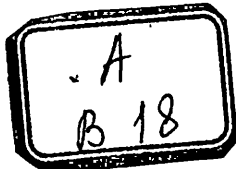


TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.13/30.12.2019.T.07.02 RAQAMLI ILMIY KENGASH
TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI



BADALOV JASUR ISMAILOVICH

INFOKOMMUNIKATSIYA TARMOQ TUGUNLARINI OPTIMAL
JOYLASHTIRISH 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 – 2024

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

TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI

BADALOV JASUR ISMAILOVICH

INFOKOMMUNIKATSIYA TARMOQ TUGUNLARINI OPTIMAL
JOYLASHTIRISH 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 – 2024

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2023.3.PHD/T3935 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Toshkent axborot texnologiyalari universitetida bajarilgan.
Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengashning veb-sahifasida (www.tuit.uz) hamda "ZiyoNet" Axborot ta'lim portalida (www.ziynet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Parsiyev Saydiyat Solixodjayevich
texnika fanlari doktori, dotsent

Rasmiy opponentlar:

Amirsaidov Ulug'bek Boburovich
texnika fanlari doktori, dotsent

Yarmuxamedov Alisher Agbarovich
texnika fanlari nomzodi, dotsent

Yetakchi tashkilot

O'zbekiston Respublikasi Mudofaa vazirligi
Axborot-kommunikatsiya texnologiyalari
va aloqa harbiy instituti

Dissertatsiya himoyasi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti huzuridagi DSc.13/30.12.2019.T.07.02 raqamli Ilmiy kengashning 2024 yil 15 04 soat 11:30 dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100084, Toshkent shahri, Amir Temur ko'chasi, 108- uy) Tel: (+99871)238-65-44)

Dissertatsiya bilan Toshkent axborot texnologiyalari universiteti Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (286 raqam bilan ro'yxatga olingan). Manzil: 100084, Toshkent shahri, Amir Temur ko'chasi, 108- uy. Tel.: (+99871) 238-65-44.

Dissertatsiya avtoreferati 2024 yil « 5 » 04 da tarqatildi.
(2024 yil « 5 » 04 dagi 7 raqamli reyestr bayonnomasi).



B.Sh. Maxkamov
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash
raisi, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

M.S. Saitkamolov
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash
kotibi, iqtisodiyot fanlari doktori, dotsent

D.Ya. Irgasheva
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash
qoshidagi ilmiy seminar raisi, texnika
fanlari doktori, professor

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda optik tolali aloqa liniyalari va raqamli televideniya, buyumlar interneti, elektron pochta, raqamli uzatish tizimlari joriy etilishi munosabati bilan infokommunikatsiya tarmoqlarini tadqiq qilishning samarali usullarini, model va algoritmlarini yaratishga yo'naltirgan ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Jumladan, infokommunikatsiya tarmoqlari orqali uzatilayotgan nisbiy va absolyut prioritetli ma'lumotlar oqimlari parametrlarini hisoblovchi matematik model ishlab chiqishga, turli topologiyalarga ega bo'lgan infokommunikatsiya tarmoqlari kanallari o'tkazuvchanliklarini tanlash imkononi beruvchi tugunlarini optimal joylashtirish mezonini ishlab chiqishga katta e'tibor qaratilmoqda. Shu bilan bir qatorda infokommunikatsiya tarmoq topologiyalarining geografik joylashuvini hisobga oluvchi, jarima funksiyasi usulidan foydalangan holda, keltirilgan umumtarmoq harajatlar mezonini asosida kam xarajatli strukturasi aniqlash hamda har xil turdagi prioritetli ma'lumotlar oqimlarning tugunlarga o'z vaqtida yetib kelish va vaqt-ehtimolli parametrlarini hisobga oluvchi matematik model asosida hisoblash algoritmlarini yaratish dolzarb muammolar hisoblanadi.

Jahonda infokommunikatsiya tarmoqlari strukturasi keltirilgan umumtarmoq xarajatlar mezonini orqali optimallashtirish algoritmlarini, prioritetli ma'lumotlar oqimining vaqt-ehtimolli xarakteristikalarini hisoblash algoritmini ishlab chiqishga va ma'lumotlar oqimlarining o'rtacha kechikish vaqt mezonini bo'yicha infokommunikatsiya tugunlarini optimal joylashtirishga qaratilgan ilmiy tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Shu bilan bir qatorda, infokommunikatsiya aloqa tarmoqlarini qurish usullarini hamda kanallarning o'tkazuvchanliklarini oshirish, infokommunikatsiya tarmoq tugunlarini optimal joylashtirish mezonlarini va dasturiy hisoblash vositalarini ishlab chiqish dolzarb muammo hisoblanadi. Infokommunikatsiya tarmoqlari samaradorligini oshirish usullarini, optimallashtirish algoritmlarini hamda ma'lumotlar oqimining o'rtacha ushlanib qolish vaqt mezonini bo'yicha tarmoq tugunlarini optimal joylashtirish mezon va algoritmlarini ishlab chiqish muhim ahamiyatga ega bo'lmoqda. Bu borada jahonning rivojlangan mamlakatlarida, jumladan AQSH, Kanada, Germaniya, Janubiy Koreya, Xitoy, Hindiston, Rossiya Federatsiyasi va boshqa davlatlarda infokommunikatsiya tarmoqlari tugunlarini o'rtacha kechikish vaqt mezonini asosida optimal joylashtirishning model va algoritmlarini ishlab chiqish muhim ilmiy masala hisoblanmoqda.

