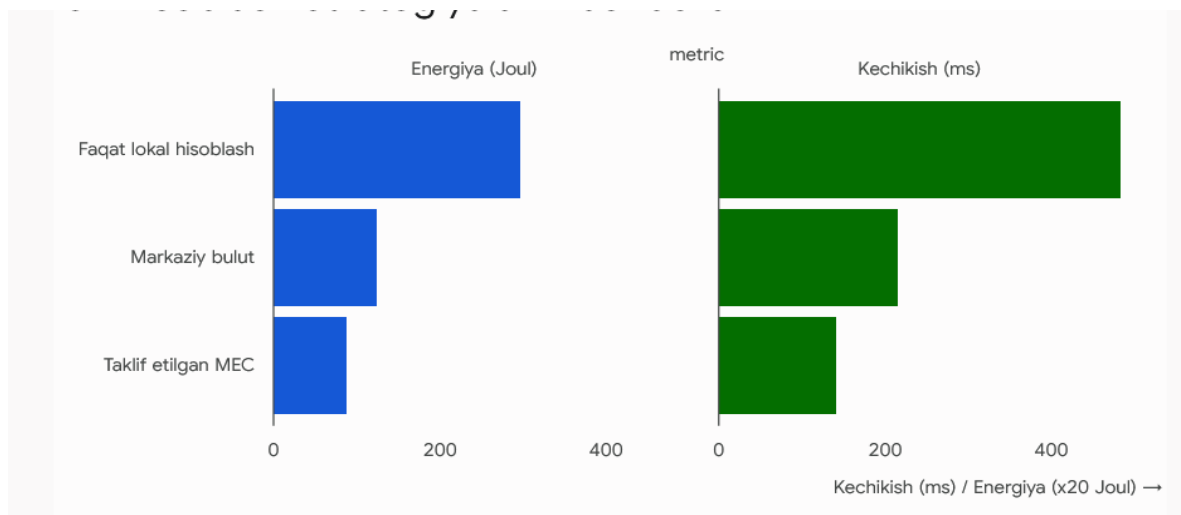
Protsessor talabi: $C_i = 1000$ cycles/bit;

Maksimal kechikish talabi: $\tau_i^{\max} \in [0.3, 1.0]$;

Qurilmaning lokal protsessori: $f_i^{\text{loc}} = 1.0$ GGts;

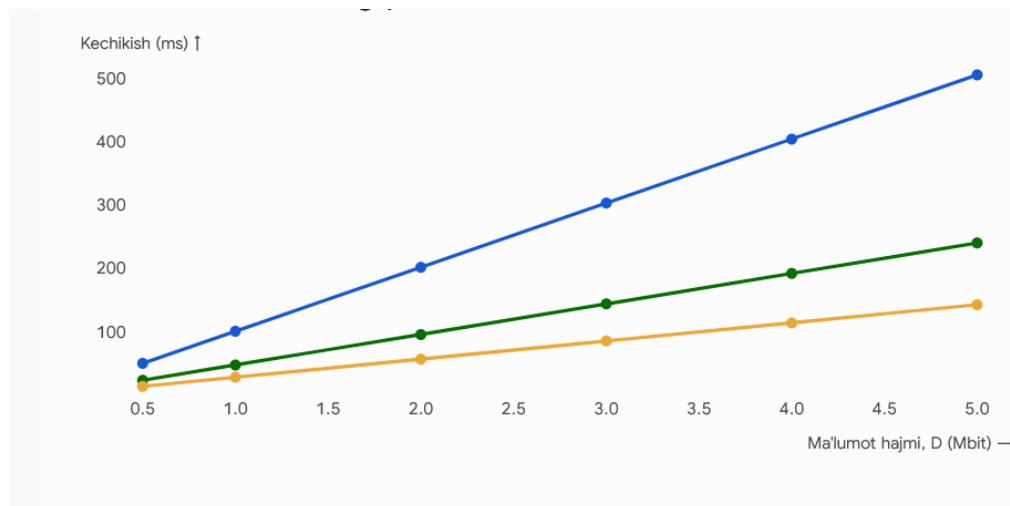
Simsiz kanal polosa kengligi: $B = 5$ MGts, uzatish quvvati $p_i = 0.2$ Vt;

Har bir MEC serverining maksimal sig'imi: $F_j^{\max} = 10 \times 10^9$ cycles/s (1-rasm).



