

**TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI**  
**HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI**  
**DSc.13/30.12.2019.T.07.02 RAQAMLI ILMIY KENGASH**  

---

**TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI**

**MATQURBONOV DILSHOD MATQURBON O'G'LI**

**MA'LUMOTLAR UZATISH TARMOQLARIDA NORAVSHAN  
TO'PLAMLAR ASOSIDA MARSHRUTLASH MODEL VA  
ALGORITMLARI**

**05.04.01 – Telekommunikatsiya va kompyuter tizimlari, telekommunikatsiya tarmoqlari va  
qurilmalari. Axborotlarni taqsimlash**

**TEXNIKA FANLARI BO'YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD) DISSERTATSIYASI  
AVTOREFERATI**

**Toshkent – 2025**

**Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)**

**Content of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)**

**Matqurbonov Dilshod Matqurbon o‘g‘li**

Ma‘lumotlar uzatish tarmoqlarida noravshan to‘plamlar asosida marshrutlash model va algoritmlari ..... 3

**Маткурбонов Дилшод Маткурбон угли**

Модели и алгоритмы маршрутизации на основе нечетких множеств в сетях передачи данных ..... 21

**Matkurbonov Dilshod Matkurbon ogli**

Models and algorithms for routing based on fuzzy sets in data communication networks..... 39

**E‘lon qilingan ishlar ro‘yxati**

Список опубликованных работ

List of published works ..... 43

**TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI**  
**HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI**  
**DSc.13/30.12.2019.T.07.02 RAQAMLI ILMIY KENGASH**  

---

**TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI**

**MATQURBONOV DILSHOD MATQURBON O'G'LI**

**MA'LUMOTLAR UZATISH TARMOQLARIDA NORAVSHAN  
TO'PLAMLAR ASOSIDA MARSHRUTLASH MODEL VA  
ALGORITMLARI**

**05.04.01 – Telekommunikatsiya va kompyuter tizimlari, telekommunikatsiya tarmoqlari va  
qurilmalari. Axborotlarni taqsimlash**

**TEXNIKA FANLARI BO'YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)**  
**DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2024.2.PhD/T4682 raqam bilan ro'yxatga olingan.**

Dissertatsiya Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasida ([www.tuit.uz](http://www.tuit.uz)) va "Ziyonet" axborot-ta'lim portalida ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)) joylashtirilgan.

<b>Ilmiy rahbar:</b>	<b>Djabbarov Shuxrat Yuldashevich</b> texnika fanlari nomzodi, dotsent
<b>Rasmiy opponentlar:</b>	<b>Parsiyev Saydiyat Solixodjayevich</b> texnika fanlari doktori (DSc), dotsent
	<b>Kamalov Yunus Karimovich</b> texnika fanlari nomzodi, dotsent
<b>Yetakchi tashkilot:</b>	<b>Tashkent davlat transport universiteti</b>

Dissertatsiya himoyasi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti huzuridagi DSc.13/30.12.2019.T.07.02 raqamli Ilmiy kengashning 2025-yil "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ soat \_\_\_\_ dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100084, Toshkent shahri, Amir Temur ko'chasi, 108-uy. Tel.: (+99871) 238-64-43; faks: (+99871) 238-65-52; e-mail: [tuit@tuit.uz](mailto:tuit@tuit.uz)).

Dissertatsiya bilan Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (\_\_\_\_ - raqam bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100084, Toshkent, Amir Temur ko'chasi, 108-uy. Tel.: (+99871) 238-65-44).

Dissertatsiya avtoreferati 2025-yil "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ da tarqatildi.  
(2025-yil "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ dagi \_\_\_\_ - raqamli reestr bayonnomasi).

**B.Sh.Maxkamov**

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash raisi, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

**M.S.Saitkamolov**

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash ilmiy kotibi, iqtisodiyot fanlari doktori, dotsent

**D.Ya.Irgasheva**

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash huzuridagi ilmiy seminar raisi, texnika fanlari doktori, professor

## KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

**Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati.** Jahonda Internetning tez suratlarda rivojlanishi va jamiyat hayotining barcha jabhalariga joriy etilishi ma'lumotlar uzatish tarmoqlarini takomillashtirishga va yangi xizmatlarning yaratilishiga asos bo'lmoqda. Cisco kompaniyasining 2018-2023-yillik internet hisobotiga ko'ra, 2018-yilga qaraganda 2023-yilda global miqyosda internetdan foydalanuvchilarning umumiy soni 3,9 milliarddan 5,3 milliardgacha va global IP-trafik oyiga 122 Ekzabaytdan 396 Ekzabaytgacha oshgan<sup>1</sup>. Bugungi kunda paketli kommutatsiya asosidagi ma'lumotlar uzatish tarmoqlarining rivojlanishi ularning arxitekturasi murakkablashishi bilan uzviy bog'liq bo'lib, bu tugunlararo bog'lanish va marshrutlash muammosining tobora ortishiga olib keldi, binobarin bu muammoni hal qilish to'g'ridan-to'g'ri tarmoqdan foydalanish samaradorligiga ta'sir qiladi. Bu yo'nalishda, jumladan paketli kommutatsiya asosidagi ma'lumotlar uzatish tarmoqlarida marshrutlash model va algoritmlar samaradorligini oshirish muhim hisoblanmoqda.

Jahonda telekommunikatsiya tarmoqlarining samaradorligini oshirish va ma'lumotlarni real vaqt rejimida yuqori sifat bilan uzatishga qaratilgan ilmiy-amaliy tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Jumladan, paketli kommutatsiyali ma'lumotlar uzatish tarmoqlarining joriy imkoniyatlari va servislarini taqdim qiluvchi sifat parametrlarni hisobga olgan holda ko'p parametrlilik marshrut metrikasi shakllantirish, hamda zamonaviy matematik apparatlar asosida marshrutizatorning funksional modelini takomillashtirish orqali marshrutlash samaradorligini oshirishga qaratilgan tadqiqotlar ustuvor yo'nalishlardan hisoblanmoqda. Ushbu yo'nalishda noravshan to'plamlar nazariyasi asosida marshrutlash model va algoritmlarini ishlab chiqish hamda tarmoqlarning ishonchlilik ko'rsatkichlarini baholash kabi mavzulardagi tadqiqotlarga alohida e'tibor qaratilmoqda.

Respublikamizda axborot - kommunikatsiya texnologiyalari sohasini yanada takomillashtirish, ma'lumotlar uzatish tarmoqlarini ishlash samaradorligini oshirish va real vaqt rejimida aloqa sifatini yaxshilash yuzasidan keng qamrovli dasturiy chora-tadbirlar amalga oshirilmoqda. 2022 – 2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasida, jumladan “Raqamli infratuzilmani yanada rivojlantirish orqali barcha aholi maskanlarini va ijtimoiy obyektlarni va magistral avtomobil yo'llarini keng polosali ulanish tarmoqlari bilan qamrab olish” vazifalari belgilangan. Mazkur vazifalar ijrosini samarali tashkil qilishda, jumladan noravshan to'plamlar nazariyasi asosida marshrutizatorning funksional xususiyatlari va marshrut ishonchliligini hisobga olgan holda ko'p parametrlilik marshrut metrikasini shakllantirish imkonini beruvchi model va algoritmlarni ishlab chiqish muhim vazifalardan biri hisoblanadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-son “2022 – 2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida”gi va 2018-yil 19-fevraldagi PF-5349-son “Axborot texnologiyalari va kommunikatsiyalari sohasini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida”

---

<sup>1</sup> <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.pdf>

gi Farmonlari, Vazirlar Mahkamasining 2021-yil 19-noyabrdagi 699-son “O‘zbekiston Respublikasi telekommunikatsiya infratuzilmasini yanada rivojlantirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi va 2020-yil 30-oktabrdagi 680-sonli “O‘zbekiston Respublikasi telekommunikatsiyalar tarmoqlarini boshqarish tizimini takomillashtirishga oid qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi Qarorlari, mazkur faoliyatga tegishli boshqa me‘yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga mazkur dissertatsiya tadqiqoti ma‘lum darajada xizmat qiladi.

**Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi.** Ushbu tadqiqot ishi respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining IV. “Axborotlashtirish va axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini rivojlantirish” yo‘nalishi doirasida bajarilgan.

**Muammoning o‘rganilganlik darajasi.** Ma‘lumotlar uzatish tarmoqlarida marshrutlash model va algoritmlarining samaradorligini oshirishda ommaviy xizmat ko‘rsatish tizim nazariyasi, noravshan to‘plamlar nazariyasi, imitatsion modellashtirish va boshqa zamonaviy matematik apparatlardan foydalangan holda ishlab chiqilgan usullarni qo‘llash bo‘yicha xorijiy olimlardan L.Zadeh, Keeping Long, Runton Zhang, W.Stallings, MDH davlatlari bo‘yicha S.I.Makarenko, D.Yu.Polukarov, A.G.Maslennikov, A.C.Makeev, N.N.Vasin va boshqa chet ellik olimlar tomonidan ilmiy izlanishlar olib borilgan.

O‘zbekistonda telekommunikatsiya tarmoqlarining ishonchlik ko‘rsatkichlarini oshirish usullari, vaqt-ehtimollik xarakteristikalarini hisoblashning matematik modellari, noravshan to‘plamlarga asoslangan texnologik jarayonlarni boshqarish va tarmoqlarni optimallashtirish masalalari bo‘yicha ko‘plab olimlar jumladan, T.F.Bekmuratov, D.T.Muhamediyeva, M.N.Aripov, R.I.Isayev, R.X.Djurayev, Yu.K.Kamalov, U.B.Amirsaidov, S.S.Parsiyev, D.A.Davronbekov, N.B.Usmanova, R.P.Abduraxmanov, Sh.Yu.Djabbarov va boshqalar tomonidan ilmiy tadqiqot ishlari olib borilmoqda.

Olib borilgan tahlil natijalari shuni ko‘rsatadiki, hozirgi kunda zamonaviy ma‘lumotlar uzatish tarmoqlarining o‘zgaruvchan sharoitiga mos marshrutlash model va algoritmlarini ishlab chiqish, ularni samaradorlik ko‘rsatkichlarini baholashning ilmiy asoslangan usullari yetarli darajada o‘rganilmagan.

**Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta‘lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog‘liqligi.** Dissertatsiya tadqiqoti Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti ilmiy tadqiqot rejasining №1506/21-F-son “Yuqori tezlikli ma‘lumotlarni uzatish tarmoqlarining ishonchligini oshirish model va usullari” (2021 - 2022 y) mavzusidagi loyihasi doirasida bajarilgan.

**Tadqiqotning maqsadi** ma‘lumotlar uzatish tarmoqlarida marshrutizatorning funksional xususiyatlari va marshrut ishonchligini hisobga olish imkonini beruvchi noravshan to‘plamlar asosida marshrutlash model va algoritmlarni ishlab chiqishdan iborat.

**Tadqiqotning vazifalari:**

ma‘lumotlar uzatish tarmoqlarida mavjud marshrutlash modellari, usullari, algoritmlari va ularning samaradorligini baholash uchun marshrut metrikalarini tahlil qilish;

marshrut ishonchlilik metrikasi asosida ma'lumotlar uzatish tarmoqlarida paketli kommutatsiya rejimlari samaradorligini baholash usulini ishlab chiqish;

noravshan to'plamlar asosida marshrutizatorning funksional modelini takomillashtirish;

noravshan ko'p parametrli marshrut metrikasini shakllantirish asosida marshrutizatorning ishlash algoritmlarini ishlab chiqish;

noravshan to'plamlar asosida marshrutlash jarayonining imitatsion modelini yaratish va samaradorligini baholash.

**Tadqiqotning obyekti** sifatida paketli kommutatsiya asosidagi ma'lumotlar uzatish tarmoqlarida marshrutlash jarayonlari olingan.

**Tadqiqotning predmetini** paketli kommutatsiya asosidagi ma'lumotlar uzatish tarmoqlarida marshrutlash model va algoritmlari tashkil etadi.

**Tadqiqotning usullari.** Tadqiqot jarayonida ehtimollar nazariyasi, boshqaruv nazariyasi, ommaviy xizmat ko'rsatish tizim nazariyasi, noravshan to'plamlar nazariyasi va imitatsion modellashtirish usullaridan foydalanilgan.

**Tadqiqotning ilmiy yangiligi** quyidagilardan iborat:

ma'lumotlar uzatish tarmoqlarida qo'llaniluvchi topologiyalar ishonchligining tayyorlik koeffitsiyentini hisobga olgan holda, paketlarni o'z vaqtida yetkazish ehtimoligi hamda yetkazishning o'rtacha vaqt mezonlari asosida paketli kommutatsiya rejimlarining samaradorligini baholash usuli ishlab chiqilgan.

paketli kommutatsiya tugunining chiqish buferining yuklanganlik koeffitsiyenti, tarmoq ishonchligi va marshrutlash protokoli tomonidan hisoblangan metrikani hisobga olgan holda, samarali marshrut metrikasini tanlash imkonini beruvchi noravshan to'plamlar asosida marshrutizatorning funksional modeli takomillashtirilgan.

ma'lumotlar uzatish tarmoqlarida marshrutizatorning interfeyslari yuklanganligini va ulardagi paketlarning navbatda kutish vaqt mezonlarini inobatga olgan holda, noravshan ko'p parametrli marshrut metrikasini shakllantirish asosida paketli kommutatsiya tugunining samaradorligini oshirish imkonini beruvchi marshrutlash algoritmlari ishlab chiqilgan.

marshrutizator funksional xususiyatlari va marshrut ishonchligini hisobga olgan holda paketlarni tizimda bo'lish vaqti va yo'qolish ehtimollik mezonlari orqali ma'lumotlar uzatish tarmoqlarining samaradorligi baholash imkonini beruvchi noravshan to'plamlarga asoslangan marshrutlash jarayonining imitatsion modeli yaratilgan.

**Tadqiqotning amaliy natijalari** quyidagilardan iborat:

marshrut ishonchlilik metrikasi asosida ma'lumotlar uzatish tarmoqlarida paketli kommutatsiya rejimlari samaradorligini baholash imkonini beruvchi dasturiy vosita ishlab chiqilgan;

noravshan to'plamlar asosida marshrutlash jarayonlaridagi xizmat axborotlarning vaqt oralig'ini dinamik o'zgartirish orqali marshrutlash samaradorligini oshirish imkonini beruvchi dasturiy vosita ishlab chiqilgan.

metrikaga asoslangan marshrutlash algoritmlarini tadqiq qilish imkonini beruvchi dasturiy vosita ishlab chiqilgan.

**Tadqiqot natijalarining ishonchliligi.** Tadqiqotda qo'llanilgan yondashuv va usullarning maqsadga muvofiqligi, muammoning to'g'ri qo'yilishi va takliflarning mutasaddi tashkilotlar tomonidan amaliyotga joriy etilganligi, umumiy qabul qilingan mezonlar asosida tadqiqot va uning natijalarini sifat va miqdoriy baholanganligi bilan asoslanadi.

**Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.** Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati paketli kommutatsiya rejimlarining samaradorligini marshrut ishonchlik metrikasi asosida baholash usuli hamda noravshan to'plamlar asosida ko'p parametrli marshrut metrikasini shakllantirish imkonini beruvchi marshrutizatorning funksional modeli va algoritmlari ishlab chiqilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati taklif etilgan model va algoritmlar asosida ishlab chiqilgan dasturiy vosita yordamida paketli kommutatsiya usulining virtual va deytagramma rejimlari samaradorligini ishonchlik mezoni orqali baholash hamda mashrutlash jarayonlarida noravshan to'plamlardan foydalangan holda ko'p parametrli kirish o'zgaruvchilarining har xil shkalasi bo'yicha samarali marshrut tanlash imkonini berishi bilan izohlanadi.

**Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi.** Ma'lumotlar uzatish tarmoqlarida noravshan to'plamlar asosida marshrutlash model va algoritmlari bo'yicha olingan natijalar asosida:

noravshan to'plamlar asosida ko'p parametrli marshrut metrikasini shakllantirish imkonini beruvchi marshrutizatorning ishlash algoritmi "O'zbektelekom" AK Xorazm filialiga joriy qilingan (Raqamli texnologiyalar vazirligining 2024-yil 21-fevraldagi 33-8/1272-son ma'lumotnomasi). Ilmiy tadqiqot natijasida marshrutizator CPU yuklamasi oshgan holatlarda paketlarning o'rtacha yo'qolish ehtimoli an'anaviy marshrutlash algoritmiga qaraganda 9-10% gacha kamayishiga erishilgan;

noravshan to'plamlar asosida marshrutizatorning funksional modeli va metrikaga asoslangan marshrutlash algoritmlarini tadqiq qilish imkonini beruvchi dasturiy vosita "UNICON.UZ" MCHJga joriy qilingan (Raqamli texnologiyalar vazirligining 2024-yil 21-fevraldagi 33-8/1272-son ma'lumotnomasi). Ilmiy tadqiqot natijasida O'z DSt 3292:2018 "Telekommunikatsiyalar tarmoqlari. IP paketlarni marshrutlash uskunasi. Umumiy texnik talablar va nazorat qilish usullari" davlat standartiga muvofiq telekommunikatsiya tarmoqlarining ishlash samaradorligini oshirish hamda sifat parametrlarini yaxshilash imkoniyati yaratilgan;

paketli kommutatsiya rejimlarining samaradorligini marshrut ishonchlik metrikasi asosida baholash imkonini beruvchi dasturiy vosita "Ist telekom" MCHJ QKga joriy qilingan (Raqamli texnologiyalar vazirligining 2024-yil 21-fevraldagi 33-8/1272-son ma'lumotnomasi). Ilmiy tadqiqot natijasida ma'lumotlar uzatish tarmoqlarining ishonchlik ko'rsatkichiga qo'yiladigan talablarni ta'minlash imkonini bergan. Shuningdek, ishlab chiqilgan algoritm yordamida tarmoqda bo'lish umumiy vaqti o'rtacha 3.5 marta kamayishiga erishilgan va kommutatsiya tugunlaridagi marshrutizator unumdorligini oshirish imkoniyati yaratilgan.

**Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi.** Tadqiqot natijalari 2 ta xalqaro va 5 ta respublika ilmiy-amaliy konferensiyalar hamda ilmiy seminarlarda muhokama



qilingan.

**Tadqiqot natijalarining e’lon qilinganligi.** Tadqiqotlar mavzusi bo’yicha jami 26 ta ilmiy ishlar, ulardan 15 ta maqolalar O‘zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi tavsiya etgan jurnallarda, shu jumladan 8 ta xorijiy, 7 ta Respublika miqyosidagi jurnallarda chop etilgan, hamda 4 ta EHM uchun yaratilgan dasturiy vositalarni qayd qilish guvohnomalari olingan.

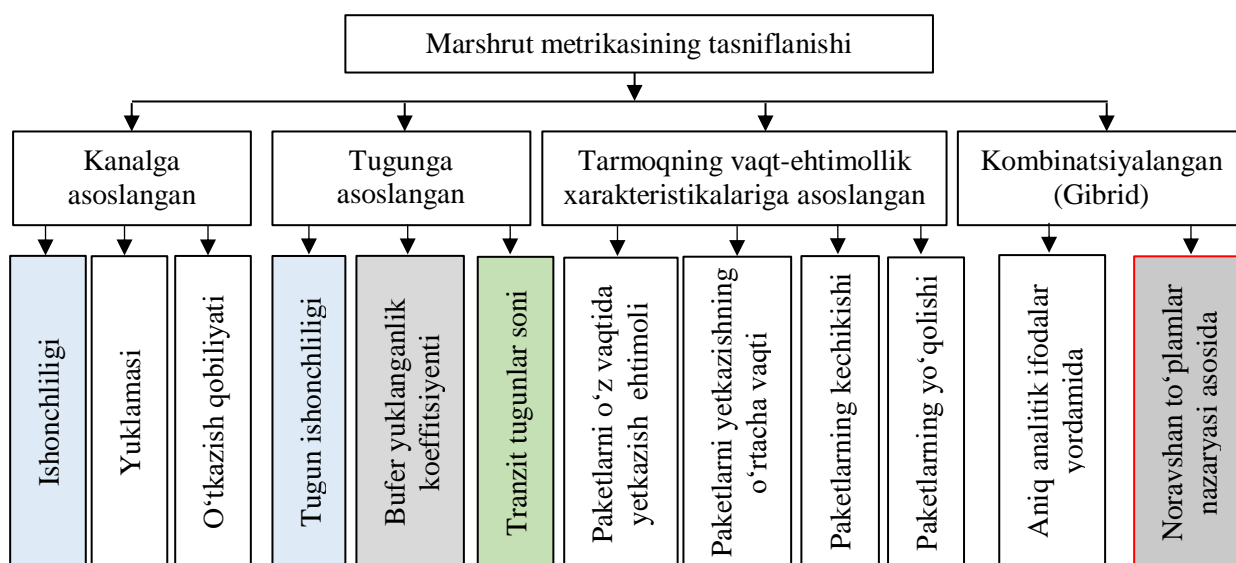
**Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi.** Dissertatsiya ishi kirish, uchta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning umumiy hajmi 115 betni tashkil etadi.

## DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

**Kirish** qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati asoslab berilgan, tadqiqotning O‘zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalari taraqqiyotining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi ko‘rsatilgan, tadqiqotning maqsad va vazifalari belgilab olingan, tadqiqot obyekti va predmeti aniqlangan, natijalarning ishonchliligi asoslangan hamda ularning nazariy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy qilish holati, nashr etilgan ishlar hamda dissertatsiyaning tuzilishi bo’yicha ma’lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning **“Zamonaviy ma’lumotlar uzatish tarmoqlarida marshrutlash masalalari”** deb nomlangan birinchi bobida ma’lumotlar uzatish tarmoqlarining virtual va deytagramma rejimlarining ishlash tamoyillari va ularda qo‘llaniluvchi marshrutlash algoritmlari, protokollari va marshrut metrikasiga ta’sir qiluvchi omillari tahlil qilingan. Shuningdek, marshrutlash jarayonlarini tadqiq qilishda matematik apparatlar: ommaviy xizmat ko‘rsatish tizimi nazariyasi, graflar nazariyasi va noravshan to‘plamlar nazariyalari bo’yicha ma’lumotlar keltirilgan, hamda masalaning qo‘yilishi bayon qilingan.

Ma’lumotlar uzatish tarmoqlarida marshrutlash algoritmlari marshrutni tanlashda ko‘plab tarmoq ko‘rsatkichlarga asoslangan holda marshrut metrikasini shakllantiradi. Tadqiqot ishida marshrutlash jarayonlarining xususiyatlarini tahlili natijalariga ko‘ra marshrut metrikasining tasniflanishi ishlab chiqilgan (1-rasm).



1-rasm. Marshrut metrikasining tasniflanishi

Dinamik marshrutlash protokollarining barchasi kommutatsiya tugunlari orasidagi kanallarni tavsiflaydigan asosiy ishchi xarakteristikalarining aniq bir to'plamiga tayanish bilan u yoki bu mezon bo'yicha samarali marshrutlashni ta'minlaydi, lekin hech biri marshrut metrikasini shakllantirishda aloqa tizimining joriy imkoniyatlari va xizmatlarini taqdim qiluvchi sifat parametrlarni inobatga olmaydi.

Shuning uchun, ma'lumotlar uzatish tarmoqlarining samaradorligini oshirish tarmoqning topologik tuzilishi va uni o'zgartirish imkoniyatlari bilan birgalikda ko'rib chiqilishi marshrutlash masalaning ko'p omilliligiga bog'liqligini keltirib chiqaradi, qanchalik ko'p parametrlar hisobga olinsa, marshrutlash algoritmi murakkablashadi. Bunday holatlarda algebraik va differensial tenglamalar tizimiga asoslangan an'anaviy matematik modellashtirishning moslashuvchanligi murakkablashgan obyekt uchun yetarli bo'lmaydi. Natijada, marshrut metrikasining tarmoq parametrlariga bog'liqligini konstruksiyalash muammoga aylanadi va yangi yondoshuvlardan foydalanishni talab qiladi. So'nggi yillarda ommaviy xizmat ko'rsatish tizimi va graflar nazariyalariga asoslangan ma'lumotlar uzatish tarmoqlarida marshrutlash jarayonlarining tahlil yondashuvlar cheklovlarini bartaraf etish uchun noravshan to'plamlar nazariyasining matematik apparati qo'llanilmoqda. Noravshan to'plamlardan foydalanish, tarmoq xususiyatlarini ifodalovchi konstant qiymatlar o'rniga tarmoqning joriy imkoniyatlarini tavsiflovchi o'zgaruvchan qiymatlar orqali ma'lumotlar uzatish tarmoqlarida real jarayonlarni yanada adekvat tavsiflovchi modellarni yaratishga imkon beradi.

Dissertatsiyaning **“Noravshan to'plamlar asosida marshrutizator modeli va ishonchlilik metrikasini baholash”** deb nomlangan ikkinchi bobida ma'lumotlar uzatish tarmoqlarida paketli kommutatsiya usulining virtual va deytagramma rejimlari samaradorligini marshrut ishonchlilik metrikasining tayyorlik koeffitsiyenti mezoni asosida baholash usuli ishlab chiqilgan, shuningdek, ommaviy xizmat ko'rsatish tizimi va noravshan to'plamlar nazariyalari asosida marshrutizator ishlashining matematik modellari yaratilgan.

Ma'lumotlar uzatish tarmoqlariga qo'yiladigan muhim talablardan biri ularning ishonchliligini ta'minlashdan iborat bo'lib, bu tarmoqni loyihalash, yaratish, ishlab chiqarish va ekspluatatsiyalash haqidagi hayotiy siklning barcha bosqichlarida amalga oshirilishi kerak. Barcha turdagi tarmoqlar uchun standartlashtirilgan ishonchlilik ko'rsatkichi sifatida tayyorlik koeffitsiyenti qo'llaniladi va u quyidagi (1) ifoda orqali aniqlanadi.

$$K_T = \frac{T_{biv}}{T_{biv} + T_{qtv}} \quad (1)$$

bu yerda:  $K_T$  – tayyorlik koeffitsiyenti;  $T_{biv}$  – buzilishgacha ishlash vaqti;  $T_{qtv}$  – qayta tiklash vaqti.

Ushbu ko'rsatkich xalqaro ITU-T tavsiyalarida, shuningdek, O'z DSt 3205:2017 davlat standartlarda ma'lumotlar uzatish tarmog'i uchun 0,99 ga teng bo'lib, bu tayyorlik koeffitsiyenti yiliga 87,6 soat, ya'ni 3,5 kundan ortiq ruxsat

etilgan to'xtash vaqtiga to'g'ri keladi va bugungi kundagi 40 Gbit/s tezlikdagi ma'lumotlar uzatish tarmoqlari uchun yo'qolgan ma'lumotlar 1560,93 Tbaytgacha hajmni nazarda tutadi. O'tgan vaqt davomida tarmoq texnologiyalari zamonaviy texnologiyalarga o'zgardi va ma'lumotlar uzatish tarmoqlarining ahamiyati sezilarli darajada oshdi. Shuning uchun ma'lumotlar uzatish tarmoqlarining ishonchiligi yuqori bo'lishini ta'minlash zarur (masalan, 0,999 yoki 0,9999).

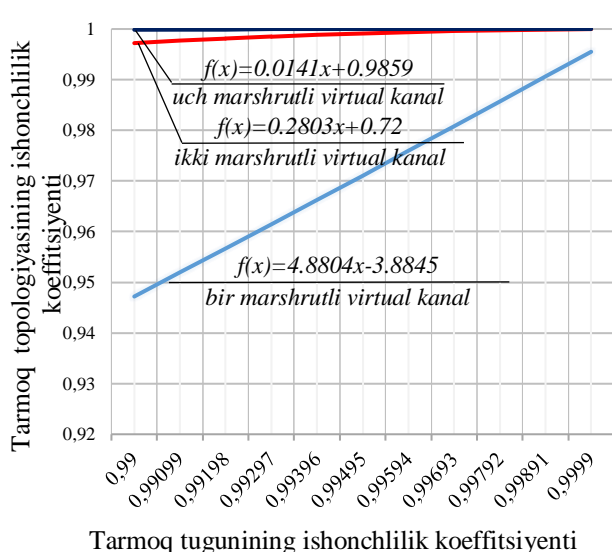
Tarmoq topologiyasiga bog'liq holda ketma-ket (2) yoki parallel (3) ulangan tarmoq elementlarning tayyorlik koeffitsiyenti quyidagi analitik ifodalar orqali aniqlanadi:

$$K_{T_{\text{ketma-ket}}} = K_{T_1} \times K_{T_2} \times \dots \times K_{T_n} \quad (2)$$

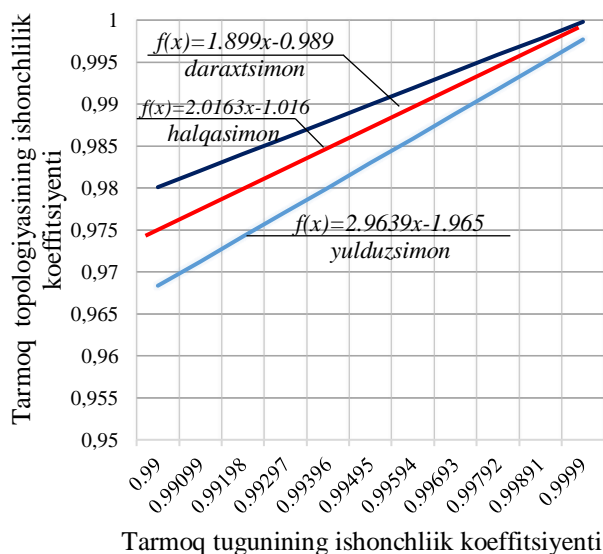
$$K_{T_{\text{parallel}}} = 1 - (1 - K_{T_1}) \times (1 - K_{T_2}) \times \dots \times (1 - K_{T_n}) \quad (3)$$

bu yerda:  $K_{T_1} \dots K_{T_n}$  – n ta ketma-ket ulangan tarmoq elementlarining tayyorlik koeffitsiyentlari.

Yuqorida keltirilgan analitik ifodalar orqali ma'lumotlar uzatish tarmoqlarining virtual va deytagramma rejimlari asosida tashkil qilingan tarmoq elementlari ishonchligining umumiy tarmoq topologiya ishonchligiga ta'siri baholangan (2-3-rasmlar).



2-rasm. Tarmoq tugunlaridagi  $K_{T_t}$  bir necha marshrutli topologiyalari uchun umumiy  $K_T$  bog'liqlik grafi

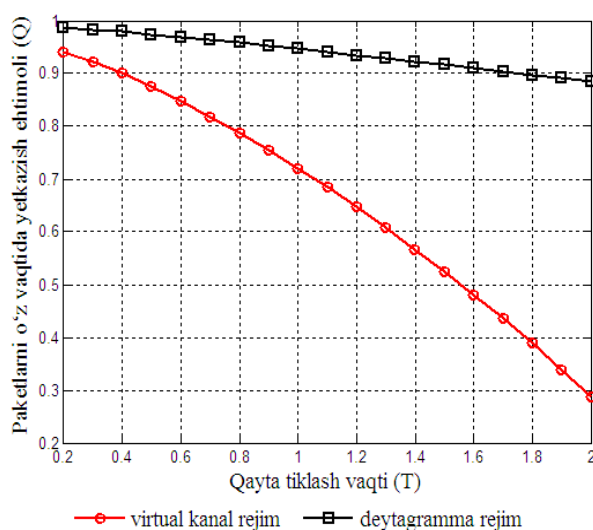


3-rasm. Tarmoq tugunlaridagi  $K_{T_t}$  ning turli topologiyalardagi umumiy  $K_T$  ga bog'liqlik grafi

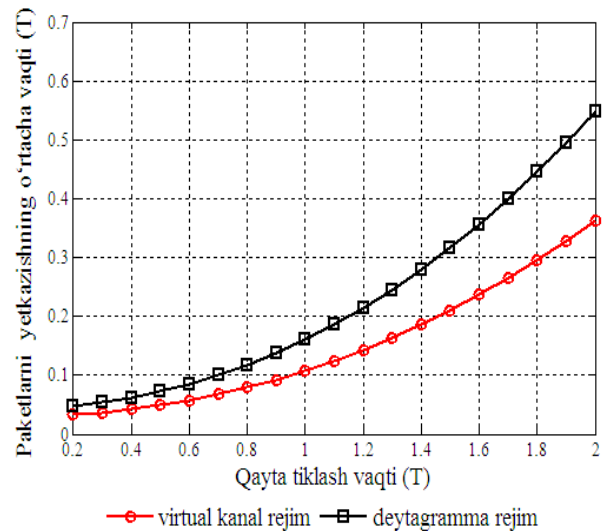
Tasvirlangan grafiqlarda tugunlar o'rtasidagi uch marshrutli virtual kanalning ishonchligi bir va ikki marshrutli zahiraviy virtual kanallarga nisbatan mos ravishda 3 va 1,09 marta oshgan va me'yoriy qiymatga javob bergan. Shuningdek, deytagramma rejimida yaratilgan daraxtsimon topologiya tugunlarning

ishonchliligi bir-biri bilan bog‘lanishlari ikki va undan ortiqdagi sababli yulduzsimon va halqasimon topologiyalarga nisbatan mos ravishda 3.4 va 1.8 marta oshgan.

Paketli kommutatsiya asosidagi ma’lumotlar uzatish tarmoqlarining deytagramma va virtual rejimlari uchun paketlarni o‘z vaqtida yetkazish ehtimoli (Q) hamda paketlarni yetkazishning o‘rtacha vaqt (T) mezonlari kommutatsiya tugunlarining qayta tiklash vaqtiga bog‘liqligi baholangan (4-5-rasmlar).