Respublikamizda ham infokommunikatsiya tarmoqlari tugunlarini o'rtacha ushlanib qolish vaqt mezonini bo'yicha optimal joylashtirish, uzatilayotgan ma'lumotlar oqimining har xil turdaligini, prioritetligini, ishonchligini e'tiborga oluvchi va vaqt-ehtimolli xarakteristikalarini hisoblash algoritmini ishlab chiqishga qaratilgan chora-tadbirlar amalga oshirilmoqda. 2022–2026 yillarda Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasida, jumladan "...iqtisodiyot, ijtimoiy soha, boshqaruv tizimiga axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini joriy etish, davlat xizmatlarini ko'rsatish va bu xizmatdan aholi, hamda tadbirkorlik subyektlari

tomonidan foydalanish imkoniyatlarini oshirish”¹ vazifalari belgilangan. Mazkur vazifalarni amalga oshirishda ma’lumotlar oqimining har xil turdaligini, prioritetligini hisobga oluvchi vaqt-ehтимolli xarakteristikalarini hisoblash algoritmini, infokommunikatsiya tarmoqlari tugunlarini o’rtacha ushlanib qolish vaqt mezonini asosida optimal joylashtirish algoritmlarini ishlab chiqish, shu orqali tarmoq samaradorligini oshirish muhim masalalardan hisoblanadi.

O’zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 5-oktyabrdagi PF-6079-sonli “Raqamli O’zbekiston – 2030” strategiyasini tasdiqlash va uni samarali amalga oshirish chora-tadbirlari to’g’risidagi farmoni, va O’zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 22 maydagi PF-4329-sonli “O’zbekiston Respublikasining aholi punktlarida telekommunikatsiya infratuzilmasini rivojlantirish bo’yicha chora-tadbirlar to’g’risida” gi Farmoni, O’zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yilning 20 dekabr kuni parlamentga va O’zbekiston xalqiga qilgan murojaatnomasida hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me’yoriy- huquqiy xujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo’nalishlarga mosligi. Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining IV. “Axborotlashtirish va axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini rivojlantirish” ustuvor yo’nalishlariga mos holda bajarilgan.

Muammoning o’rganilganlik darajasi. Infokommunikatsiya tarmoqlarini tadqiq qilishning samarali usullarini va turli ma’lumotlar oqimi xarakteristikalarini hisoblash va tarmoq tugunlarini o’rtacha ushlanib qolish vaqt mezonini bo’yicha optimal joylashtirishning model va algoritmlarini qurish tamoyillarini ishlab chiqish masalalariga Nguen Dik Tay, Y.F. Li, D.R. Miller, W. Ogryczak, M. Piyro, G.Sansavini, E. Zio, A. Capone, R. Atar, W.J. Dally, S. Pakin, A. Konak, P. Tseng, J. Stephen, K.C. Madan, G.P. Zaxarov, V.V. Loxmotko, G.G. Yanovskiy, I.Ya.Burnashev, N.V. Pershakov, K.E. Samuylov, A.E. Kucheryaviy, G.P.Basharin, A.I. Paramonov, Yu.P.L. Kleyntrook, G.F. Yanbix, B.A.Stolyarov, N.A. Sokolov, B.S. Goldshteyn, G.V. Chechin, K.E. Legkov va boshqa jahon olimlari katta hissa qo’shganlar.

Respublikamizda infokommunikatsiya tarmoqlari tugunlarini optimal joylashtirish mezon va algoritmlariga hamda har xil turdagi ma’lumotlar oqimlarining vaqt-ehтимolli xarakteristikalarini hisoblashning matematik modellarini ishlab chiqishga qaratilgan ilmiy ishlar M.N. Aripov, T.N.Nishanbayev, R.I. Isayev, M.M. Musayev, X.N. Zaynidinov va boshqa olimlarning ilmiy ishlarida o’rganilgan. Infokommunikatsiya tarmoqlarining vaqt-ehтимolli xarakteristikalarini hisoblashning matematik modellarini, strukturaviy parametrlarini hisoblash usullarini ishlab chiqish muammolari N.B.Usmanova, U.B.Amirsaidov, N.X.Gulto’rayev, R.P.Abduraxmanov, Yu.K.Kamalov, S.S.Parsiyev, Sh.Yu.Djabbarov va boshqa olimlarning ilmiy ishlarida keltirib o’tilgan.

¹ O’zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-son “Yangi O’zbekistonni taraqqiyot strategiyasi to’g’risida” gi farmoni.

Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, tizimli yondashuvga asoslangan infokommunikatsiya tarmog'i tugunlarining samaradorligini oshirish hamda kelib tushayotgan ma'lumotlar oqimlarini tugunlardagi yuklamalarini teng taqsimlashning model va algoritmlarini ishlab chiqish yetarli darajada o'rganilmagan. Ma'lumotlar oqimining turliligini, ishonchliligini va prioritetligini hisobga oluvchi jarayonlarni matematik apparatlar yordamida tahlil qilish zamonaviy talablar darajasida tadqiq etilmagan. Infokommunikatsiya tarmoq tugunlarini optimal joylashtirish mezonini hamda ma'lumotlarning o'rta kechikish vaqt parametrlari bo'yicha ilmiy izlanishlar va turli ma'lumotlar oqimlarining vaqt-ehtimolli xarakteristikalarini hisoblash algoritmlari yetarli darajada o'rganilmagan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari bilan bog'liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universitetining ilmiy tadqiqot ishlari rejasining 609715-EPP- 15 EPP —1-2019 -1 – UZ-EPPKA2-CBHE-JP “New study program in space systems and communications engineering – SPACECOM” 2019-2023), UZB-Ind-2021-94 Energy Efficient Communication and Data Flow in Smart City using CRN based IoT Framework (CRN-ga asoslangan IoT-dan foydalaniladigan “Aqlli shahar” tizimlarida energiya tejamkor aloqa va ma'lumotlar oqimi), FZ-20200930492 “Kletkali avtomatlar asosida katta hajmli ma'lumotlarni tahlil qilish va qayta ishlov berishning ilmiy asoslarini ishlab chiqish” mavzularidagi loyiha doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi infokommunikatsiya tarmoqlari samaradorligini oshirish imkonini beruvchi aloqa tugunlarini optimal joylashtirish mezonini va algoritmlarini ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