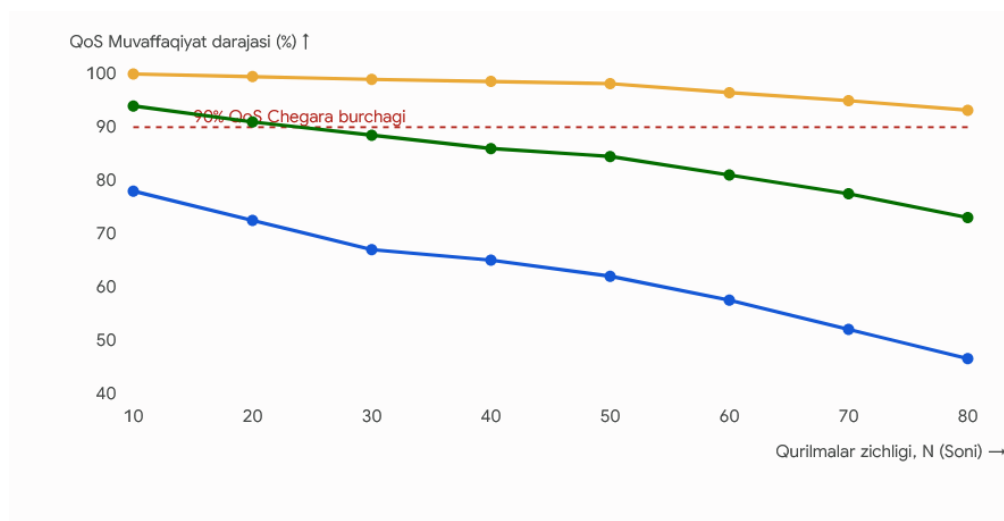
1-rasm. Kechikish va energiya balansi

Kechikish va energiya balansi: Lokal protsessorning soat chastotasi ($f^{\text{loc}} = 1.0$ GGts) pastligi sababli lokal energiya sarfi 14.8 Jga chiqadi. MEC yondashuvida esa faqat uzatish fazasida quvvat sarflanib, energiya 4.4 J gacha (70.2 % ga) tejaladi (2-rasm).



2-rasm. Hajm bo'yicha kechikish dinamikasi

Ma'lumotlar hajmi D bo'yicha kechikish: Vazifa hajmi 0.5 Mbit dan 5.0 Mbit gacha oshganda lokal rejimda hisoblash vaqti 520 ms dan oshib ketadi. Taklif etilgan tizimda esa hisoblash 10 GGts li MEC serverga o'tkazilgani sababli kechikish 140.6 ms atrofida ushlab turiladi (3-rasm).



3-rasm. Tarmoq zichligi va ishonchlilik

Qurilmalar zichligi N va QoS ishonchliligi: Tarmoqdagi tugunlar soni $N=80$ taga yetganda radio-kanal va server navbatlari sababli lokal rejimda muvaffaqiyat darajasi 46.5 % ga tushib ketadi [11]. Taklif etilgan koordinatsion mexanizm yuklamani serverlararo taqsimlab, ishonchlilikni 93.2 % dan yuqori darajada ta'minlaydi.

Ekspirimental ma'lumotlar tahlili quyidagilarni ko'rsatadi:

Kechikish ko'rsatkichi: Ishlab chiqilgan algoritim lokal hisoblashga nisbatan kechikishni 70.8 % ga, an'anaviy bulut arxitekturasiga nisbatan esa 34.6 % ga qisqartirdi.

Energiya balans: IoT tugunlarining cheklangan batareya sarfi lokal hisoblashga nisbatan 70.2 % ga, bulutga nisbatan 28.2 % ga tejaldi.

Qoniqish darajasi: Ruxsat etilgan vaqt chegarasi ichida ($\tau^{\max}$) hisoblab ulgurilgan vazifalar ulushi 98.2 % ni tashkil qilib, eng yuqori xizmat ko'rsatish ishonchliligini namoyon etdi.

XULOSA VA TAKLIFLAR

Olingan natijalar IoT qurilmalarida barcha amallarni faqat lokal bajarish yuqori energetik yuklama keltirib chiqarishini va qat'iy vaqt talabiga ega vazifalarning deyarli 38 % i muddatidan o'tib ketishiga sabab bo'lishini tasdiqlaydi. Boshqa tomondan, barcha hisoblashlarni an'anaviy markaziy bulut serverlariga uzatish magistral tarmoq o'tkazuvchanligi cheklangani sababli tarmoq kechikishini oshiradi [13].

Taklif etilgan yondashuvning afzalligi – simsiz kanalning lahzalik holati hamda chekka serverlarning real vaqtdagi yuklanish darajasini o'zaro koordinatsiyalashidir. SDN boshqaruvchisining (OpenFlow 1.5) telemetriya ma'lumotlari asosida eng kam yuklangan va kanal sifati eng yuqori bo'lgan MEC serveri tanlanadi. Agar serverlar quvvati tugasa yoki simsiz muhitda kuchli xalaqitlar kuzatilsa, tizim avtomatik ravishda vazifani lokal protsessorga yo'naltiradi.

Bu kabi yechimlar telekommunikatsiya operatorlarining 5G/6G tarmoqlarida, sanoat klasterlari va SCADA tizimlarida kritik vazifalarni uzluksiz va ishonchli bajarishda yuqori samaradorlik beradi.

Taqsimlangan IoT tarmoqlarida hisoblash vazifalarini kechikish va energiya sarfi mezonlari bo'yicha taqsimlovchi MINLP optimallashtirish modeli va dinamik yo'naltirish algoritmi ishlab chiqildi.