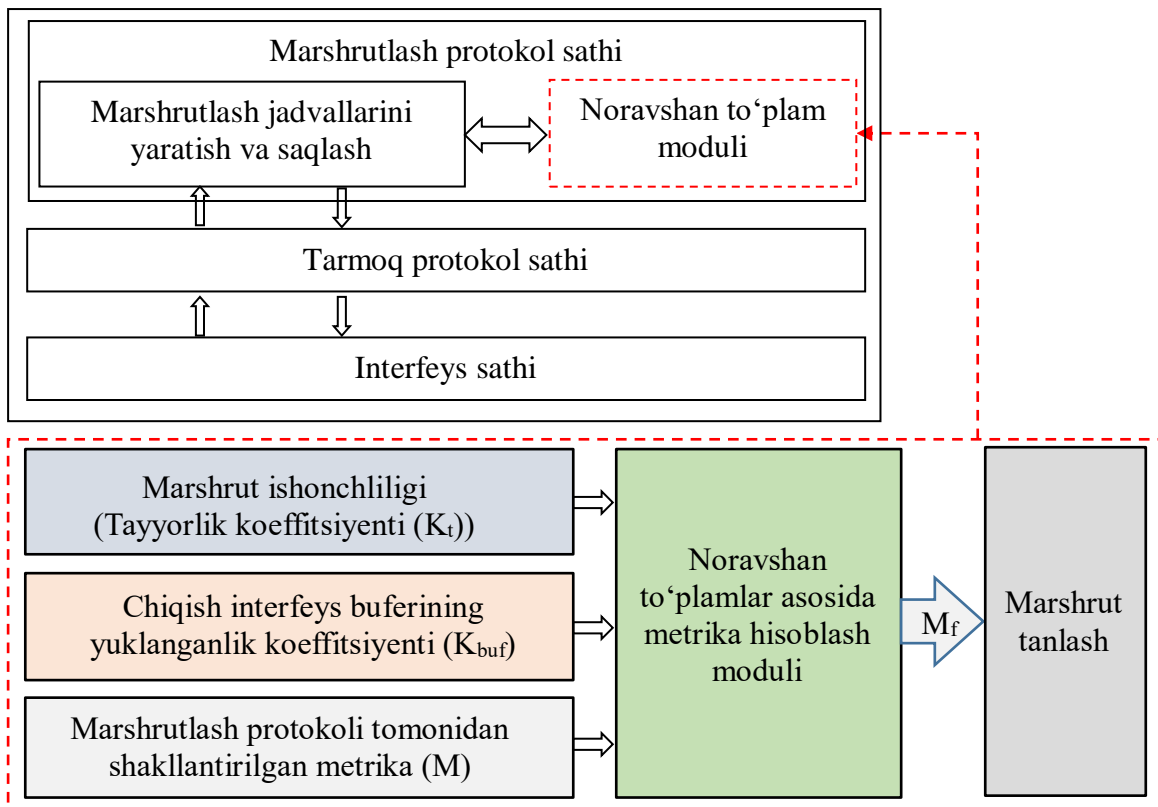
4-rasm. Paketli kommutatsiya rejimlari uchun paketlarni o‘z vaqtida yetkazish ehtimolining qayta tiklash vaqtiga bog‘liqligi



5-rasm. Paketli kommutatsiya rejimlari uchun paketlarni yetkazishning o‘rtacha vaqtini qayta tiklash vaqtiga bog‘liqligi

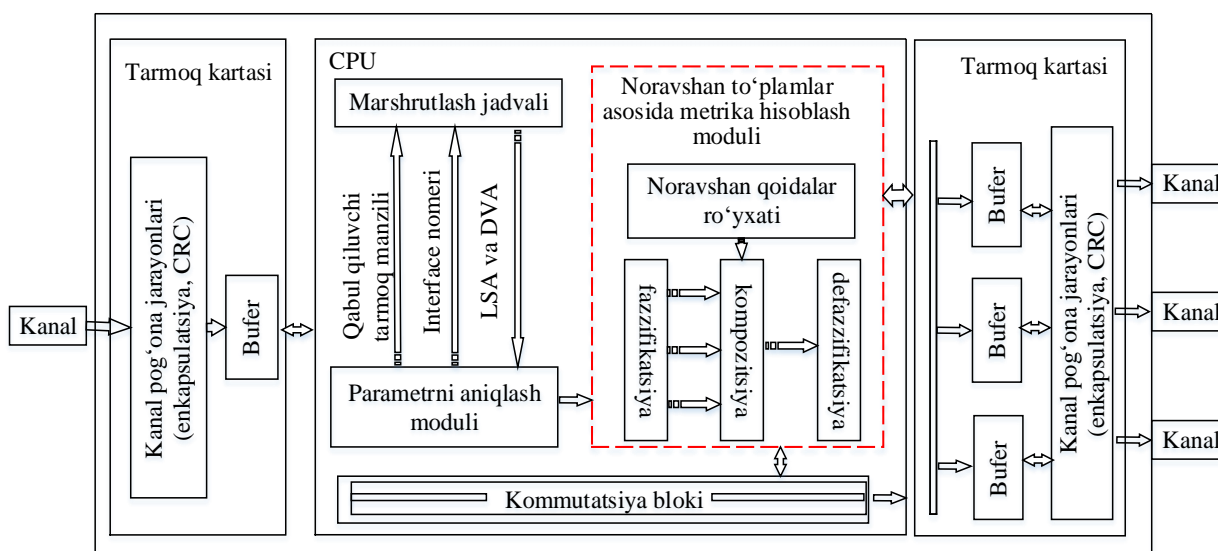
Umuman olganda, deytagramma rejimida yaratilgan matematik modellar shuni ko‘rsatadiki, har bir tugun uchta “qo‘shni” tugunlar bilan ulansa, bunday tarmoqning tayyorlik koeffitsiyenti ikki marta ortishini, agar to‘rtta bilan ulansa tarmoqda 50% tugunlar ishdan chiqsa ham, tarmoqning uzluksiz ishlashini anglatadi.

Paketli kommutatsiya rejimlarining xususiyatlarini hisobga olgan holda ma’lumotlar uzatish tarmoqlarida marshrut ishonchlilik metrikasini shakllantirish belgilangan xizmat sifatini ta’minlashning eng samarali mexanizmlaridan biri hisoblanadi. Ammo ma’lumotlar uzatish tarmoqlarida marshrutlash jarayonlarida qanchalik ko‘p tarmoq xususiyatlarini ifodalovchi parametrlar hisobga olinsa, marshrutlash algoritmi shunchalik murakkablashadi. Bunday holatlarda marshrutlash protokoli sathiga noravshan to‘plamlar asosida metrikaning hisoblash modulini qo‘llash taklif etilgan (6-rasm). Taklif etilgan funksional model quyidagicha tavsiflanadi: tarmoq protokol sathi tomonidan paket sarlavhasi qayta ishlangandan keyin, marshrutlash protokol sathida joylashgan jadvalga muvofiq metrika hisoblanadi.



6-rasm. Noravshan to'plamlar asosida marshrutizatorning funksional modeli

Noravshan to'plamlar asosidagi boshqaruv moduli marshrut metrikasini hisoblashda marshrutizator chiqish interfeys buferining yuklanganlik koeffitsiyentini, marshrut ishonchliligini va marshrutlash protokoli tomonidan hisoblangan metrikani hisobga olgan holda noravshan marshrut metrikasi shakllantiriladi va pastki sathga uzatiladi. Taklif etilayotgan funksional modeli asosida marshrutizatorning tuzilish modeli ishlab chiqilgan (7-rasm).



7-rasm. Noravshan to'plamlar asosidagi marshrutizatorning tuzilish modeli

Marshrutizatorning tuzilish modelidagi metrikani hisoblash moduli noravshan tizim xarakteriga ega va metrikani aniqlash jarayoni noravshan qarorni shakllantirishda fazzifikatsiya, kompozitsiya va defazzifikatsiya kabi asosiy bosqichlardan iborat.

*Fazzifikatsiya bosqichi* kirish va chiqish parametrlari va ularga mos keladigan noravshan o'zgaruvchilarni hamda tegishlilik funksiyasialarni aniqlashdan iborat. Kirish parametrlari sifatida uzatuvchidan qabul qiluvchi manbagacha bo'lgan tranzit tugunlar soni, marshrutizator chiqish interfeysidagi bufer yuklanganlik koeffitsiyenti va tarmoqning ishonchlilik koeffitsiyentlari olingan va har bir o'zgaruvchilar qiymati uch darajali shkala bo'yicha baholangan. Tizim o'zgaruvchilarning kirish va chiqish parametrlari uchun quyidagi tegishlilik funksiyalaridan foydalanadi:

Z-simon tegishlilik funksiyasi quyidagicha tavsiflanadi:

$$f_z(x; a; b) = \begin{cases} 1, & x \leq a; \\ \frac{b-x}{b-a}, & a < x < b; \\ 0, & x \geq b. \end{cases} \quad (4)$$

S – simon tegishlilik funksiyasi quyidagicha tavsiflanadi:

$$f_s(x; a; b) = \begin{cases} 0, & x \leq a; \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x < b; \\ 1, & x \geq b. \end{cases} \quad (5)$$

Uchburchaksimon tegishlilik funksiyasi quyidagicha tavsiflanadi:

$$f_\Delta(x; a; b) = \begin{cases} 0, & x \leq a; \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x < b; \\ \frac{c-x}{c-b}, & b < x < c; \\ 1, & x \geq c. \end{cases} \quad (6)$$

bu yerda:  $a, b, c$  – sonli parametrlar,  $a \leq b \leq c$  shartni qanoatlantiradi.

Mantiqiy operatsiya maksimal qiymatni aniqlash “yoki” operatsiyasi va minimal qiymatni aniqlash “va” operatsiyasi hisoblanadi. Minimal operatsiya (min) T-norma sifatida va maksimal operatsiya (maks) S-norma sifatida ishlatiladi:

$$\mu_A(x) *^T \mu_B(y) = \min[\mu_A(x), \mu_B(y)] \quad (7)$$

$$\mu_A(x) *^S \mu_B(y) = \max[\mu_A(x), \mu_B(y)] \quad (8)$$

Fazzifikatsiya bosqichida har bir lingvistik o'zgaruvchiga termlar to'plami va ularga tegishli noravshan o'zgaruvchilar to'plamlari beriladi.

*Kompozitsiya bosqichida kirish va chiqish noravshan o‘zgaruvchilari o‘rtasida mos keladigan shartlar (qoidalar) o‘rnatilishi talab etiladi. Agar modelning kirishlari soni  $x_i$  ni  $\omega$  bilan belgilab olinsa va ularning har biri noravshan to‘planning bir xil  $z$  soni bilan berilsa, u holda  $r$  qoidalar miqdori quyidagi formula bilan aniqlanadi:*

$$r = z^\omega \quad (9)$$

Noravshan tizimda chiquvchi o‘zgaruvchi bilan kiruvchi o‘zgaruvchining bog‘liqligini aks ettiruvchi qoidalar to‘plami ishlab chiqildi va quyida keltirilgan:

*RULE 1 : IF size\_buffer IS low AND reliability IS high THEN quality IS high;*  
*RULE 2 : IF size\_buffer IS low AND reliability IS medium THEN quality IS medium;*  
*RULE 3 : IF n\_hops IS short OR size\_buffer IS low OR reliability IS low THEN quality IS medium;*  
*RULE 4 : IF size\_buffer IS medium AND reliability IS high THEN quality IS high;*  
*RULE 5 : IF size\_buffer IS medium AND reliability IS medium THEN quality IS medium;*  
*RULE 6 : IF size\_buffer IS medium AND reliability IS low THEN quality IS low;*  
*RULE 7 : IF n\_hops IS short OR size\_buffer IS high OR reliability IS high THEN quality IS medium;*  
*RULE 8 : IF n\_hops IS short OR size\_buffer IS high OR reliability IS medium THEN quality IS low;*  
*RULE 9 : IF n\_hops IS medium OR size\_buffer IS low OR reliability IS low THEN quality IS low;*  
*RULE 10: IF n\_hops IS medium OR size\_buffer IS high OR reliability IS high THEN quality IS low;*  
*RULE 11: IF n\_hops IS long OR size\_buffer IS low OR reliability IS low THEN quality IS low;*  
*RULE 12: IF n\_hops IS long OR size\_buffer IS high OR reliability IS high THEN quality IS low*

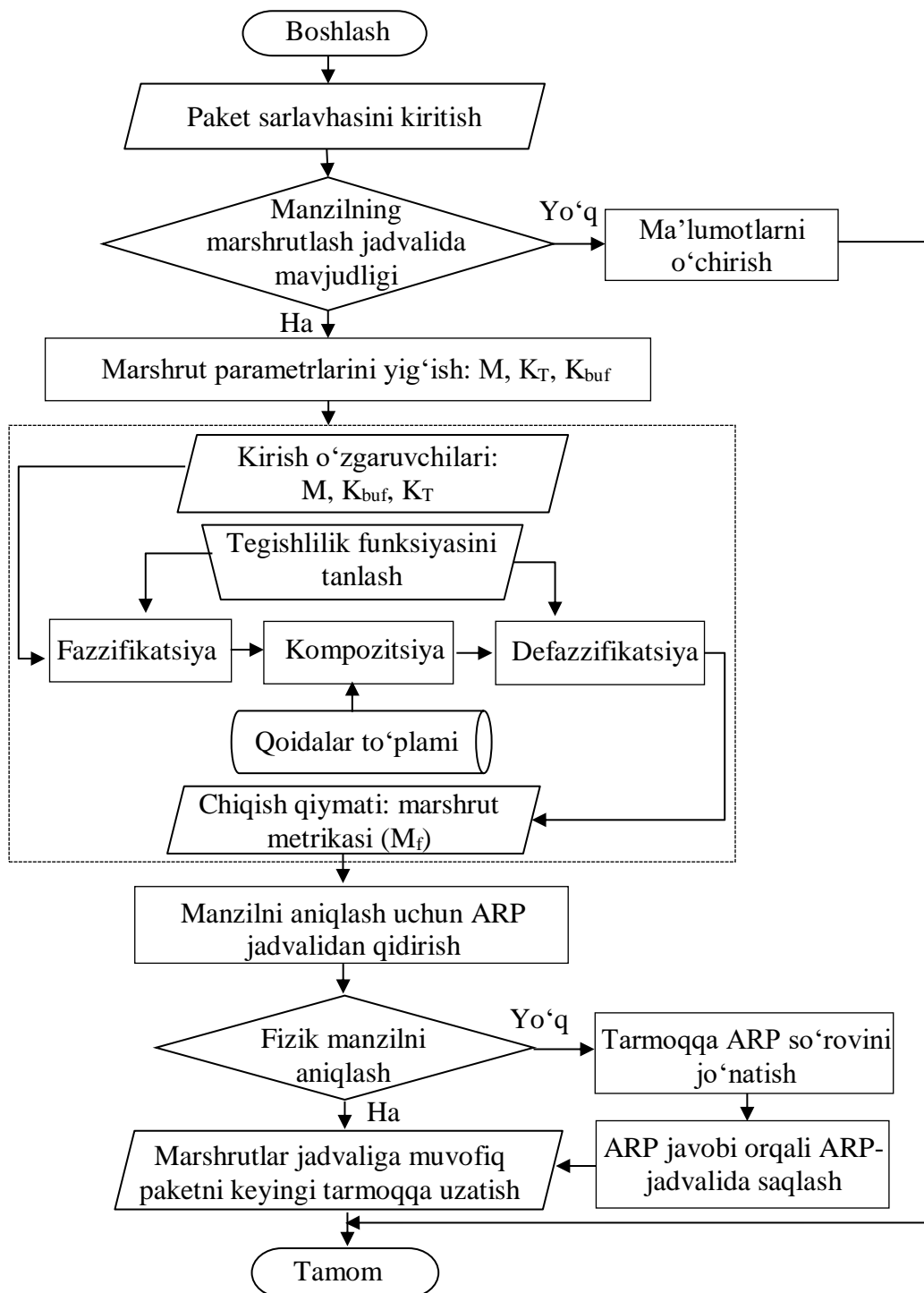
*Defazzifikatsiya bosqichida har bir noravshan  $x_i$  kirish o‘zgaruvchi uchun  $\mu_B^i$  tegishlilik funksiyalari yordamida noravshan qiymatni ravshan (aniq) qiymatga o‘tkaziladi. Chiqish o‘zgaruvchisining  $M_f$  (metrika) aniq qiymati uchun defazzifikatsiya usullaridan biri sifatida og‘irlik markazi usuli keltirilgan:*

$$M_f = \frac{\int_{\min}^{\max} x * \mu_B(x) dx}{\int_{\min}^{\max} \mu_B(x) dx} \quad (10)$$

Taklif etilayotgan modifikatsiyalangan marshrutizator tuzilish modeli mavjud standart protokollarning konfiguratsiyasini o‘zgartirmasdan ishlashga va ichki resurslaridan to‘liq foydalanish, ya’ni ichki xotira va protsessor kabi texnik vositalarining imkoniyatlarini yanada kengaytirishga olib kelgan.

Dissertatsiyaning **“Noravshan to‘plamlar asosida marshrutlash jarayonlarini modellashtirish”** deb nomlangan uchinchi bobida noravshan to‘plamlar asosida marshrut metrikasini shakllantirish va marshrutlash jarayonlarining imitatsion modeli ishlab chiqilgan hamda marshrutizator ishlash algoritmining samaradorligi baholangan.

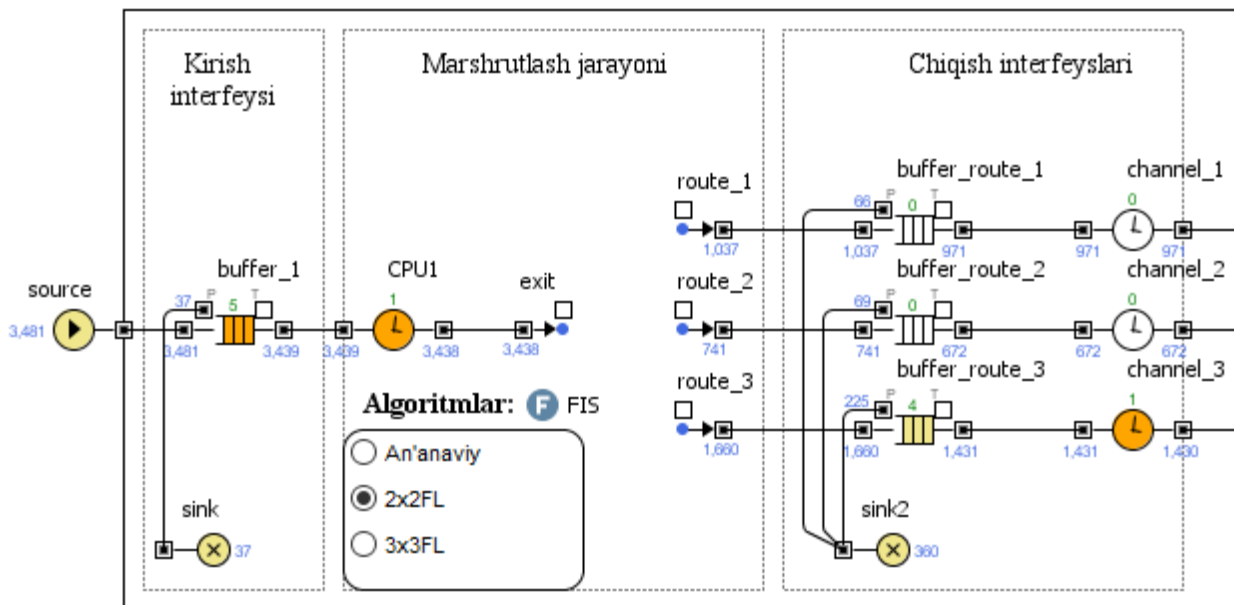
Noravshan to‘plamlar asosida ishlab chiqilgan algoritmlar marshrutlash jadvalidan olingan marshrut metrikasiga qo‘shimcha ravishda kanal va tugun xususiyatlarni hisobga olgan holda ko‘p parametrlil marshrut metrikasini tanlash imkoniyatiga ega. Tadqiqot davomida noravshan to‘plamlar asosidagi marshrutizatorlarda paketlarni qayta ishlash algoritmi ishlab chiqilgan (8-rasm).