infokommunikatsiya tarmoq xarakteristikalarini hisoblashning matematik modelini ishlab chiqish;

infokommunikatsiya tarmoq tugunlarini optimal joylashtirish mezonini ishlab chiqish;

infokommunikatsiya tarmoq strukturasi optimallashtirish algoritmini ishlab chiqish;

infokommunikatsiya tarmoqlari ma'lumotlari oqimlari xarakteristikalarini hisoblash algoritmlarini ishlab chiqish;

Tadqiqot obyekti sifatida infokommunikatsiya tarmoqlari va har xil turdagi ma'lumotlar oqimlarini tadqiq qilish tizimlari hisoblanadi.

Tadqiqotning predmetini infokommunikatsiya tarmoqlarini tadqiq qilish modellari, jarayonlari va algoritmlari tashkil etadi.

Tadqiqot usullari. Tadqiqotlar jarayonida infokommunikatsiya tarmoqlarini tadqiq qilish nazariyasi va usullari, ommaviy xizmat ko'rsatish va ehtimollar nazariyasi hamda optimallashtirish usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

infokommunikatsiya tarmoqlar orqali uzatilayotgan nisbiy va absolyut prioritetli ma'lumotlar oqimlari parametrlarini hisoblash imkonini beruvchi,

$M_k/G_k/1/\infty$ turidagi ommaviy xizmat ko'rsatish tizimidan foydalangan holda, Laplas-Stiltes o'zgartiruvchi matapparat asosida matematik model ishlab chiqilgan;

ma'lumotlar oqimlarining ushlanib qolish vaqtini hisoblash formulasi asosida turli topologiyalarga ega bo'lgan infokommunikatsiya tarmoqlari kanallari o'tkazuvchanliklarini tanlash imkononi beruvchi tugunlarini optimal joylashtirish mezonini ishlab chiqilgan;

infokommunikatsiya tarmoq topologiyalarining geografik joylashuvini hisobga oluvchi, jarima funksiyasi usulidan foydalangan holda, keltirilgan umumtarmoq harajatlar mezonini asosida kam xarajatli strukturasi aniqlash imkonini beruvchi algoritmi ishlab chiqilgan;

har xil turdagi prioritetli ma'lumotlar oqimlarning tugunlarga o'z vaqtda yetib kelish hamda kechikish vaqtlarini va vaqt-ehtimolli parametrlarini hisobga oluvchi matematika modellari asosida hisoblash algoritmi yaratilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

ma'lumotlar oqimining ushlanib qolish vaqt mezonini asosida infokommunikatsiya tugunlarini optimal joylashtirish dasturiy hisoblash vositasi ishlab chiqilgan;

infokommunikatsiya tarmog'ida ma'lumotlar oqimining vaqt-ehtimolli xarakteristikalarini hisoblash dasturiy vositasi ishlab chiqilgan;

keltirilgan umumtarmoq xarajatlar mezonini bo'yicha infokommunikatsiya tarmog'i strukturasi optimallashtirish usullarini takomillashtiruvchi dasturiy vositasi ishlab chiqilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchligi. Tadqiqot natijalarining ishonchligi tadqiqot davomida infokommunikatsiya tarmoq tugunlarini optimal joylashtirish mezon va algoritmlarining hamda turli ma'lumotlar oqimlari xarakteristikalarini hisoblovchi ishlab chiqilgan matematik modellarning qat'iyiligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.

Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati infokommunikatsiya tarmoq tugunlarini ma'lumotlar oqimlarining o'rtacha ushlanib qolish vaqt mezonini asosida optimal joylashtirish mezon va algoritmlarini hamda ma'lumotlar oqimining turliligini, prioritetligini va ishonchligini hisobga oluvchi matematik modellarining ishlab chiqilganligi bilan izohlanadi.

Dissertatsiya ishi natijalarining amaliy ahamiyati ma'lumotlar oqimining ushlanib qolish vaqtini va infokommunikatsiya tarmog'i tugunlarini optimal joylashtirish mezonini va ma'lumotlar oqimining vaqt - ehtimolli xarakteristikalarini hisoblash dasturiy vositasi va umumtarmoq xarajatlar mezonini bo'yicha infokommunikatsiya tarmoq strukturasi optimallashtirish usullarini takomillashtiruvchi dasturiy vositasi ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. "Infokommunikatsiya tarmoq tugunlarini optimal joylashtirish model va algoritmlari" mavzusida olingan natijalar bo'yicha:

"UNICON.UZ" DUK ilmiy tadqiqot jarayonlariga ma'lumotlar oqimi xarakteristikalarini hisoblovchi matematik model hamda algoritmi tadbiq etildi. (O'zbekiston Respublikasi Raqamli texnologiyalar vazirligining 2023-yil 6-sentabr

33-8/6127-sonli ma'lumotnomasi). Natijada telekommunikatsiya tarmog'i holatini real vaqt davomida monitoring qilish mumkinligi aniqlangan.

telekommunikatsiya tarmoqlari kanallarining o'tkazuvchanlik qobiliyatini oshirish imkonini beruvchi infokommunikatsiya tarmoq tugunlarini optimal joylashtirish mezonini "BROSS TELEKOM" MChJ telekommunikatsiya tarmoqlarini loyihalashtirish jarayoniga tadbiiq etildi. (O'zbekiston Respublikasi Raqamli texnologiyalar vazirligining 2023-yil 6-sentabr 33-8/6127 -sonli ma'lumotnomasi). Natijada ma'lumotlarning tugunlarda ushlanib qolish vaqtini 1,3 ms gacha kamaytirishga erishilgan infokommunikatsiya tarmog'i strukturasi optimallashtirish modeli va algoritmi "O'zbektelekom" AK da amaliy tadbiiq etildi, natijada Kompaniya uchun ketadigan xarajatlarni 5-7 % gacha iqtisodiy samara berishi aniqlangan.