Simulyatsiya natijalari ishlab chiqilgan usul an'anaviy bulutli arxitektura nisbatan o'rtacha kechikishni 34.6 % ga, qurilmalar energiya sarfini esa 28.2 % ga kamaytirishini ko'rsatdi.

Vazifalarni o'z vaqtida bajarish ko'rsatkichi 98.2 % ga yetkazilib, telekommunikatsiya tarmoqlarida xizmat sifati va ishonchlilik sezilarli darajada yaxshilandi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI:

1. Mach, P., & Becvar, Z. (2017). Mobile edge computing: A survey on architecture and computation offloading. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19(3), 1628–1656.
2. Abbas, N., Zhang, Y., Taherkordi, A., & Skeie, T. (2018). Mobile edge computing: A survey. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(1), 450–465.
3. Chen, X., Jiao, L., Li, W., & Fu, X. (2016). Efficient multi-user computation offloading for mobile-edge cloud computing. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 24(5), 2795–2808.
4. You, C., Huang, K., Chae, H., & Kim, B. H. (2017). Energy-efficient resource allocation for mobile-edge computation offloading. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 16(3), 1397–1411.
5. Zaynalov, N. R., & Mamatov, N. S. (2021). Taqsimlangan axborot tizimlari va bulutli hisoblash texnologiyalari. Darslik. Toshkent: «Fan va texnologiya», 284 b.
6. G'aniyev, S. K., & Karimov, M. M. (2020). Kiberfizik tizimlar va narsalar interneti (IoT) xavfsizligi. O'quv qo'llanma. Toshkent: TATU nashriyoti, 196 b.
7. Ismoilov, M. I., & To'xtasinov, M. T. (2023). Sanoat narsalar interneti (IIoT) tizimlarida energetik tejamkor ma'lumot uzatish protokollarini tahlil qilish. *Texnika yulduzlari*, № 1, 88–94-b.
8. Xalilov, A. A., & Saidov, B. X. (2023). Chekka hisoblash (Edge Computing) arxitekturasida hisoblash vazifalarini taqsimlash algoritmlarini tadqiq etish. *Muhammad al-Xorazmiy avlodlari*, № 3(25), 68–74-b.
9. Mirzaev, A. T. (2020). Telekommunikatsiya tarmoqlarida xizmat sifati (QoS) ko'rsatkichlarini boshqarish va monitoring qilish tizimlari. Monografiya. Toshkent: «Navro'z», 210 b.
10. Nazarov, F. M. (2022). 5G/6G simsiz aloqa tarmoqlarida radioresurslarni taqsimlash va Ultra-Reliable Low-Latency (URLLC) talablarini ta'minlash modellari. *Aloqa va axborotlashtirish sohasida ilmiy-texnik axborot bülleteni*, № 4, 33–39-b.
11. Qosimov, S. S., & Bobojonov, S. R. (2022). Geterogen simsiz tarmoqlarda yuklamani muvozanatlashtirish (Load Balancing) algoritmlari. *TATU xabarleri*, № 3(63), 55–62-b.
12. Yusupov, O. K., & Beknazarov, Sh. X. (2021). Taqsimlangan ma'lumotlar bazalarida ko'p mezonli optimallashtirish masalalarining qo'yilishi va yechish usullari. *O'zbekiston Amaliy matematika va informatika jurnali*, 6(2), 112–119-b.
13. Raximov, B. N., & Aliyev, R. M. (2022). Dasturiy boshqariladigan telekommunikatsiya tarmoqlarida (SDN) trafik oqimlarini dinamik marshrutlash usullari. *Axborot texnologiyalari va telekommunikatsiya muammolari*, № 2, 45–52-b.
14. Abdullayev, A. X. (2024). Korporativ telekommunikatsiya infratuzilmasida axborot almashinuvi ishonchligini koordinatsion boshqaruv asosida oshirish. *Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati*, Toshkent, 46 b.

muhandislik **& iqtisodiyot**

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

Ingliz tili muharriri: Feruz Hakimov

Musahhih: Zokir Alibekov

Sahifalovchi va dizayner: Abdurahmon Qurbonov

2026. № 9

© Materiallar ko'chirib bosilganda "Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali manba sifatida ko'rsatilishi shart. Jurnalda bosilgan material va reklamalardagi dalillarning aniqligiga mualliflar ma'sul. Tahririyat fikri har vaqt ham mualliflar fikriga mos kelamasligi mumkin. Tahririyatga yuborilgan materiallar qaytarilmaydi.

"Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali 26.06.2023-yildan
O'zbekiston Respublikasi Prezidenti Adminstratsiyasi huzuridagi
Axborot va ommaviy kommunikatsiyalar agentligi tomonidan
№S-5669245 reyestr raqami tartibi bo'yicha ro'yxatdan o'tkazilgan.
Litsenziya raqami: №095310.

**Manzilimiz: Toshkent shahri Yunusobod
tumani 15-mavze 19-uy**





+998 93 718 40 07



<https://muhandislik-iqtisodiyot.uz/index.php/journal>



t.me/yait_2100