8-rasm. Noravshan to'plamlar asosida marshrutizatorida paketlarni qayta ishlash algoritmi

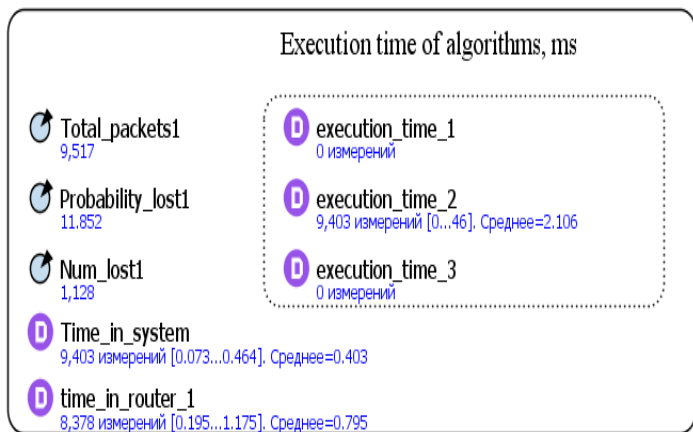
Ushbu yondashuv marshrut tanlash jarayonlarini subyektiv ekspert tomonidan baholash, marshrutlarga ustunlik darajasini berish, qurilma resurslaridan oqilona foydalanish va joriy trafikka moslashish imkonini beradi. Noravshan to'plamlar asosida marshrutizator ishlash algoritmining samaradorligini baholash uchun Java dasturlash tiliga asoslangan AnyLogic muhitida marshrutizatorning imitatsion modeli ishlab chiqilgan (9-rasm). Imitatsion modelda marshrutizatorning an'anaviy, 2x2FL (ikki parametrli va ikki shkala) va 3x3FL (uch parametrli va uch shkala) bo'yicha ishlash algoritmlari modellashtirilgan.



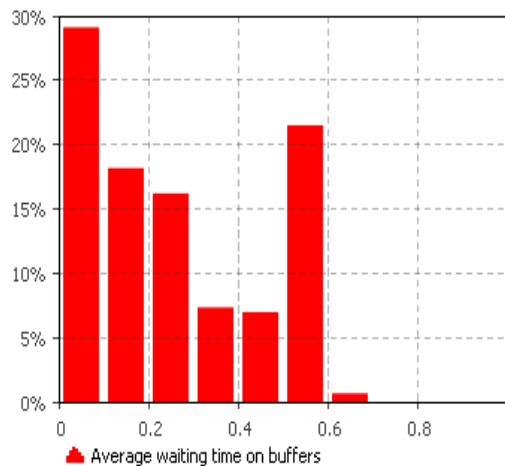


9-rasm. Anylogic muhitida marshrutizatorning imitatsion modeli

Modellashtirish jarayonida har bir algoritmning paketlarni qayta ishlashga sarflagan vaqti, tizimga kelib tushgan umumiy paketlar soni, yo‘qolgan paketlar soni, marshrutizatorda bo‘lish vaqti va buferda o‘rtacha kutish vaqtining taqsimot gistogrammasi 10-rasmda keltirilgan.



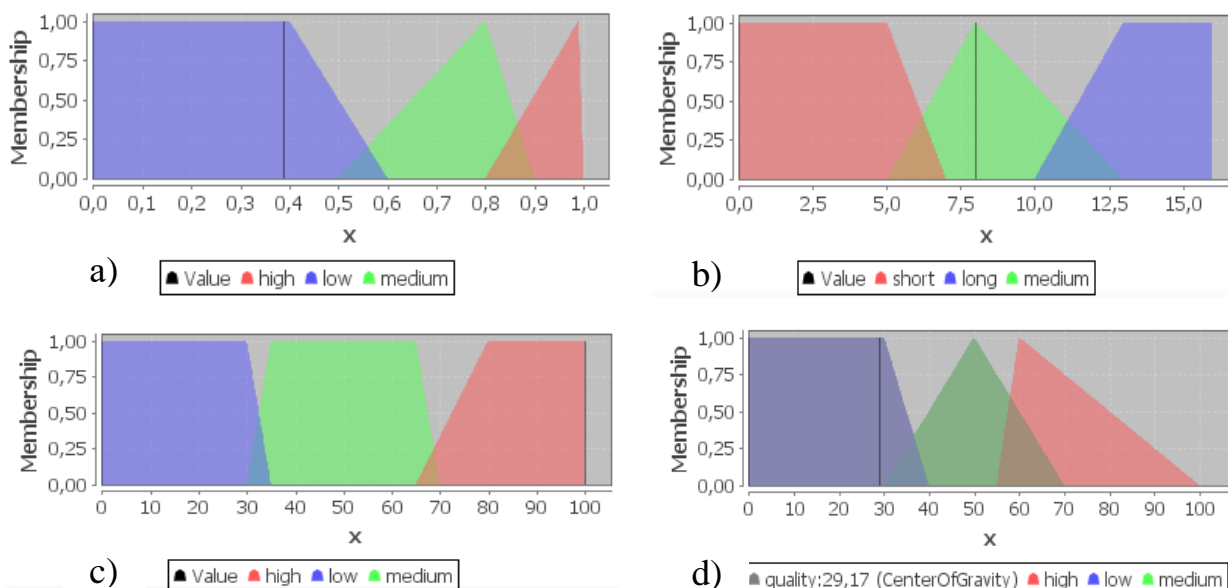
a)



b)

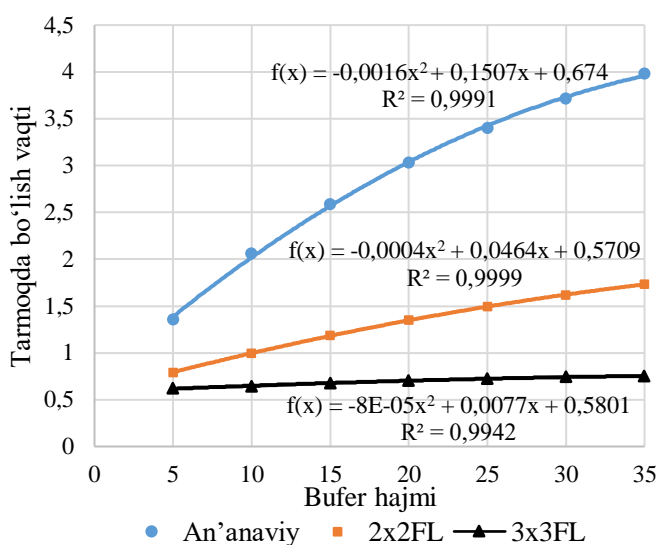
10-rasm. a) Tajriba davomida olingan oraliq natijalar b) o‘rtacha kutish vaqti taqsimot gistogrammasi

11-rasmda kirish (ishonchlilik, tranzit tugunlar soni, bufer yuklanganlik koeffitsiyenti) va chiqish (noravshan metrika) o‘zgaruvchilarning tegishlilik funksiya grafiklari keltirilgan.

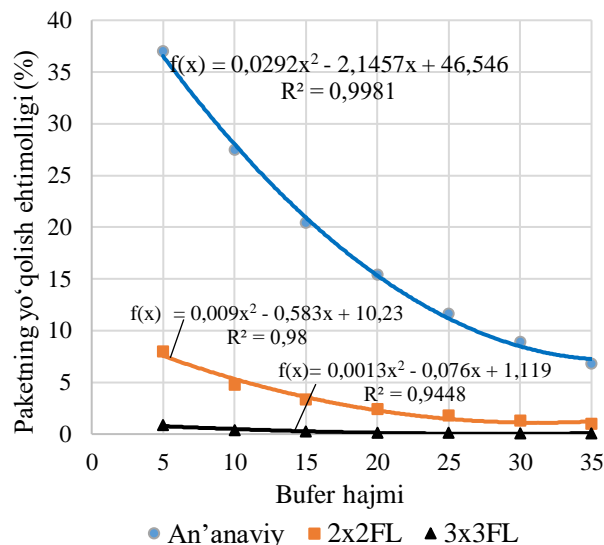


11-rasm. Kirish va chiqish o‘zgaruvchilarning tegishlilik funksiya grafiklari:  
 a) ishonchlilik b) tranzit tugunlar soni c) bufer yuklanganlik koeffitsiyenti  
 d) noravshan metrika

Tarmoqda paketlarning yo‘qolish ehtimolligi, kechikishi va tizimda bo‘lish vaqtlarini bo‘yicha eksperiment natijalar olib borilgan va 12-13-rasmlarda bufer hajmiga bog‘liqligi keltirilgan.



12-rasm. Tarmoqda bo‘lish vaqtining bufer hajmiga bog‘liqligi

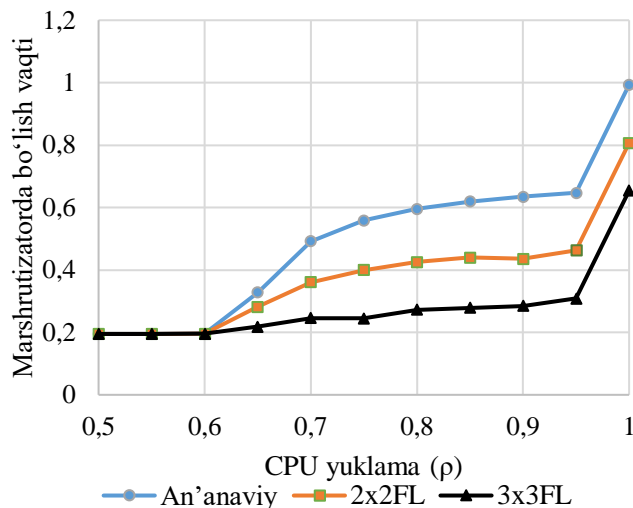


13-rasm. Tarmoqda yo‘qolgan paketlar ehtimolining bufer hajmiga bog‘liqligi

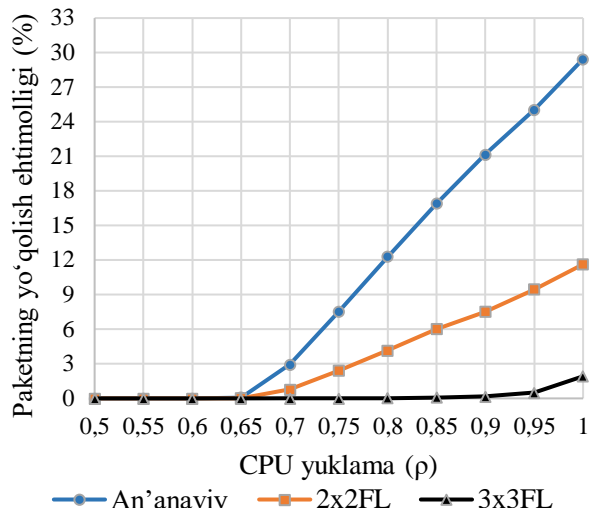
Tarmoqdagi har bir marshrutizatorida yo‘qolgan paketlar ehtimolligi va tizimda bo‘lish vaqtining kamayishi hisobiga butun tarmoqning samaradorligi oshadi. Umumiy tarmoqda bo‘lish vaqti *3x3FL* algoritmi *an'anaviy* va *2x2FL* algoritmlarga nisbatan mos ravishda o‘rtacha 4.13 va 1.88 martagacha va tarmoqda

yo‘qolgan paketlar ehtimolligi o‘rtacha 17.98% va 3% gacha kamayganligi kuzatildi.

Marshrutizatorlarda bo‘lish vaqti va yo‘qolgan paketlar ehtimolligining CPU yuklamasiga bog‘liqliklari tadqiq qilingan va 14-15-rasmlarda grafik ko‘rinishida tasvirlangan.



14- rasm. Marshrutizatorlarda bo‘lish vaqtining CPU yuklamasiga bog‘liqligi



15- rasm. Marshrutizatorlarda yo‘qolgan paketlar ehtimolligining CPU yuklamasiga bog‘liqligi

Olingan natijalarni tahlil qilish shuni ko‘rsatdiki, marshrutizator yuklamasi past ( $\rho < 0.6$ ) bo‘lganda, taklif qilinayotgan marshrutizatorning ishlash algoritmi mavjud algoritmlar bilan bir xil natija beradi. Yuklama oshgan holatlarda ( $\rho \geq 0.6$ ) taklif qilinayotgan algoritim qo‘llanilganda tizimda bo‘lish vaqti va paketning yo‘qolish ehtimolligini kamaytiradi.

Marshrutizatorlarda CPU yuklamasi yuqori holatlarda taklif etilayotgan algoritmidan foydalanganda yo‘qolgan paketlar ehtimolligi an’anaviy algoritmiga qaraganda o‘rtacha 10.24% ga, mavjud noravshan to‘plamlar asosidagi algoritmiga qaraganda esa o‘rtacha 3.57% larga qisqargan. Natijada ma’lumotlarni uzatishdagi kechikishlar va paketning yo‘qolish ehtimolligi sezilarli darajada qisqarishiga erishilgan hamda tarmoqdagi paketlarni yanada samarali marshrutlash imkoni yaratilgan.

## XULOSA

“Ma’lumotlar uzatish tarmoqlarida noravshan to‘plamlar asosida marshrutlash model va algoritmlari” mavzusidagi falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlar natijasida quyidagi xulosalar taqdim etiladi:

1. Paketli kommutatsiya asosidagi ma’lumotlar uzatish tarmoqlarida marshrutlash modeli, protokollari, algoritmlari va marshrut metrikalarining xususiyatlari tahlil qilingan. Tahlil natijalariga ko‘ra marshrut metrikasining tasniflanishi ishlab chiqilgan.

2. Ma’lumotlar uzatish tarmoqlarida paketli kommutatsiya rejimlarining

samaradorligini marshrut ishonchlilik metrikasining tayyorlik koeffitsiyenti mezoni asosida baholash usuli ishlab chiqilgan. Natijada tarmoqdagi turli xil topologiyalar, kommutatsiya tugunlari va ular o'rtasidagi kanallarning zaxiralanganligini hisobga olgan holda tarmoq ishonchliligini baholash imkonini beruvchi dasturiy vosita ishlab chiqilgan.

3. Ma'lumotlar uzatish tarmoqlarida marshrutlash jarayonlarining tadqiq qilish bilan bog'liq masalalarini yechishda ommaviy xizmat ko'rsatish tizimi nazariyasi va graflar nazariyasidan foydalanishning afzalliklari va bir qator cheklovlar tahlil qilingan. An'anaviy yondashuvlarining cheklovlarini bartaraf etish maqsadida noravshan to'plamlar nazariyasining matematik apparatini qo'llash orqali tarmoq xususiyatlarini ifodalovchi o'zgarmas qiymatlar o'rniga tarmoqning joriy imkoniyatlarini tavsiflovchi o'zgaruvchan qiymatlarni hisob olgan holda real jarayonlarni yanada adekvat tavsiflovchi modellarni yaratish zarurligi asoslangan.

4. Marshrutizatorning funksional xususiyatlari va marshrut ishonchliligini hisobga olgan holda ko'p parametrlil marshrut metrikasini shakllantirish imkonini beruvchi noravshan to'plamlar asosida marshrutizatorning funksional modeli ishlab chiqilgan. Natijada tarmoq foydalanuvchilarining talablarini inobatga olgan holda mavjud marshrutlash protokollarning konfiguratsiyasini o'zgartirmasdan samarali marshrut tanlash va marshrutizator ichki resurslaridan to'liq foydalanish imkoniyatlari yaratilgan.

5. Noravshan to'plamlar asosida ko'p parametrlil kirish o'zgaruvchilarining har xil shkalasi bo'yicha marshrut metrikasini shakllantirish orqali marshrutizatorning ishlash algoritmi ishlab chiqilgan. Natijada a'nnaviy marshrutlash algoritmlariga nisbatan umumiy tarmoqda bo'lish vaqtini o'rtacha 4.13 marta va tarmoqda yo'qolgan paketlar ehtimolligini o'rtacha 15-18 % gacha kamaytirishga erishilgan.