Tadqiqot natijalarining aprotatsiyasi. Tadqiqot natijalari 3 ta xalqaro, 2 ta respublika ilmiy-amaliy konferensiyalarda hamda ilmiy seminarlarda muhokama qilingan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 13 ta ilmiy ishlar, ulardan 6 ta maqola O'zbekiston Respublikasi OAK tavsiya etgan jumallarda, shu jumladan 4 ta respublika va 2 ta xorijiy miqyosidagi jurnallarda chop etilgan hamda 2 ta EHM uchun yaratilgan dasturiy vositalarni qayd qilish guvohnomalari olingan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya kirish, to'rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiya hajmi 106 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zaruriyati asoslangan, tadqiqotning O'zbekiston Respublikasi Fan va texnologiyalari taraqqiyotining ustuvor yo'nalishlariga mosligi ko'rsatilgan, ishning maqsad va vazifalari hamda tadqiqot obyekti va predmeti tavsiflangan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan, olingan natijalarning ishonchliligi asoslab berilgan, olingan natijalarning ilmiy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy qilish holati, nashr etilgan ishlar va dissertatsiya tuzilishi bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan.

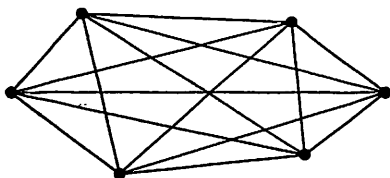
Dissertatsiyaning **"Infokommunikatsiya tarmoqlarini loyihalashtirish muammolari"** deb nomlangan birinchi bobida infokommunikatsiya tarmoq topologiyasi turlarining strukturaviy tuzilmalari keltirilgan va tarmoqni loyihalashtirishdagi asosiy ustuvorliklari aniqlangan: a) to'liq bog'langan struktura (to'liq bog'langan graf) - har qanday juft tugunlar o'rtasida to'g'ridan-to'g'ri bog'liqlik mavjud bo'lgan tizim; b) yulduzsimon shaklidagi struktura (yulduzsimon)- barcha tugunlarda qandaydir boshqaruv tugunlari bilan aloqa liniyalari mavjud bo'lgan tizim; v) uyali struktura (uyali)- mobil obyektlar bilan ulanuvchi tarmoqlar tizimlari; g) panjarali strukturasi (panjara-to'r) - aloqa liniyalari grafigi to'rtburchaklar (odatda ikki yoki uch o'lchovli) to'mi tashkil etadigan tizim. To'liq bog'langan strukturada grafining barcha uchlari "har biri har biri bilan"

tamoyiliga muvofiq bog‘langan. Ushbu tuzilishga ega tarmoqlar eng yuqori ishonchlik bilan ajralib turadi.

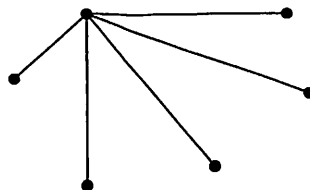
To‘liq bog‘langan strukturadan foydalanishga misol sifatida tranzit stansiyalardan foydalanmasdan qurilgan shahar telefon tarmog‘ini (ShTT) keltirsa bo‘ladi. “Yulduzsimon” strukturasi ega bo‘lgan tarmoqning cho‘qqilaridan biri markaziy hisoblanadi. Bunday topologiyali tarmoqning qirralarining umumiy uzunliklarining kichik qiymati bilan tavsiflanadi, ammo ishonchligi past.

Yulduzli struktura ko‘pincha qishloq telefon tarmoqlarini (QTT) qurishda qo‘llaniladi.

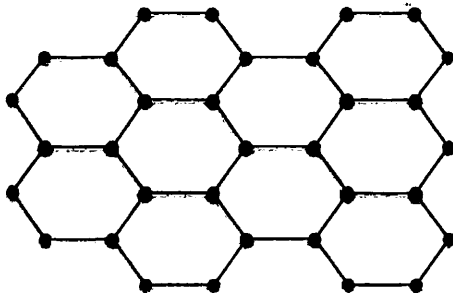
Uyali aloqa topologiyasi mobil obyektlar bilan zamonaviy aloqa tarmoqlarini yaratish tamoyillaridan ma‘lum. Quyida keltirilgan 1v,g-rasmda uyali va panjarali tuzilmalar transport tarmog‘ining mumkin bo‘lgan topologiyalarini tasvirlaydi. Ular juda ishonchli va to‘liq bog‘langan tuzilmalarga qaraganda ancha tejamkor.