6. Noravshan to'plamlar asosida marshrutizatorning ishlash algoritmining samaradorligini baholash uchun marshrutlash jarayonining AnyLogic muhitida imitatsion modeli ishlab chiqilgan. Imitatsion model natijalariga ko'ra, marshrutizator CPU yuklamasi past ( $\rho < 0.6$ ) bo'lganda a'nnaviy algoritmlar bilan bir xil natija bergan. Agar marshrutizator yuqum oshgan holatlarda ( $\rho \geq 0.6$ ) paketlarning o'rtacha yo'qolish ehtimolligi a'nnaviy marshrutlash algoritmiga qaraganda 9-10% gacha, hamda paketlarning marshrutizator yuqum bo'lish vaqti 3,85 marta kamayishiga erishilgan.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.13/30.12.2019.Т.07.02 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

---

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ**

**МАТКУРБОНОВ ДИЛШОД МАТКУРБОН УГЛИ**

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ МАРШРУТИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ  
НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ В СЕТЯХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ**

**05.04.01 – Телекоммуникационные и компьютерные системы, сети и устройства  
телекоммуникаций. Распределение информации**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)  
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент-2025

**Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за № В2024.2.PhD/T4682.**

Диссертация выполнена в Ташкентском университете информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский и английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного Совета ([www.tuit.uz](http://www.tuit.uz)) и на информационно-образовательном портале «ZiyoNet» ([www.ziyo.net](http://www.ziyo.net)).

**Научный руководитель:**

**Жаббаров Шухрат Юлдашевич**  
кандидат технических наук, доцент

**Официальные оппоненты:**

**Парсиев Сайдирахат Солиходжаевич**  
доктор технических наук, доцент

**Камалов Юнус Каримович**  
кандидат технических наук

**Ведущая организация:**

**Ташкентский государственный транспортный университет**

Защита диссертации состоится «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 г. в \_\_\_ часов на заседании Научного совета DSc.13/30.12.2019.T.07.02 при Ташкентском университете информационных технологий (Адрес: 100084, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (+99871) 238-64-43; факс: (+99871) 238-65-52; e-mail: [tuit@tuit.uz](mailto:tuit@tuit.uz)).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий (регистрационный номер №\_\_\_). (Адрес: 100084, г. Ташкент, ул. Амир Темура, 108. Тел.: (+99871) 238-65-44).

Автореферат диссертации разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 года.  
(реестр протокола рассылки №\_\_\_ от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 года.)

**Б.Ш.Махкамов**

Председатель научного совета по присуждению ученых степеней, доктор экономических наук, профессор

**М.С.Саиткамоллов**

Ученый секретарь научного совета по присуждению ученых степеней, доктор экономических наук, доцент

**Д.Я.Иргашева**

Председатель научного семинара при научном совете по присуждению учёных степеней, доктор технических наук, профессор

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире быстрое развитие Интернет и его внедрение во все сферы жизни общества, является основой для совершенствования сетей передачи данных и создания новых услуг. Согласно ежегодному интернет-отчету Cisco за 2018–2023 годы, общее число пользователей Интернета во всем мире в 2023 году увеличилось с 3,9 миллиарда до 5,3 миллиарда, а глобальный IP-трафик увеличился со 122 эксабайт до 396 эксабайт в месяц. Сегодня развитие сетей передачи данных на основе коммутации пакетов неразрывно связано со сложностью их архитектуры, что привело к увеличению проблемы маршрутизации и межузлового соединения, поскольку решение этой проблемы напрямую влияет на эффективность использования сети. В этом направлении считается важным повышение эффективности модели и алгоритмов маршрутизации, в том числе в сетях передачи данных на основе коммутации пакетов.

В мире проводятся научно-практические исследования, направленные на повышение эффективности телекоммуникационных сетей и передачу данных в режиме реального времени с высоким качеством. В частности, исследования направлены на повышение эффективности маршрутизации за счет совершенствования функциональной модели маршрутизатора на основе современных математических аппаратов с учетом параметров качества, обеспечивающих текущие возможности и услуги сетей передачи данных с коммутацией пакетов, а также формирование многопараметрических метрик маршрута считаются приоритетными направлениями. В этом направлении особое внимание уделяется исследованиям по таким темам, как разработка моделей и алгоритмов маршрутизации на основе теории нечетких множеств и оценка показателей надежности сетей.

В процессе становления Нового Узбекистана цифровизация экономики определена как один из приоритетов стратегического развития нашей страны в рамках стратегии «Цифровой Узбекистан 2030», выводящей сферу информационно-коммуникационных технологий на качественно новый уровень, контроль внедрения информационных технологий и коммуникаций, реализуются комплексные программные мероприятия по совершенствованию системы защиты и укреплению организационной и программно-технологической основы в соответствии с современными требованиями.

Реализация этих задач, в том числе разработка модели и алгоритмов, позволяющих формировать многопараметрические метрики маршрута с учетом функциональных характеристик маршрутизатора и надежности маршрута на основе теории нечетких множеств являются актуальными и важными.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит реализации задач, определенных в Указе Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № УП-60 «О стратегии развития нового Узбекистана

на 2022 - 2026 годы» и Указе № УП-5349 от 19 февраля 2018 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию сферы информационных технологий и коммуникаций», Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан от 19 ноября 2021 года № 699 «О мерах по дальнейшему развитию телекоммуникационной инфраструктуры Республики Узбекистан» и 30 октября 2020 г № 680 «О дополнительных мерах по совершенствованию системы управления сетями телекоммуникаций Республики Узбекистан» и в других нормативных правовых документах, связанных с данной деятельностью.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики.** Данное исследование выполнено в рамках приоритетного направления развития науки и технологии: IV. “Информатизация и развитие инфокоммуникационных технологий”.

**Степень изученности проблемы.** Применение методов, разработанных с использованием теории систем массового обслуживания, теории нечетких множеств, имитационного моделирования и других современных математических аппаратов, для повышения эффективности моделей и алгоритмов маршрутизации в сетях передачи данных проводились в научных исследованиях зарубежных учёных L.Zadeh, Keeping Long, Runton Zhang, W.Stallings и в странах СНГ С.И.Макаренко, Д.Ю.Полукаров, А.Г.Масленников, А.С.Макеев, Н.Н.Васин и других.

В Узбекистане научно-исследовательские работы по методам повышения показателей надежности телекоммуникационных сетей, математическим моделям расчета вероятностно-временных характеристик, управлению технологическими процессами на основе нечетких множеств и оптимизации сетей проведены многими учеными, в том числе Т.Ф.Бекмуратов, Д.Т.Мухамедиева, М.Н.Арипов, Р.И.Исаев, Р.Х.Джураев, Ю.К.Камалов, У.Б.Амирсаидов, С.С.Парсиев, Д.А.Давронбеков, Н.Б.Усманова, Р.П.Абдурахманов, Ш.Ю.Джаббаров и другие.

Результаты проведенного анализа показывают, что в настоящее время научные исследования по разработке модели и алгоритмов маршрутизации, в изменяющихся условиях современных сетей передачи данных, а также научно обоснованные методы оценки показателей их работоспособности, недостаточно изучены

**Взаимосвязь темы диссертации с научными исследованиями организаций высшего образования, где выполнена диссертационная работа.** Данная диссертационная работа выполнена в рамках научно-исследовательской работы №1506/21Ф «Модели и методы повышения надежности высокоскоростных сетей передачи данных» (2021-2022), выполненной в Ташкентском университете информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий.

**Целью исследования** является разработка моделей и алгоритмов маршрутизации на основе нечетких множеств, позволяющие учитывать функциональные особенности маршрутизатора и надежность маршрута в



сетях передачи данных.

**Задачи исследования:**

анализ метрик маршрута для оценки эффективности существующих моделей, методов и алгоритмов маршрутизации в сетях передачи данных;

разработка метода оценки эффективности режимов коммутации пакетов в сетях передачи данных на основе метрики надежности маршрута;;

усовершенствование функциональной модели маршрутизатора на основе нечетких множеств;

разработка алгоритмов работы маршрутизаторов на основе формирования нечеткой многопараметрической метрики маршрута;

создание имитационной модели процесса маршрутизации на основе нечетких множеств и оценка ее эффективности.

**Объектом исследования** являются процессы маршрутизации в сетях передачи данных с коммутацией пакетов.

**Предметом исследования** являются модели и алгоритмы маршрутизации в сетях передачи данных с коммутацией пакетов.

**Методы исследования.** В ходе исследования были использованы теория вероятностей, теория управления, теория массового обслуживания, теория нечетких множеств и методы имитационного моделирования.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

разработан метод оценки эффективности режимов коммутации пакетов на основе критериев вероятности своевременной доставки пакетов и среднего времени доставки с учетом коэффициента готовности надежности топологий, используемых в сетях передачи данных;

усовершенствована функциональная модель маршрутизатора на основе нечетких множеств, что позволяет выбрать эффективную метрику маршрута с учетом коэффициента загруженности выходного буфера узла коммутации пакетов, надежности сети и метрики рассчитанной протоколом маршрутизации;

разработаны алгоритмы маршрутизации, позволяющие повысить эффективность узлов коммутации пакетов на основе формирования нечеткой многопараметрической метрики маршрута с учетом критериев загруженности буфера интерфейса маршрутизатора и времени ожидания пакетов в очереди в сетях передачи данных;

создана имитационная модель процесса маршрутизации на основе нечетких множеств, позволяющая оценить эффективность сетей передачи данных по критерию времени пребывания пакетов и вероятности их потери в системе с учетом функциональных особенностей маршрутизатора и надежности маршрута.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработано программное средство позволяющее оценить эффективность режимов коммутации пакетов в сетях передачи данных на основе метрики надежности маршрута;

разработано программное средство позволяющее повысить эффективность маршрутизации за счет динамического изменения временного

интервала служебной информации в процессах маршрутизации на основе нечетких множеств;

Разработано программное средство для исследования алгоритмов маршрутизации на основе метрик

**Достоверность результатов исследований.** Соответствие подхода и методов, использованных в исследовании, правильная постановка проблемы и реализация предложений официальными организациями основываются на качественной и количественной оценке исследования и его результатов на основе общепринятых критериев.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость результатов исследования заключается в оценке эффективности режимов коммутации пакетов на основе метрики надежности маршрута и разработкой функциональной модели и алгоритма работы маршрутизатора, позволяющего формировать многопараметрическую метрику маршрута на основе метрики надежности маршрута на основе нечетких множеств.

Практическая значимость результатов исследования заключается в оценке эффективности виртуального и дейтаграммного режимов метода коммутации пакетов с использованием программного средства, разработанного на основе предложенной модели и алгоритмов, по критерию надежности, а также в процессах маршрутизации с использованием нечетких множеств на разных масштабах многопараметрических входных переменных, которое позволяет выбрать эффективный маршрут.

**Внедрение результатов исследований.** На основе научных результатов, полученных по модели и алгоритмам маршрутизации на основе нечетких множеств в сетях передачи данных:

алгоритм работы маршрутизатора, позволяющий формировать многопараметрические метрики маршрутов на основе нечетких множеств внедрен в Хорезмском филиале АО «Узбектелеком» (Справка Министерства цифровых технологий от 21 февраля 2024 года № 33-8/1272). В результате научных исследований в случаях повышенной загрузки процессора маршрутизатора средняя вероятность потери пакетов снижается на 9-10% по сравнению с традиционным алгоритмом маршрутизации;

функциональная модель маршрутизатора на основе нечетких множеств и программное средство позволяющее исследовать алгоритмы маршрутизации на основе метрик внедрен в ООО «UNICON.UZ» (Справка Министерства цифровых технологий от 21 февраля 2024 года № 33-8/1272). По результатам научных исследований Уз ДСт 3292:2018 «Сети телекоммуникаций. Оборудование маршрутизации IP-пакетов. В соответствии с государственным стандартом «Общие технические требования и методы контроля» имеется возможность повышения производительности сетей связи и улучшения параметров качества;

программное средство позволяющее оценивать эффективность режимов коммутации пакетов в сетях передачи данных на основе метрики надежности маршрута внедрено в СП ООО «East Telecom» (Справка

Министерства цифровых технологий от 21 февраля 2024 года № 33-8/1272). Результаты научного исследования позволят обеспечивать удовлетворять требования к показателям надежности сетей передачи данных. Также разработанный алгоритм сократил время нахождения пакетов в сети общего пользования в среднем в 3,5 раза, а также удалось повысить производительность маршрутизатора в узлах коммутации.

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследований апробированы и обсуждены на 2 международных, 5 Республиканских научно-практических конференциях и на научных семинарах.

**Опубликованность результатов исследования.** Всего по теме исследования опубликовано 26 научных работ, в том числе 15 статей в журналах, рекомендованных Высшей Аттестационной Комиссией Республики Узбекистан, в том числе 8 зарубежных, 7 в Республиканских журналах, а также получены 4 свидетельства о регистрации программных средств, созданных для ЭВМ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 115 страниц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Во введении** обоснованы актуальность работы и востребованность темы диссертации, определены цель и задачи, объект и предмет исследования; приводится соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложена научная новизна, практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, приведены теоретическая и практическая значимость, сведения о внедрении результатов исследования, а также сведения об опубликованности результатов и структура диссертации.

В первой главе диссертации **«Проблемы маршрутизации в современных сетях передачи данных»** рассмотрены принципы работы виртуального и дейтаграммного режимов сетей передачи данных с коммутацией пакетов и используемые в них алгоритмы и протоколы маршрутизации, проанализирована функциональная модель маршрутизатора и факторы, влияющие на его метрику маршрута. Также представлены математические аппараты исследования процессов маршрутизации: теория систем массового обслуживания, теория графов и теория нечетких множеств, а также полностью описывается исследуемая проблема.

В сетях передачи данных алгоритмы маршрутизации формируют метрики маршрута на основе нескольких метрик сети для выбора маршрута. По результатам анализа характеристик процессов маршрутизации в научно-исследовательской работе разработана классификация маршрутных метрик (рис. 1).

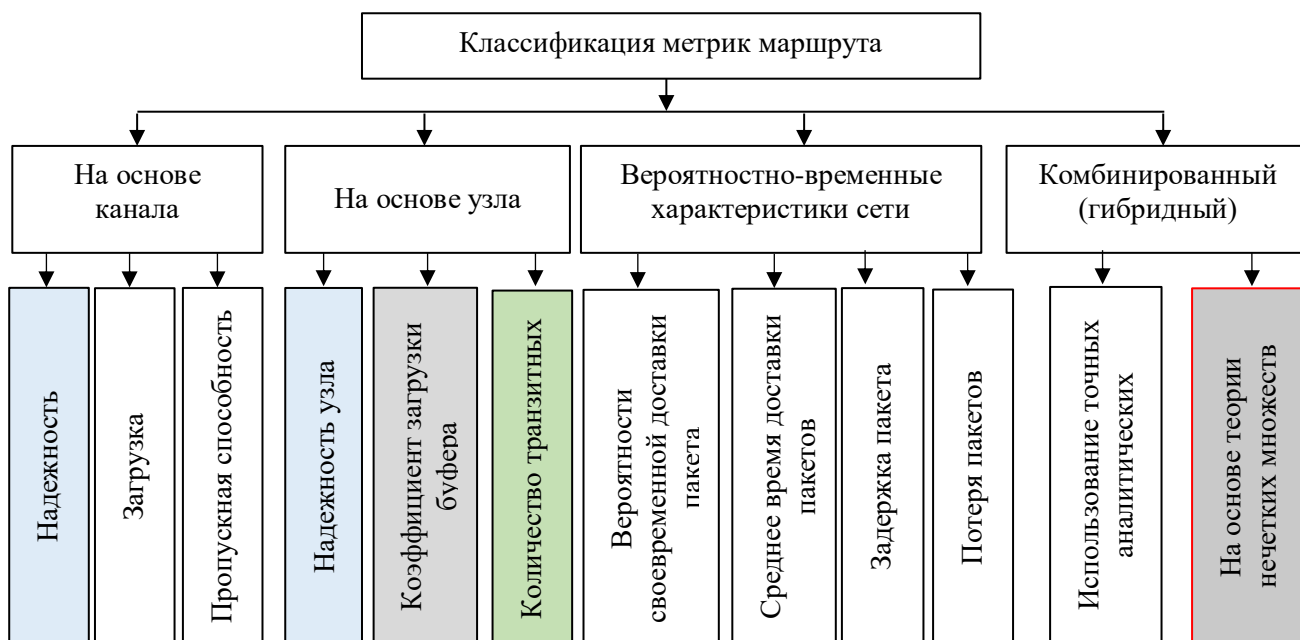


Рисунок 1. Классификация метрик маршрута

Все протоколы динамической маршрутизации обеспечивают оптимальную маршрутизацию по тому или иному критерию, опираясь на определенный набор основных рабочих характеристик, описывающих каналы между узлами связи, но ни один из них не учитывает параметры качества, обеспечивающие текущие возможности и услуги системы связи при формировании маршрутных метрик. Поэтому учет повышения эффективности сетей передачи данных вместе с топологической структурой сети и возможностями ее изменения ставит задачу маршрутизации в зависимости от многих факторов чем больше параметров учитывается, тем сложнее алгоритм маршрутизации.

В таких случаях гибкость традиционного математического моделирования на основе системы алгебраических и дифференциальных уравнений недостаточно для сложного объекта. В результате построение зависимости метрики маршрута от параметров сети становится проблемой и требует использования новых подходов.

В последние годы математический аппарат теории нечетких множеств был использован для преодоления ограничений подходов к анализу процессов маршрутизации в сетях передачи данных, основанных на теории массового обслуживания и теории графов. Использование нечетких множеств позволяет создавать модели, более адекватно описывающие реальные процессы в сетях передачи данных через переменные значения, описывающие текущие возможности сети, а не постоянные значения, представляющие свойства сети.