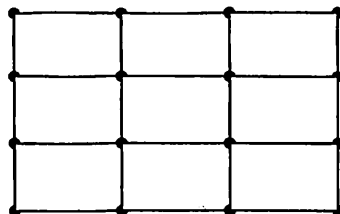
a) To‘liq bog‘langan struktura



b) Yulduzsimon struktura



v) Uyali struktura



g) Panjarali struktura

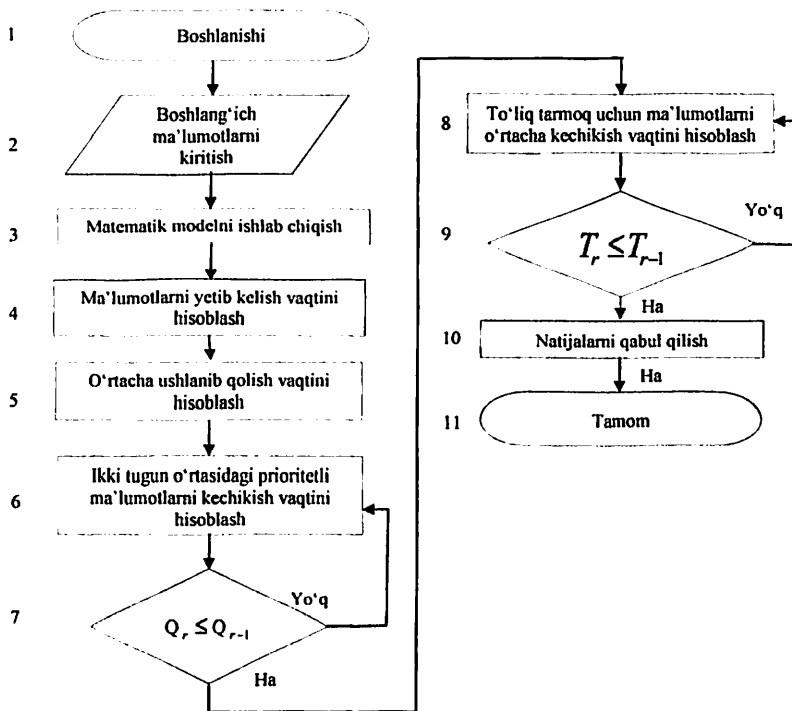
1-rasm. Infokommunikatsiya tarmoq topologiyalari

Dissertatsiyaning “Ma‘lumotlar oqimlari parametrlarini hisoblashning matematik modellari” deb nomlangan ikkinchi bobida infokommunikatsiya tarmoqlari orqali uzatilayotgan har xil turdagi ma‘lumotlar oqimlari parametrlarini hisoblashning matematik modeli ishlab chiqilgan. Tarmoq tugunlariga kelib tushayotgan har xil turdagi ma‘lumotlar oqimlarini tugunlar o‘rtasida tekis taqsimlash hamda parametrlarini hisoblashda asosiy mezonlardan biri o‘rtacha ushlanib vaqti hisoblanadi. Infokommunikatsiya tarmoqlari tugunlari yuklamalarini oshib ketmasligini oldini olish va tekis taqsimlash, natijada ma‘lumotlarning

o'rtacha ushlanib qolish vaqtini minimallashtirish ushbu bobning asosiy masalasi hisoblanadi. Ushbu bobda tarmoqning strukturaviy hamda ma'lumotlar oqimlari parametrlarini hisobga oluvchi matematik ifoda keltirilgan.

$$\bar{T} = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n (\gamma_i \cdot T_i) = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\gamma_i}{\mu_i - \gamma_i} \right), \quad (1)$$

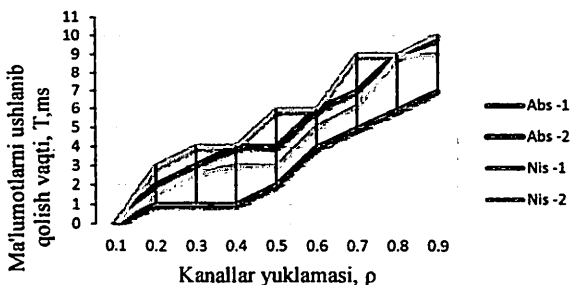
Formulada: λ - tugunga kelib tushayotgan ma'lumotlar intensivligi; γ_i - i tugunga kelib tushayotgan yuklamaning o'rtacha intensivligi; T_i - i tugundagi ma'lumotlarning ushlanib qolish vaqti; μ_i - i tugunning xizmat qilish intensivligi; n - tugunlar soni; m - kanallar soni. Ushbu matematik ifoda orqali ma'lumotlarning o'rtacha kechikish vaqtini hisoblash imkoni yaratildi.



2-rasm. Vaqt-ehtimolli xarakteristikalarini hisoblash algoritmi

Tarmoq tugunlari orqali uzatilayotgan har xil turdagi prioritetli ma'lumotlar oqimi xarakteristikalarini hisoblash algoritmi yordamida o'z vaqtida yetib borish ehtimolini hamda o'rtacha kechikish vaqtini hisoblash imkoni yaratildi va 3-rasmda keltirilgan grafik olindi.

Infokommunikatsiya tarmoqlarida tugunlarda yuklamalarni tekis taqsimlash hamda ushlanib qolish vaqtini kamaytirish maqsadida prioritetli tizmdan, ya'ni ma'lumotlar oqimlari parametrlarini to'liq tahlil qilish uchun absolyut va nisbiy prioritetlar tizimidan foydalanilgan. Absolyut prioritet tizmidagi tugundagi ma'lumotlarga xizmat ko'rsatilayotgan vaqtda shoshilich ma'lumotlar kelib qolsa xizmat ko'rsatish to'xtatiladi va shoshilich ma'lumotlarga xizmat ko'rsatiladi. Nisbiy prioritetli tizimda esa tugunlardagi ma'lumotlarga xizmat ko'rsatish shoshilich ma'lumotlar kelib qolganda ham to'xtatilmaydi. Tugunlardagi ma'lumotlarga xizmat ko'rsatish to'liq tugatilgandan keyin davom ettiriladi. Dissertatsiya ishida absolyut va nisbiy prioritetli tizimlar orqali ma'lumotlarga xizmat ko'rsatish tadqiqi qilingan va olingan natijalar 3-rasmda keltirilgan.



3-rasm. Absolyut va nisbiy prioritetli tizimlarda o'rtacha ushlanib qolish vaqtining kanallar yuklamasiga bog'liqlik grafi

Ma'lumotlar oqimlariga qo'yiladigan prioritetlar soni kelib tushayotgan har xil turdagi axborotlar majmuasiga bog'liq bo'ladi. Agar kelib tushayotgan ma'lumotlar oqimlari bir xil prioritetga ega bo'lsa kelib tushish ketma-ketligi bo'yicha xizmat qilinadilar. Prioritet tizimida ma'lumotlarning kechikish vaqtlarining qiymatlari tugunlarning joylashuviga hamda oxirlash qurilmalariga, serverlarga va boshqa uskunalar turlariga bog'liq bo'ladi.

Yuqoridagi rasmdan shunday xulosa qilsak bo'ladiki, absolyut prioritet nisbiy prioritetga qaraganda ancha ustuvor ekanligi aniqlandi va ushlanib qolish vaqtining kam bo'lgan qiymatini ta'minlab berdi, ya'ni absolyut prioritet 1 nisbiy prioritet 2 ga nisbatan 2 ms teng bo'lgan ushlanib qolish vaqtini, absolyut 2 esa nisbiy prioritetga nisbatan 1 ms ga teng bo'lgan vaqtni ta'minlab berdi.

Dissertatsiyaning "Infokommunikatsiya tarmoq strukturasi optimallashtirish modellari" nomli uchinchi bobida infokommunikatsiya tarmog'ining optimal strukturasi aniqlash masalasi ko'rib chiqilgan. Infokommunikatsiya tarmog'ining optimal strukturasi topishda texnik-iqtisodiy ko'rsatgichlari asosiy o'rin egallaydi. Bu masalani yechishda tarmoq strukturasi optimallashtirishning uchta, ya'ni "Jarima funksiyasi", "Koordinata bo'yicha tushish" va "Gradyent" usullaridan foydalanilgan hamda optimallashtirish mezonlari tanlanadi va vaqt-ehtimollik xarakteristikalariga chegirmalar qo'yiladi. Bu usullar

takomillashtirilgan, natijada “Jarima funksiyasi” usuli boshqa usullarga nisbatan samarali ekanligi isbotlangan. Ma’lumotlarni kechikish vaqti berilgan qiymatdan oshib ketmagan xolda belgilangan mezon miminallashtiriladi. Infokommunikatsiya tarmoqlarining optimal topologic strukturasi aniqlashda mezon sifatida umutarmoq uchun ketadigan xarajatlar nanlangan. Infokommunikatsiya tarmoq topologiyalarining kam xarajatli strukturasi aniqlash uchun quyidagi X vektorning parametrlari minimallashtiriladi, ya’ni:

$$P(X) \longrightarrow \min \quad (2)$$

$$X = [R, W_r, W_{r-1,r}, n_{ir}, m_{jr}, m_{jr-1,r}], \quad (3)$$

bu yerda, R – tarmoqning pog‘onalar soni, W_r - tarmoq topologiyasi, $r=1, R$, n_{ir} - r- pog‘onada joylashgan i- tarkibli kommutatsiya tugunlari soni, m_{jr} - j- tarkibli, r- pog‘onada joylashgan aloqa kanallari soni, $m_{jr-1,r}$ - r-1-, r- indeksli, j- tarkibli pog‘onalar orasidagi kanallar soni.

Umumtarmoq harjatlar miqdori (2) quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$P(X) = \sum_{r=2}^R [E_H \sum_{i=1}^r \omega_{ir} * c_i^y * n_{ir} + \sum_{j=1}^r \omega_{jr} * c_j^k * m_{jr} + \sum_{j=1}^r \omega_{jr-1,r} * c_j^k * m_{jr-1,r}], \quad (4)$$

$$\text{Bu yerda: } W_{ir} = W_{jr,r} = W_{jr-1,r} = \begin{cases} 1, \text{ agar } I(j) \in r \\ 0, \text{ aks holda} \end{cases}$$

C_i – i – turdagi kommutatsiya tugunlar bahosi; C_j – j – turdagi kabel va aloqa liniyalari bahosi; n_{ir} – i – turdagi, r – pog‘onadagi, tugunlar soni; m_{jr} , $m_{jr-1,r}$ - j- turdagi tarmoq osti va pog‘onalar orasidagi kanallar soni. E_H - kapital mablag‘larning iqtisodiy me’yoriy samaradorlik koeffitsiyenti; I - bir-biridan quyidagi narxni belgilovchi funksiyalar bilan farq qiluvchi konsentratorlar va paketlarni kommutatsiya qilish markazlari soni. $C_j^k \{V_j, l_j\}$ – kanallar narxini aniqlovchi funksiya.

Yuqoridagi (4) formuladagi birinchi qo‘shiluvchi tugun qurilmalari uchun ketadigan kapital xarajatlarni ifodalaydi, ikkinchi va uchinchi qo‘shiluvchilar, mos holda, ichki (local) va pog‘onalar osti tarmoqlarning aloqa liniyalari qurilmalari uchun sarflanadigan kapital xarajatlarni, oxirgi qo‘shiluvchi esa ekspluatatsiya uchun sarflanadigan xarajatlarni ifodalaydi.