Во второй главе диссертации **«Оценка модели маршрутизатора и метрики надежности маршрута на основе нечетких множеств»** разработан метод оценки эффективности виртуального и дейтаграммного режимов метода коммутации пакетов в сетях передачи данных на основе

критерия коэффициента готовности метрики надежности маршрута, а также создана математическая модель работы маршрутизатора на основе теории систем массового обслуживания и теории нечетких множеств. Одним из важных требований к сетям передачи данных является обеспечение их надежности, которое должно быть реализовано на всех этапах жизненного цикла проектирования, создания, производства и эксплуатации сетей. Коэффициент готовности используется в качестве стандартизированного показателя надежности для всех типов сетей и определяется следующим выражением (1).

$$K_{\Gamma} = \frac{T_{\text{н}}}{T_{\text{н}} + T_{\text{в}}} \quad (1)$$

здесь  $K_{\Gamma}$ - коэффициент готовности;  $T_{\text{н}}$  - среднее время наработки на отказ;  $T_{\text{в}}$ - среднее время восстановления.

Этот показатель равен 0,99 для сети передачи данных в международных рекомендациях ITU-T, а также в отечественных государственных стандартах DSt 3205:2017, этот коэффициент готовности 0,99 соответствует допустимому простоем 87,6 часов в год или более 3,5 дней и недостаточен для современных сетей передачи данных со скоростью 40 Гбит/с. Остальные данные составляют до 1560,93 Тбайт.

Со временем сетевые технологии сменились современными технологиями и значимость сетей передачи данных значительно возросла. Поэтому необходимо обеспечить более высокую надежность в сетях передачи данных (например, 0,999 или 0,9999).

При расчете коэффициента готовности он осуществляется с использованием математического аппарата теории вероятностей с учетом последовательного или параллельного соединения всех элементов сети. В зависимости от топологии сети коэффициент готовности элементов сети, соединенных последовательно (2) или параллельно (3), определяется следующими аналитическими выражениями:

$$K_{\Gamma_{\text{послед}}} = K_{\Gamma_1} \times K_{\Gamma_2} \times \dots \times K_{\Gamma_n} \quad (2)$$

$$K_{\Gamma_{\text{параллел}}} = 1 - (1 - K_{\Gamma_1}) \times (1 - K_{\Gamma_2}) \times \dots \times (1 - K_{\Gamma_n}) \quad (3)$$

здесь:  $K_{\Gamma_1} \dots K_{\Gamma_n}$  - коэффициенты готовности  $n$  последовательно соединенных элементов сети.

Посредством приведенных выше аналитических выражений было оценено влияние надежности сетевых элементов, организованных на основе виртуального и дейтаграммного режимов сетей передачи данных, на надежность общей топологии сети (рисунки 2-3).

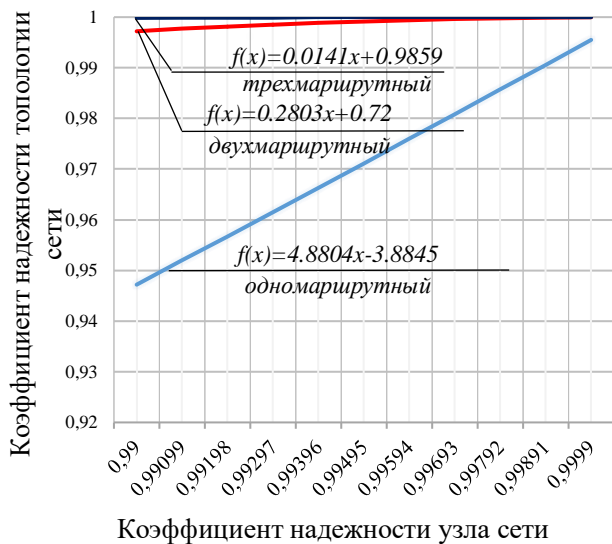


Рисунок.2. График зависимости  $K_{Г}$  для многомаршрутных топологий  $K_{Г_n}$  в узлах сети

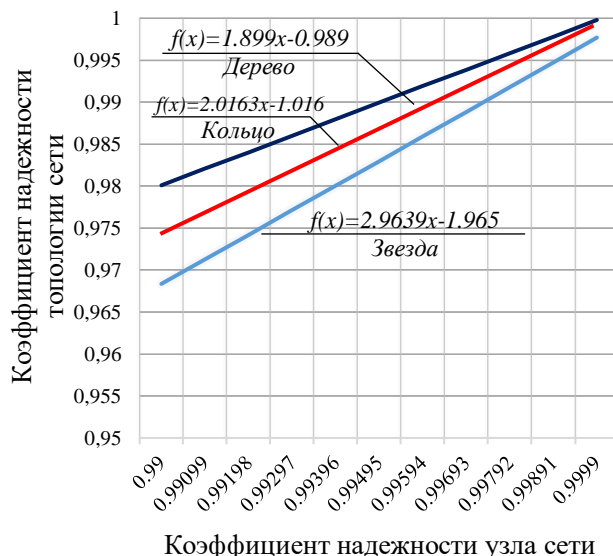


Рисунок 3. График зависимости  $K_{T_t}$  в узлах сети для  $K_T$  в разных топологий

На проиллюстрированных графиках коэффициент готовности трехмаршрутного виртуального канала между узлами увеличивается в 3 и 1,09 раза соответственно по сравнению с одномаршрутным и двухмаршрутным резервными виртуальными каналами и соответствует значению, указанному в нормативном документе. Также топология древовидной сети, созданная в дейтаграммном режиме, увеличивается в 3,4 и 1,8 раза соответственно по сравнению с топологиями звезда и кольцо за счет того, что узлы соединены друг с другом двумя и более. Для дейтаграммного и виртуального режимов сетей передачи данных, были оценены критерии вероятности своевременной доставки пакетов (Q) и среднего времени доставки пакетов (T) в зависимости от времени восстановления узлов коммутации (рисунки 4-5).

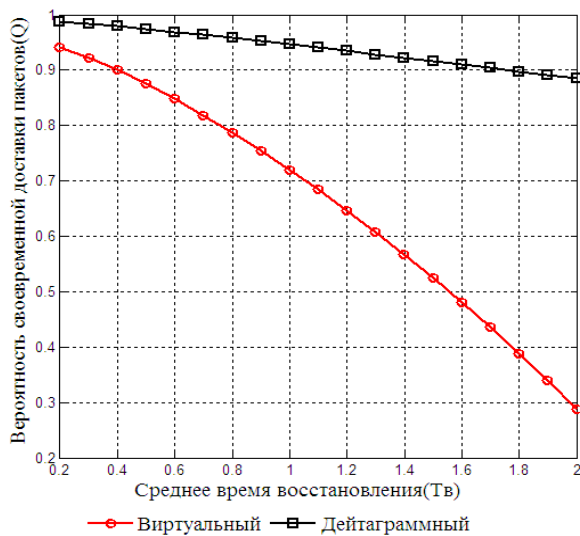


Рисунок. 4. Зависимость вероятности своевременной доставки пакетов для режимов коммутации пакетов от времени восстановления

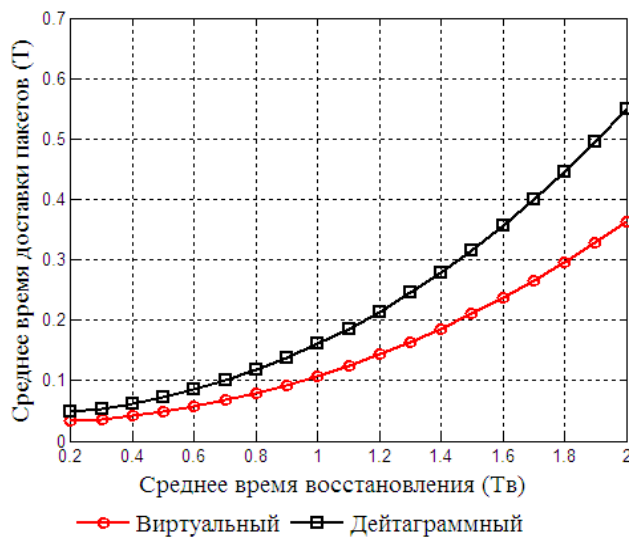


Рисунок. 5. Зависимость среднего времени доставки пакетов от времени восстановления для режимов коммутации пакетов

Математические модели, созданные в дейтаграммном режиме, показывают, что при подключении каждого узла к трем «соседним» узлам коэффициент готовности такой сети удваивается, а при подключении к четырем сеть будет работать, даже если 50% узлов не работают.

Формирование метрики надежности маршрута в сетях передачи данных с учетом особенностей режимов коммутации пакетов является одним из наиболее эффективных механизмов обеспечения заданного определенного качества обслуживания. Однако, чем больше параметров, представляющих характеристики сети, учитывается в процессах маршрутизации в сетях передачи данных, тем сложнее становится алгоритм маршрутизации. В таких случаях предлагается применять на уровне протокола маршрутизации модуль, основанный на теории нечетких множеств (рис. 6).

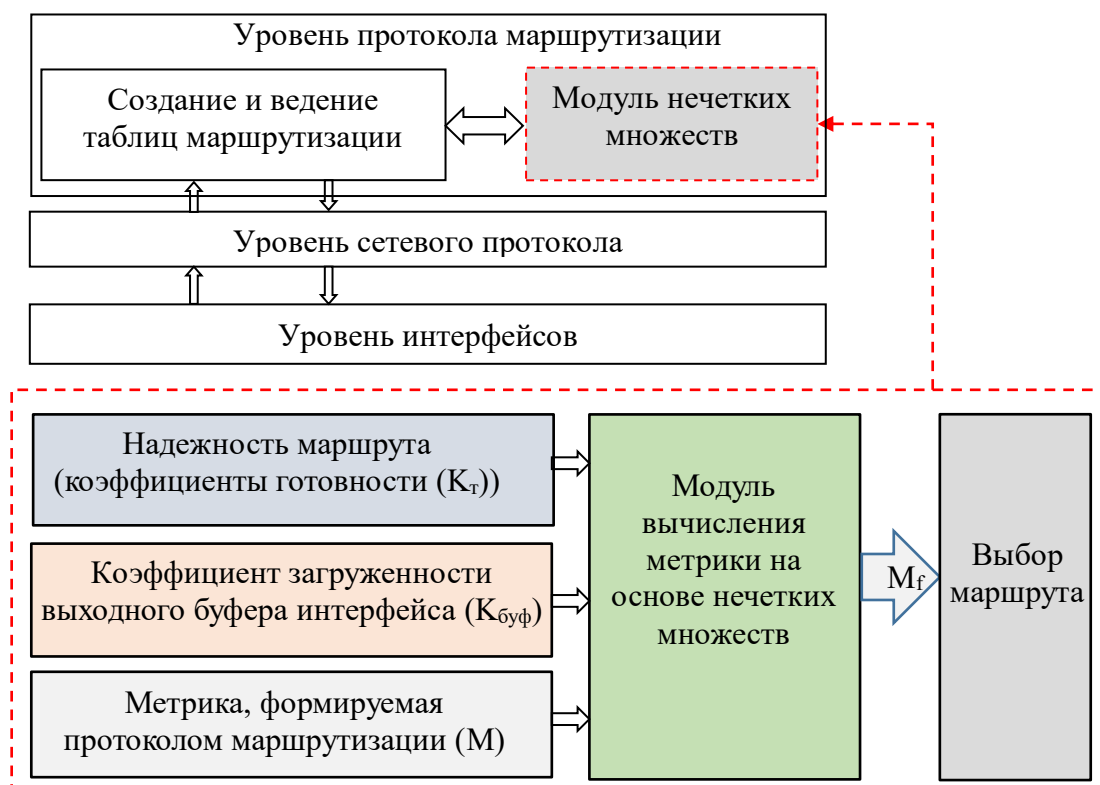


Рисунок. 6. Функциональная модель маршрутизатора на основе нечетких множеств

Эта функциональная модель маршрутизатора описывается следующим образом: после обработки заголовка пакета на уровне сетевого протокола метрика маршрута рассчитывается в соответствии с таблицей маршрутизации, расположенной на уровне протокола маршрутизации.

При расчете метрики маршрута модуля управления на основе нечетких множеств метрика нечеткого маршрута формируется и передается на нижний уровень с учетом коэффициент загруженности выходного буфера интерфейса маршрутизатора, надежности маршрута и метрики, рассчитанной по маршрутизации протокол. На основе предложенной функциональной модели была разработана структурная модель маршрутизатора (рис. 7).

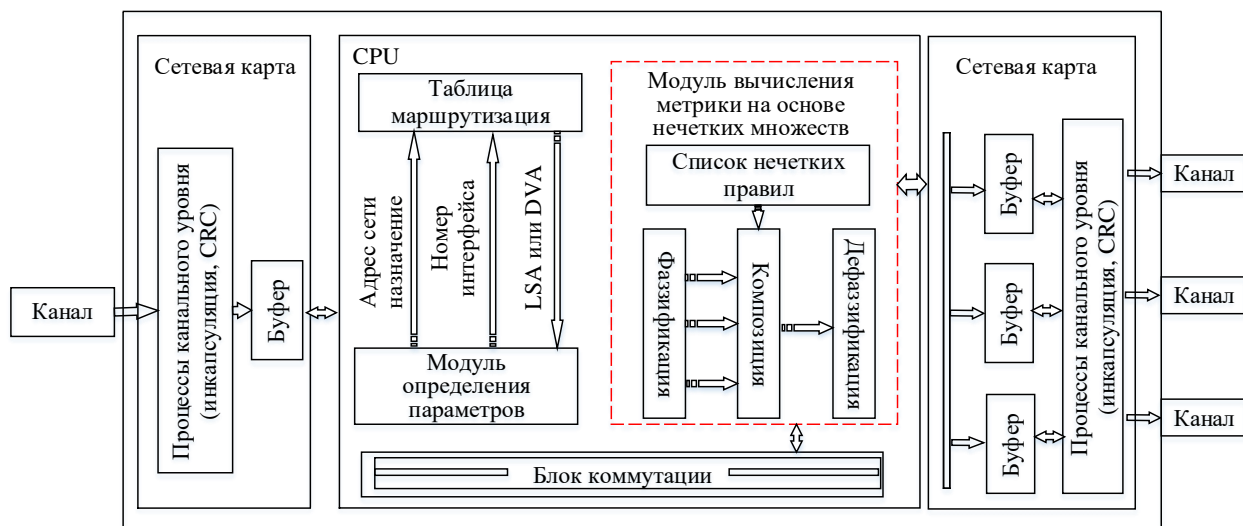


Рисунок. 7. Структурная модель маршрутизатора на основе нечеткой МНОЖЕСТВ

Модуль расчета метрики в модели структуры маршрутизатора имеет характер нечеткой системы, а процесс определения метрики состоит из основных этапов фаззификации, композиции и дефаззификации при формировании нечеткого решения.

На этапе *фаззификации* определяются входные и выходные параметры и соответствующие им нечеткие лингвистические переменные и функции принадлежности. В качестве входных параметров принимаются количество транзитных узлов от передатчика к приемнику, коэффициент загрузки буфера на выходном интерфейсе маршрутизатора и коэффициенты надежности сети, а значение каждой переменной оценивается по трехуровневой шкале. В системе используются следующие функции принадлежности для входных и выходных параметров переменных: Z-образная функция принадлежности описывается следующим образом:

$$f_z(x; a; b) = \begin{cases} 1, & x \leq a; \\ \frac{b-x}{b-a}, & a < x < b; \\ 0, & x \geq b. \end{cases} \quad (4)$$

S - образная функция принадлежности также описывается следующим образом:

$$f_s(x; a; b) = \begin{cases} 0, & x \leq a; \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x < b; \\ 1, & x \geq b. \end{cases} \quad (5)$$

Треугольная функция принадлежности, может быть описана следующим образом:



$$f_{\Delta}(x; a; b) = \begin{cases} 0, & x \leq a; \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x < b; \\ \frac{c-x}{c-b}, & b < x < c; \\ 1, & x \geq c. \end{cases} \quad (6)$$

где:  $a, b, c$  - числовые параметры, удовлетворяющие условие  $a \leq b \leq c$

Логической операцией является операция «ИЛИ» для определения максимального значения и операция «И» для определения минимального значения. В качестве Т-нормы будем использовать операцию минимума (min), в качестве S-нормы - операцию максимума (max):

$$\mu_A(x) *^T \mu_B(y) = \min[\mu_A(x), \mu_B(y)] \quad (7)$$

$$\mu_A(x) *^S \mu_B(y) = \max[\mu_A(x), \mu_B(y)] \quad (8)$$

На этапе фаззификации каждой лингвистической переменной задается набор термов и соответствующие им наборы нечетких переменных.