Infokommunikatsiya tarmoqlarining har xil topologik strukturaviy tuzilishlaridan kelib chiqqan xolda umumtarmoq xarajatlar miqdori (funksiya 4) tarmoqning bir nechta parametrlarini o‘z ichiga oladi. Tarmoqning kam xarajatli topologik strukturasi aniqlash funksiyasi tugunlarning geografik joylashuvini va sonini, tarmoqning pog‘onalari sonini, kanallar sonini, ma’lumotlar intensivligini va tezligini hamda kanallarining o‘tkazuvchanlik qobiliyatini va tarmoq tugunlarining samaradorligini olish imkonini beradi.

Infokommunikatsiya tarmoqlari strukturalarning kam xarajatli variantini aniqlashda jarima funksiyasi usulidan foydalanamiz. Ushbu usulning samarali ekanligi shundan iboratki, $P(X)$ funktsiyani minimallashtirish masalasini yechishda chegirmalar funksiyasining, ya'ni ma'lumotlarning kechikish vaqti, nohiziqli, chiziqli, yassi yoki yassi bo'lmashligi asosiy ahamiyatga ega bo'lmaydi. Bundan tashqari, jarima funksiyasi usulida boshlang'ich nuqtaning ruxsat etilgan sohada bo'lishi talab etilmaydi. Jarima funksiyasi usuli orqali yechiladigan masalaning soddalashuvi, chegirmalar funksiyasini va umumlashtirilgan maqsadli funktsiyaning $F(X, h)$ boshlang'ich maqsadli funktsiya bilan almashtirilishi va shu orqali ushbu funktsiyaning yechimi topiladi:

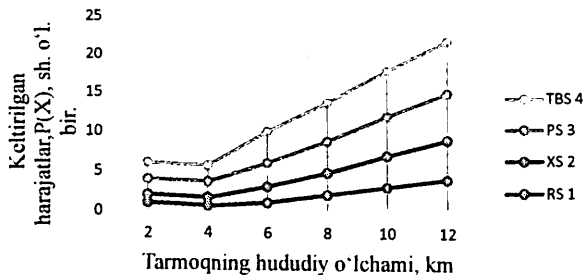
$$F(X, h) = P(X) + R(h)\Psi(X) \rightarrow \min \quad (5)$$

bu yerda, $\Psi(X)$ – «X» vektor funktsiyasi, $\Psi(X) = 0$ agar chegirmalar talabi bajarilsa (qidirilayotgan nuqta ruxsat etilgan sohada yoki uning chegarasida joylashsa), va $\Psi(X) \neq 0$ – teskari holatida, $R(h)$ – h o'zgaruvchining monoton ravishda o'suvchi funktsiya. $F(X, h)$ funktsiyaning qiymati $P(X)$ funktsiya qiymati bilan ruxsat etilgan sohada mos kelsa qabul qilinadi, agar ruxsat etilmagan oblastga mos kelsa, u holda $R(h)\Psi(X)$ jarima funktsiyasi bilan aniqlanadi. Bu funktsiyaning qiymati X nuqtaning ruxsat etilgan sohadan uzoqlashishi bilan oshib boradi. Infokommunikatsiya tarmog'i strukturasini optimallashtirish masalasini yechishda qabul qilingan jarima funktsiyasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$F(X, h) = P(X) + \frac{h}{2} \sum_{i=1}^{m_s} \left\{ \left[\varphi_i(X) + \frac{\lambda_i}{h} \right]^2 \right\} \quad (6)$$

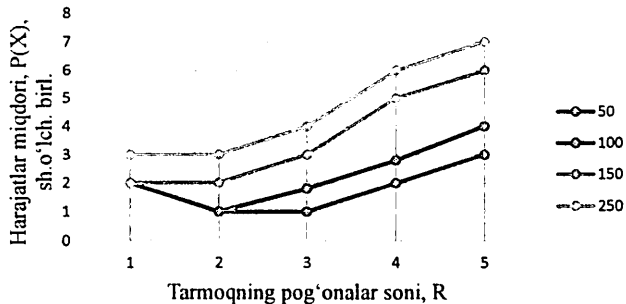
bu yerda, m_s - chegirmalar soni; h, λ_i - $h > 0, \lambda_i > 0$ algoritmlar parametrlari, $i = \overline{1, m_s}$ [\bullet] - $\Psi(X)$ funktsiyasi; $\varphi_i(X)$ - chegirmalar funktsiyasi.

Keltirilgan umumtarmoq xarajatlar mezoni asosida infokommunikatsiya tarmoqlarining kam xarajatli topologik strukturasini (4) funktsiyani yechish orqali amalga oshirildi va quyidagi natijalar olindi (4- va 5-rasmlar).



4-rasm. Keltirilgan xarajatlarning tarmoq qurilmalarining geografik joylashuviga bog'liqlik grafigi

Yuqoridagi 4-rasmda 2 kilometrdan 12 kilometr o'lchamda joylashgan har xil topologik strukturaviy tarmoqlarning umumtarmoq xarajatlar qiymatiga $P(X)$ bog'liqlik grafiqi keltirilgan. Grafikdan ko'rinib turibdiki, xarajatlar miqdori 2-4 kilometr masofa ichida joylashgan tarmoqlar uchun o'zgarmaydi, chunki asosiy xarajatlar miqdorini tugunlarning tan narxlarini tashkil etadi, ularning soni esa tarmoqning geografik o'lchamiga bog'liq emas, ular faqat tarmoq sig'imi orqali aniqlanadi. Tarmoqning geografik o'lchami ortib borgan sari xarajatlar miqdori ham ortib boradi. Bu holat tarmoq uchun ketadigan aloqa kabellari va zichlashtiruvchi qurilmalar hisobiga ortib borishini bildiradi. Olib borilgan tadqiqotlar natijasida, har xil topologik strukturalar ichida radial topologiyali tarmoq kam xarajatli tarmoq sifatida aniqlangan (5-rasm).