На этапе *композиции* требуются условия (правила) соответствия между входными и выходными нечеткими переменными. Если количество входов модели  $x_i$  обозначить через  $\omega$ , а каждому из них задано одно и то же число  $z$  нечеткого множества, то количество правил  $r$  определяется по следующей формуле:

$$r = z^{\omega} \quad (9)$$

Ниже приведен набор правил, описывающие взаимосвязь между выходной и входной переменной в нечеткой системе:

*RULE 1 : IF size\_buffer IS low AND reliability IS high THEN quality IS high;*

*RULE 2 : IF size\_buffer IS low AND reliability IS medium THEN quality IS medium;*

*RULE 3 : IF n\_hops IS short OR size\_buffer IS low OR reliability IS low THEN quality IS medium;*

*RULE 4 : IF size\_buffer IS medium AND reliability IS high THEN quality IS high;*

*RULE 5 : IF size\_buffer IS medium AND reliability IS medium THEN quality IS medium;*

*RULE 6 : IF size\_buffer IS medium AND reliability IS low THEN quality IS low;*

*RULE 7 : IF n\_hops IS short OR size\_buffer IS high OR reliability IS high THEN quality IS medium;*

*RULE 8 : IF n\_hops IS short OR size\_buffer IS high OR reliability IS medium THEN quality IS low;*

*RULE 9 : IF n\_hops IS medium OR size\_buffer IS low OR reliability IS low THEN quality IS low;*

*RULE 10 : IF n\_hops IS medium OR size\_buffer IS high OR reliability IS high THEN quality IS low;*

*RULE 11 : IF n\_hops IS long OR size\_buffer IS low OR reliability IS low THEN quality IS low;*

*RULE 12 : IF n\_hops IS long OR size\_buffer IS high OR reliability IS high THEN quality IS low;*

На этапе *дефаззификации* нечеткое число преобразуется в четкое (точное) число с использованием функций принадлежности  $\mu_B^i$  для каждой нечеткой входной переменной  $x_i$ . Метод центра тяжести представлен как один из методов дефаззификации для точного значения выходной переменной (метрики):

$$M_f = \frac{\int_{\min}^{\max} x * \mu_B(x) dx}{\int_{\min}^{\max} \mu_B(x) dx} \quad (10)$$

Предложенная модифицированная модель структуры маршрутизатора обеспечивает полное использование внутренних ресурсов и производительности без изменения конфигурации существующих стандартных протоколов, т.е. дальнейшему расширению возможностей технических средств, таких как внутренняя память и процессор.

В третьей главе диссертационной работы «**Моделирование процессов маршрутизации на основе нечетких множеств**» разработан метод формирования маршрутных метрик на основе нечетких множеств и имитационная модель процессов маршрутизации и оценена эффективность алгоритма работы маршрутизатора. В разработан алгоритме на основе нечетких множеств помимо метрики маршрута, полученной из таблицы маршрутизации, возможен выбор многопараметрической метрики маршрута с учетом характеристик канала и узла. В ходе исследования был разработан алгоритм обработки пакетов в маршрутизаторе на основе нечетких множеств (8- рис).

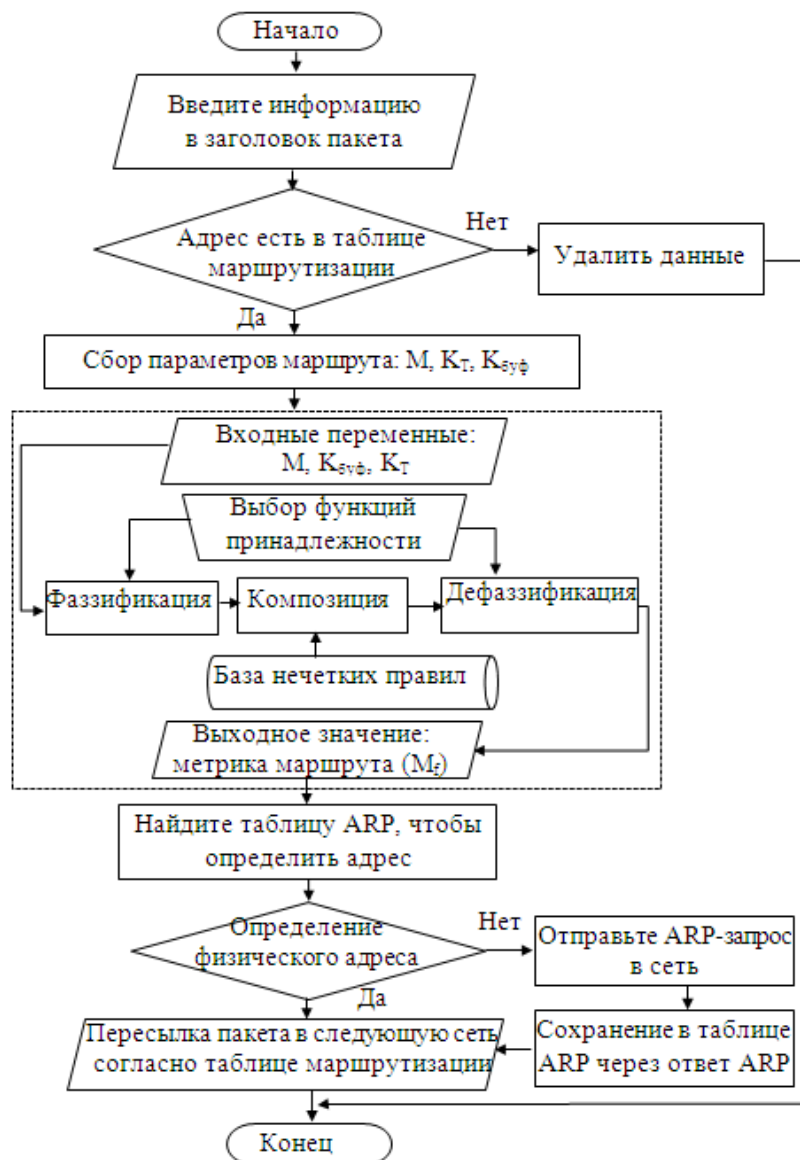


Рисунок 8. Алгоритм обработки пакетов в маршрутизаторе на основе нечетких множеств

Такой подход позволяет оценивать процессы выбора маршрута субъективным экспертом, назначать маршрутам уровни приоритета, рационально использовать ресурсы устройств и адаптироваться к текущему трафику. Для оценки эффективности алгоритма работы маршрутизатора с использованием нечетких множеств была разработана имитационная модель маршрутизатора в среде AnyLogic на основе языка программирования Java (рис. 9). В имитационной модели моделируются алгоритмы работы маршрутизатора по традиционным, 2x2FL (два параметра и две шкалы) и 3x3FL (три параметра и три шкалы).

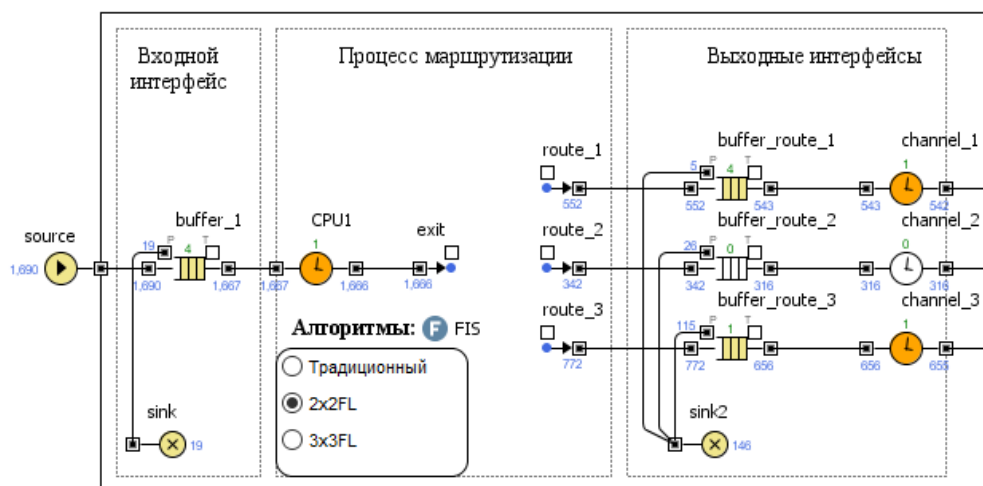


Рисунок 9. Имитационная модель маршрутизатора в среде Anylogic

В процессе моделирования времени обработки пакетов каждого алгоритма, общего количества полученных пакетов, количества потерянных пакетов, времени пребывания в маршрутизаторе и гистограмма распределения среднего времени ожидания в буфере представлены на рисунке 10.

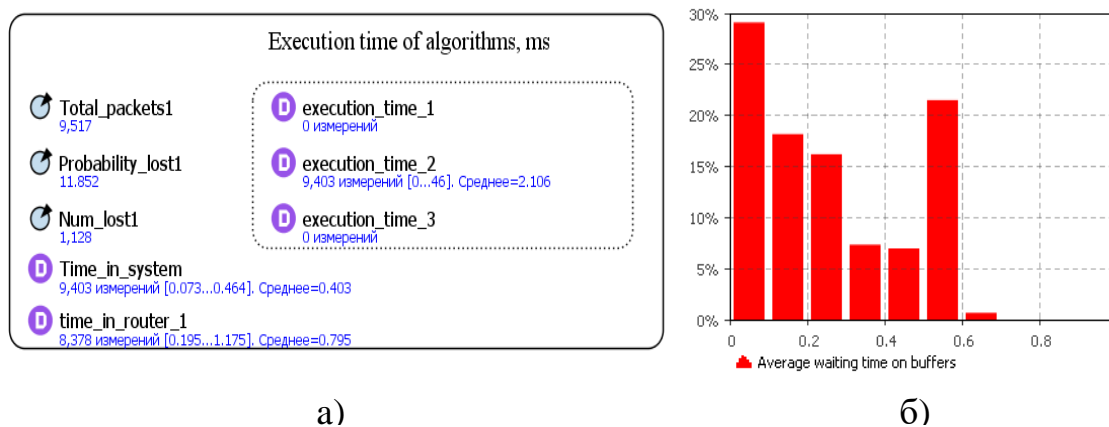


Рисунок 10. а) промежуточные результаты, полученные в ходе эксперимента б) гистограмма распределения среднего времени ожидания

На рисунке 11 представлены графики функции принадлежности входных (надежность, количество транзитных узлов, коэффициент загрузки буфера) и выходных (нечеткая метрика) переменных.

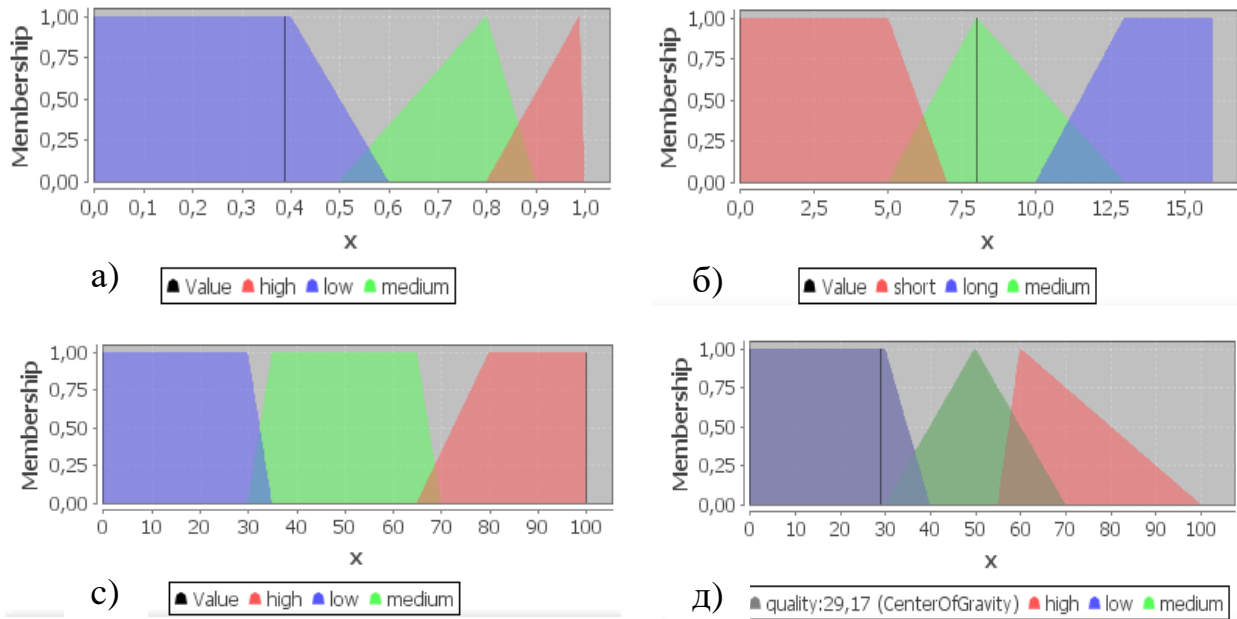


Рисунок 11. Графики функций принадлежности входных и выходных переменных: а) надежность б) количество транзитных узлов с) коэффициент загрузки буфера д) нечеткая метрика

Результаты эксперимента по вероятности потери пакетов в сети, задержке и времени пребывания в системе, а зависимость от размера буфера представлены на рисунках 12-13.

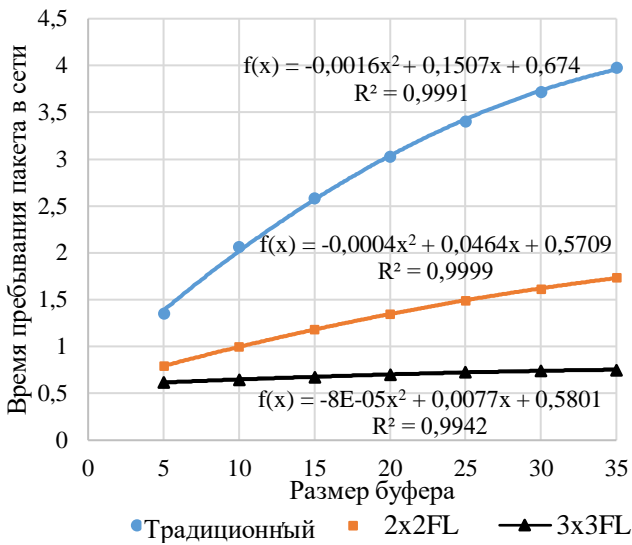


Рисунок 12. Зависимость времени пребывания пакетов в сети от размера буфера

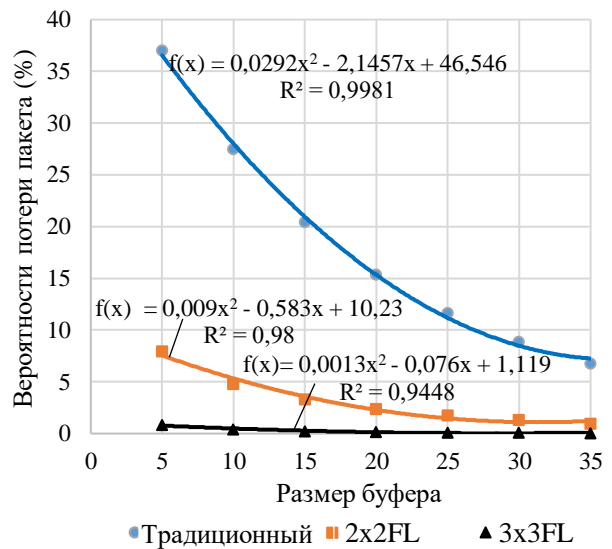


Рисунок 13. Зависимость вероятности потери пакетов в сети от размера буфера

Эффективность всей сети повышается за счет снижения вероятности потери пакетов и времени, затрачиваемого на работу системы на каждом маршрутизаторе сети. Общее время пребывания в сети алгоритма 3x3FL сокращается в среднем в 4,13 и 1,88 раза по сравнению с традиционным алгоритмом и 2x2FL соответственно, а вероятность потери пакетов в сети снижается в среднем до 17,98% и 3%.

Зависимости времени пребывания пакетов в маршрутизаторе и вероятности потери пакетов от загрузки процессора исследованы и графически изображены на рисунках 14-15.

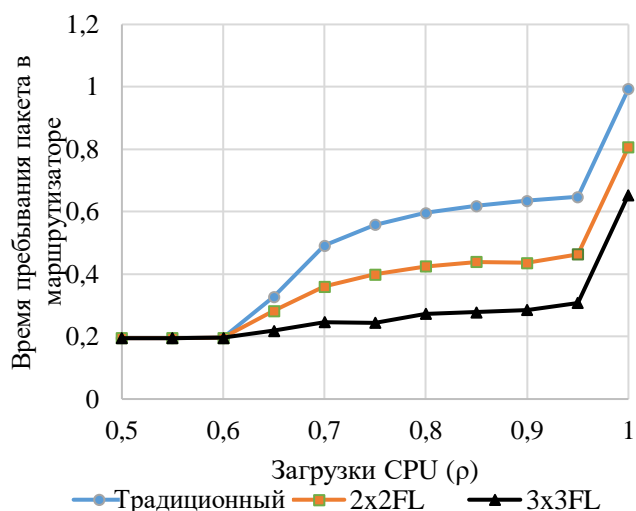


Рисунок 14. Зависимость времени пребывания пакетов в маршрутизаторе от загрузки процессора

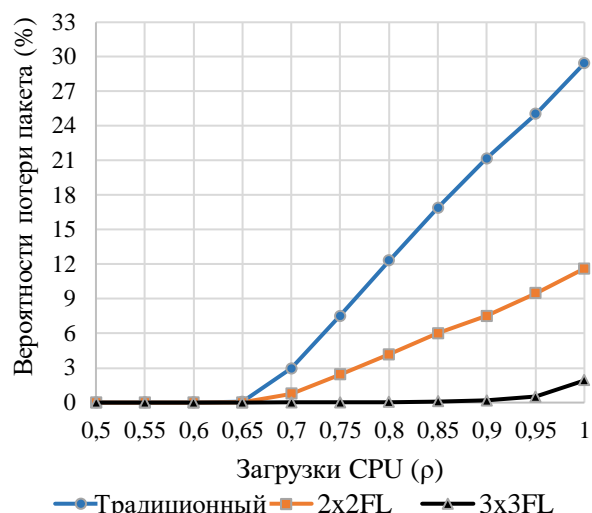


Рисунок 15. Зависимость вероятности потери пакетов в маршрутизаторе от загрузки процессора

Анализ полученных результатов показал, что при небольшой загрузке маршрутизатора ( $\rho < 0,6$ ) предложенный алгоритм работы маршрутизатора дает тот же результат, что и существующие алгоритмы. В случаях повышенной нагрузки ( $\rho \geq 0,6$ ) предложенный алгоритм снижает время пребывания пакетов в системе и вероятность потери пакетов.

При использовании предложенного алгоритма в случае высокой загрузки процессора маршрутизатора вероятность потери пакетов снижается в среднем на 10,24% по сравнению с традиционным алгоритмом и на 3,57% в среднем по сравнению с известным алгоритмом. В результате существенно сократились задержки при передаче данных и вероятность потери пакетов, а также стала возможной более эффективная маршрутизация пакетов в сети.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результатах исследований в диссертации доктора философии (PhD) на тему «Модель и алгоритмы маршрутизации на основе нечетких множеств в сетях передачи данных» представлены следующие выводы:

1. Проведен анализ модели маршрутизации, протоколов, алгоритмов и свойств метрик маршрутов для оценки их эффективности в сетях передачи данных на основе коммутации пакетов. По результатам анализа разработана классификация метрик маршрутов.

2. Разработана метода оценки эффективности режимов коммутации пакетов в сетях передачи данных на основе критерия коэффициента готовности метрики надежности маршрута. В результате был разработан программный инструмент, позволяющий оценить надежность сети с учетом наличия различных топологий, коммутации узлов и каналов между ними.

3. Проанализированы преимущества и ряд ограничений использования теории систем массового обслуживания и теории графов при решении исследовательских задач процессов маршрутизации в сетях передачи данных. Чтобы устранить ограничения традиционных подходов, необходимо создавать модели, более адекватно описывающие реальные процессы, принимая во внимание переменные значения, описывающие текущие возможности сети, а не постоянные значения, представляющие характеристики сети с использованием математического аппарата теории нечетких множеств.

4. Разработана функциональная модель маршрутизатора на основе нечетких множеств, позволяющая формировать многопараметрическую метрику маршрута с учетом функциональных характеристик маршрутизатора и надежности маршрута. В результате, учитывая требования пользователей, можно выбрать эффективный маршрут и полностью использовать внутренние ресурсы маршрутизатора, не меняя настройки существующих протоколов маршрутизации.

5. Разработан алгоритм работы маршрутизатора, основанный на формировании метрик маршрута в различных масштабах многопараметрических входных переменных на основе нечетких множеств. В результате по сравнению с традиционными алгоритмами маршрутизации время нахождения в общей сети сократилось в среднем в 4,13 раза, а вероятность потери пакетов в сети снизилась в среднем на 15-18%.

6. Разработана имитационная модель процесса маршрутизации в среде AnyLogic для оценки эффективности алгоритма маршрутизатора на основе нечетких множеств. По результатам имитационной модели маршрутизатор дает тот же результат, что и традиционные алгоритмы при низкой загрузке процессора ( $\rho \leq 0.6$ ). При увеличении нагрузки на маршрутизатор ( $\rho > 0.6$ ) средняя вероятность потери пакетов составляет 9-10% по сравнению с традиционным алгоритмом маршрутизации, а время пребывания на маршрутизаторе сокращается в 3,85 раза.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES  
DSc.13/30.12.2019.T.07.02 AT TASHKENT UNIVERSITY OF  
INFORMATION TECHNOLOGIES**

---

**TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES**

**MATKURBONOV DILSHOD MATKURBON OGLI**

**MODELS AND ALGORITHMS FOR ROUTING BASED ON FUZZY SETS  
IN DATA COMMUNICATION NETWORKS**

**05.04.01 – Telecommunication and computer systems, networks and telecommunications  
devices. Information distribution**

**DISSERTATION ABSTRACT FOR THE DOCTOR OF PHILOSOPHY DEGREE  
(PhD) OF TECHNICAL SCIENCES**

**Tashkent – 2025**

**The theme of the dissertation of a doctor of philosophy (PhD) of technical sciences was registered by the Higher Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science and Innovations of the Republic of Uzbekistan under number B2024.2.PhD/T4682.**

The dissertation has been prepared at Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the Scientific Council website [www.tuit.uz](http://www.tuit.uz) and on the website of “ZiyoNet” Information and Educational portal [www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz).

**Scientific adviser:** **Djabbarov Shuxrat Yuldashevich**  
Candidate of Technical Sciences, Docent

**Official opponents:** **Parsiyev Saydiyat Solixodjayevich**  
Doctor of Technical Sciences, Docent

**Kamalov Yunus Karimovich**  
Candidate of Technical Sciences, Docent

**Leading organization:** **Tashkent State Transport University**

The defense of the thesis will held on \_\_\_\_\_ “\_\_\_\_\_”, 2025 year at \_\_\_\_\_ hours at the meeting of the Scientific Council DSc.13/30.12.2019.T.07.02 at the Tashkent University of Information Technologies (Address: 100084, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Tel.: (99871) 238-64-15; e-mail: [tuit@tuit.uz](mailto:tuit@tuit.uz)).

The dissertation could be reviewed in the Information Resource Centre of Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi. (registration number № \_\_\_\_\_). (Address: 100084, Tashkent city, Amir Temur street., 108. Tel.: (99871) 238-64-15).

The abstract of dissertation is distributed on “\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2025.  
(protocol at the register № \_\_, on “\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2025).

**B.Sh.Makhkamov**  
Chairman of the Scientific Council  
awarding scientific degrees, Doctor of  
Economical Sciences, Professor

**M.S.Saitkamolov**  
Scientific secretary of the Scientific  
Council awarding scientific degrees,  
Doctor of Economical Sciences, docent

**D.Ya.Irgasheva**  
Chairman of the Academic Seminar at  
the Scientific Council awarding scientific  
degrees, Doctor of Technical Sciences,  
Professor



## **INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)**

**The aim of the research work** is the development of routing models and algorithms based on fuzzy sets, allowing for the functional features of the router and the reliability of the route in data communication networks to be taken into account.

**The object of the research work** is routing processes in packet-switched data communication networks.

**The scientific novelty of the research work** are as follows:

a method for assessing the efficiency of packet switching modes has been developed based on the criteria of the probability of timely delivery of packets and the average delivery time, taking into account the availability and reliability coefficient of topologies used in data communication networks;

the functional model of the router based on fuzzy sets has been improved, which allows selecting an effective route metric taking into account the load factor of the output buffer of the packet switching node, network reliability and the metric calculated by the routing protocol;

routing algorithms have been developed that allow increasing the efficiency of packet switching nodes based on the formation of a fuzzy multi-parameter route metric taking into account the criteria of the router interface buffer load and the waiting time of packets in the queue in data communication networks;

a simulation model of the routing process based on fuzzy sets has been created, allowing for assessing the efficiency of data communication networks based on the criterion of packet residence time and the probability of their loss in the system, taking into account the functional features of the router and the reliability of the route.

### **Implementation of research results.**

Based on the results of model and algorithms for routing based on fuzzy sets in data communication networks:

the algorithm for the operation of the router, based on fuzzy sets using a technique that allows the formation of route metrics, was implemented in the Khorezm branch of Uzbektelecom JSC (Certificate of the Ministry of Digital Technologies dated February 21, 2024 No. 33-8/1272). As a result of scientific research, in cases of increased load on the router processor, the average probability of packet loss is reduced by 9-10% compared to the traditional routing algorithm;

functional model of a router based on fuzzy sets and a software tool that enables the exploration of metric-based routing algorithms has been implemented at UNICON.UZ LLC (Certificate of the Ministry of Digital Technologies dated February 21, 2024 No. 33-8/1272). As a result of scientific research, it was possible to increase the efficiency of telecommunication networks and improve quality parameters by state standard UzDSt 3292:2018 “Telecommunication networks. IP packet routing equipment. General technical requirements and control methods”;

a software tool that allows you to evaluate the effectiveness of packet switching modes in data communication networks based on the route reliability

metric was implemented in the “East Telecom” LLC JV (Certificate of the Ministry of Digital Technologies dated February 21, 2024 No. 33-8/1272). As a result of scientific research, it made it possible to meet the requirements for the reliability indicator of data transmission networks. Also, with the help of the developed algorithm, the total time spent in the network was reduced by an average of 3.5 times, and it was possible to increase the performance of the router in the switching nodes.

**Structure and volume of the dissertation.** The dissertation consists of three chapters, conclusion, list of references, annexes. The volume of dissertation is 115 pages.

**E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I bo'lim (Часть I; Part I)**

1. Matqurbonov D.M. Model sistemasi boshqaruvi uchun yo'nalishni belgilashda aniqsizliklar to'plamlari bilan ishlatilgan. // "Muhammad al-Xorazmiy avlodlari" ilmiy-amaliy va axborot-tahliliy jurnali. №1(23), 2023.–С. 76-81 (05.00.00; №10).

2. Matqurbonov D.M. Paketli kommunikatsiya tizimlarining ishonchlik ko'rsatkichlarini tahlil qilish. "Innovation technosystems" ilmiy-texnik jurnali. №2(14), 2024. –В. 39-44 (ОАК rayosatining qarori 10.12.2019 yil №272/7.2)

3. Matqurbonov D.M. Laplas almastirishli matematik apparatidan foydalangan holda ma'lumotlar uzatish tarmoqlarining ishonchligini hisoblash. "Muhammad al-Xorazmiy avlodlari" ilmiy-amaliy va axborot-tahliliy jurnali №2(28), 2024.–В. 78-80 (05.00.00; №10).

4. P.X. Djurayev., Sh.Yu. Djabbarov., D.M. Matqurbonov, Sh.X. Magdiev. Model va algoritmi boshqaruvi uchun yo'nalishni belgilashda aniqsizliklar to'plamlari bilan ishlatilgan. // "Axborotkommunikatsiyalar: Tarmoqlar, Texnologiyalar, Echimlar" ilmiy-texnik jurnali. №4(64), 2022. –С. 5-15 (05.00.00; №2).

5. Djurayev P.X., Djabbarov Sh.Yu., Matqurbonov D.M. Yo'nalishni belgilashda aniqsizliklar to'plamlari bilan ishlatilgan. // "Muhammad al-Xorazmiy avlodlari" ilmiy-amaliy va axborot-tahliliy jurnali. №1(19), 2022. –В. 98-103 (05.00.00; №10).

6. Matqurbonov D.M., Abduxalilov B.Z. Turli metrikali yo'nalishlar bilan balanslangan yuqumli EIGRP protokollari bilan amalga oshirilish. // "Muhammad al-Xorazmiy avlodlari" ilmiy-amaliy va axborot-tahliliy jurnali. №1(1), 2017. –В. 44-48 (05.00.00; №10).

7. Matqurbonov D.M., Magdiev Sh.X. Ma'lumot uzatish tarmoqlarida axborot oqimlarini taqsimlash modeli va algoritmlari. // "Axborotkommunikatsiyalar: Tarmoqlar, Texnologiyalar, Echimlar" ilmiy-texnik jurnali. №1(49), 2019. –В. 44-51 (05.00.00; №2).

8. R.X. Djurayev, Sh.Yu. Djabbarov, D.M. Matqurbonov. Methods for Calculating Route Metrics in Data Transmission Networks. // 2020 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT), Tashkent, Uzbekistan. (3) Scopus (ОАК rayosatining qarori 30.10.2020 yil №368).

9. Rustam Djurayev, Shukhrat Djabbarov, Dilshod Matqurbonov, Amir Lazarev, Orif Khasanov. Increasing the efficiency of network resources in IP networks based on fuzzy sets. // International Conference "Information Science and Communications Technologies: Applications, Trends and Opportunities (ICISCT), Tashkent, Uzbekistan. (3) Scopus (ОАК rayosatining qarori 30.10.2021 yil №525).

10. Rustam Djurayev, Shukhrat Djabbarov, Dilshod Matqurbonov, Orif Khasanov. Approaches and Methods for Assessing the Information Security of

Data Transmission Networks // International Conference “Information Science and Communications Technologies: Applications, Trends and Opportunities (ICISCT), Tashkent, Uzbekistan. (3) Scopus (OAK rayosatining qarori 30.10.2021 yil №525).

11. Matkurbonov D.M., Nushtayeva O.X., Tojiyeva F.Q. Model and Algorithms for Distribution of Information Flows in Data Transmission Networks. International Conference “Information Science and Communications Technologies: Applications, Trends and Opportunities (ICISCT)”. Tashkent, Uzbekistan. (3) Scopus (OAK rayosatining qarori 30.09.2019 yil №269/8).

12. Rustam Djurayev., Dilshod Matkurbonov., Urinov Khojiakbar. Analysis of a Model for Improving the Efficiency of Routing Control in Data Transmission Networks Based on Fuzzy Logic. “Communications”. e-ISSN: 2328-5923. №11(1). New York – 2023. – 6 p.

13. Rustam Djurayev, Shukhrat Djabbarov, Dilshod Matkurbonov. Analysis of the availability indicators of the data transmission network with packet switching. “Information Science and Communications Technologies: Applications, Trends and Opportunities (ICISCT)”. Tashkent, Uzbekistan. (OAK rayosatining qarori 29.08.2023 yil №342/3).

14. Matkurbonov D.M., Rakhimjanov K. Analysis of network emulation and simulation software. “Sciences of Europe”. e-ISSN 3162-2364. №1(79). Praha-2021. –P. 38-46 (OAK (23) Scientific Journal Impact Factor 5,974)

15. Матқурбонов Д.М. Кенг полосали абонент фойдалана олиш тармоғини моделлаштириш ва таҳлил қилиш. Международный научный журнал. № 11 (21), 1 том. Киев-2016, -Б.80-84. CrossRef (10.25)

## **II bo‘lim (Часть II; PartII)**

16. Matkurbonov D.M. Analysis of approaches to increase the efficiency of data communication networks. // International Conference on “Advance Research in Humanities, Sciences and Education”. Germany-2024. – P. 23-28

17. Matqurbonov D.M. OPNET muhitida marshrutlash protokollarining xususiyatlarini tahlil qilish. “Amaliy matematika, matematik modellashtirish va informatikaning dolzarb muammolari” Respublika ilmiy konferensiya ma’ruzalar to‘plami. Nukus-2024.– B. 307-310

18. Матқурбонов Д.М. Абонент кириш тармоқларида хизматларини тақдим этишининг самарали усули. “Муҳаммад ал-Хоразмий издошлари” мавзусидаги Республика илмий техник анжумани. Урганч-2018. –Б. 454-455

19. Джураев Р.Х., Матқурбонов Д.М. Анализ показателей надёжности сети передачи данных. // “Iqtisodiyot tarmoqlarining innovatsion rivojlanishida axborot-kommunikatsiya texnologiyalarining ahamiyati” Respublika ilmiy-texnik anjumanining ma’ruzalar to‘plami. 2-qism. Toshkent-2022. -С.50-52

20. Матқурбонов Д.М. Абонент фойдалана оладиган тармоқларни модернизация қилишининг иқтисодий масалалари. Ўзбекистон Республикасида кичик бизнес ва хусусий тадбиркорликни давлат томонидан қўллаб-қувватлаш масалалари” мавзусидаги республика илмий-амалий конференцияси материаллари тўплами. Тошкент-2017. –Б. 358-359

21. Djabbarov Sh.Yu, Matqurbonov D.M, Berdiklichov. S.X. Ma'lumot uzatish tarmoqlarida marshrutizatsiyani tashkil qilish uchun noravshan to'plamning qo'llanishi. // Proceedings of the international scientific conference "Information Technologies, Networks and Telecommunications". Urgench-2021. – B. 44-47

22. Matqurbonov D.M. Analysis of the characteristics of routing protocols and algorithms. // International Conference on "Advance Research in Humanities, Sciences and Education". USA-2024. – P. 248-252

23. R.Djurayev, Sh.Djabbarov, D.Matqurbonov, I.Xo'rozov. Metrikaga asoslangan marshrutizatsiya algoritmlarini tadqiq qilish dasturi // O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi Intelektual mulk agentligining Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro'yxatdan o'tkazilganligi to'g'risidagi guvohnomasi № DGU 16424. 25.05.2022

24. R.Djurayev, D.Matqurbonov, A.Mamadaliyev. Xizmat axborotlarning vaqt oralig'ini dinamik o'zgartirish asosida marshrutizatsiya samaradorligini oshirish // O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi Intelektual mulk agentligining Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro'yxatdan o'tkazilganligi to'g'risidagi guvohnomasi № DGU 16531. 30.05.2022

25. R.Djurayev, Sh.Djabbarov, D.Matqurbonov, O.Xasanov. Marshrutizatsiya algoritmlari yordamida IP tarmoqlarning ishonchlilik xarakteristikalarini hisoblash dasturi // O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligining Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro'yxatdan o'tkazilganligi to'g'risidagi guvohnomasi № DGU 18549. 21.09.2022

26. D.Matqurbonov. Noravshan to'plamlar asosida marshrutlash algoritmlarini tadqiq qiluvchi dasturiy vosita // O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligining Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro'yxatdan o'tkazilganligi to'g'risidagi guvohnomasi № DGU 39172. 31.05.2024

Avtoreferat “Muhammad al-Xorazmiy avlodlari” Ilmiy-amaliy va axborot tahliliy jurnali tahriryatida tahrirdan o‘tkazildi va o‘zbek, rus, ingliz tillari matnlarni mosligi tekshirildi.

**Bosmaxona litsenziyasi:**



**9338**

Bichimi: 84x60 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. «Times New Roman» garniturası.  
Raqamli bosma usulda bosildi.  
Shartli bosma tabog‘i: 2,75. Adadi 100 dona. Buyurtma № 25/23.

Guvohnoma № 851684.  
«Tipograff» MCHJ bosmaxonasida chop etilgan.  
Bosmaxona manzili: 100011, Toshkent sh., Beruniy ko‘chasi, 83-uy.