5-rasm. Infokommunikatsiya tarmog'i xarajatlar miqdorining pog'onalar soni bilan bog'liqlik grafiqi

Infokommunikatsiya tarmoqlari har xil topologik strukturalar (RS - radial struktura, XS - xalqasimon struktura, PS - panjarali struktura, TBS - to'liq bog'langan struktura) asosida quriladi. Ushbu tarmoqlar iyerarxik tamoyillar asosida qurilgan bo'ladi. Hozirgi vaqtda barcha infokommunikatsiya tarmoqlari 2-5 iyerarxiyadan tashkil topgan strukturaga ega. Tugunlar soni 50 tadan 250 tagacha bo'lgan holda iqtisodiy ko'rsatkichlar bo'yicha 2 va 3 pog'onali tarmoqlar 4 va 5 pog'onali tarmoqlarga nisbatan kam xarajatli ekanligi aniqlangan. Bu natijalar o'z o'rnida 2 va 3 iyerarxik strukturali tarmoqlarni loyihalash tavsiya etilishiga imkon yaratadi.

Dissertatsiyaning "Infokommunikatsiya tarmoqlarini tadqiq qilish algoritmi" deb nomlangan to'rtinchi bobida har xil turdagi topologik strukturalarga ega bo'lgan infokommunikatsiya tarmoqlarini optimallashtirish algoritmi hamda infokommunikatsiya tarmoq tugunlarini optimal joylashtirish mezonini ishlab chiqilgan. Ishlab chiqilgan algoritm parametrlarini o'zgartirish orqali boshqa topologik strukturali tarmoqlarning xarakteristikalarini hisoblash hamda katta geografik o'lchamli infokommunikatsiya tarmoqlarini umumtarmoq xarajatlar mezonini bo'yicha kam xarajatli strukturasi aniqlash imkonini beradi (6-rasm).

Infokommunikatsiya tarmoq tugunlari raqamli kanallar (kommutatsiya) orqali kiruvchi ma'lumotlar oqimlarini boshqarish uchun qurilma sifatida ishlatiladi.

Tarmoq tugunlari 3968 tagacha raqamli kanallarni (128 tagacha E1 oqimlari) to'liq kommutatsiya qilish imkonini beruvchi yagona intellektual platformada qurilgan va univerval kommutatsiya tugunlari tarmog'ini dasturiy ta'minoti to'plamiga ega bo'ladi. Odatda infokommunikatsiya tarmoq tugunlari boshqa tarmoqlar bilan aloqa qilish uchun E1 (G.703) interfeyslaridan, shuningdek, bir qator boshqa qurilmalaridan iborat tizimning kirish qatlamini ulash uchun ishlatiladi. Ma'lumotlar oqimlarining hamda tugunlarga kelib tushayotgan yuklamalar intensivligining keskin oshib borishi ularni tekis taqsimlash usullarini takomillashtirishga majbur qiladi. Bu esa tarmoq tugunlarini optimal ravishda joylashtirish muammosini yechishga to'g'ri keladi. Shu nuqtai nazardan infokommunikatsiya tarmoqlarida tugunlarni optimal ravishda taqsimlash masalasi muhim masala hisoblanadi.

Infokommunikatsiya tarmoqlariga ma'lum bir vaqt intervalida i tugunga kelib tushayotgan yuklamaning o'rtacha intensivligi quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$\gamma_i = \lambda_i - \sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot x_{ij} + \sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot x_{ji}. \quad (7)$$

Ushbu formulada birinchi qo'shiluvchi i tugun orqali boshqa tugunlarga yo'naltirilgan xizmat qilinmagan yuklamalar yig'indisini aniqlaydi, oxirgi qo'shiluvchi esa boshqa tugunlardan kelib tushgan yuklamalar yig'indisini aniqlaydi. Yuqorida keltirilgan formulada (7) n – tugunlar soni, λ_i – i tugunga kelib tushayotgan ma'lumotlar oqimi intensivligi, λ_j – j tugunga kelib tushayotgan ma'lumotlar oqimi intensivligi, x_{ij} – i tugundan j tugunga λ_i intensivlikda kelib tushayotgan ma'lumotlar oqimining bir qismi, x_{ji} – j tugundan i tugunga λ_j intensivlikda kelib tushayotgan ma'lumotlar oqimining bir qismi.

Tarmoq tugunlarining har birini ommaviy xizmat qilish tizimining M/M/1 modeli sifatida qaralsa, u holda tugunlararo yuklamalarni tekis taqsimlash uchun ma'lumotlar oqimini tanlash o'rtacha ushlanib qolish vaqtini minimallashtirish formulasi orqali amalga oshirish mumkin bo'ladi:

$$\bar{T} = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n (\gamma_i \cdot T_i) = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\gamma_i}{\mu_i - \gamma_i} \right). \quad (8)$$

bu yerda, λ – tugunga kelib tushayotgan ma'lumotlar intensivligi; γ_i – i tugunga kelib tushayotgan yuklamaning o'rtacha intensivligi; T_i – i tugundagi ma'lumotlarning ushlanib qolish vaqti; μ_i – i tugunning xizmat qilish intensivligi; n – tugunlar soni. Ma'lumotlarning o'rtacha ushlanib qolish vaqtini minimallashtirish va (8) chegirmalarni e'tiborga olgan holda infokommunikatsiya tarmoq tugunlarini tarmoq bo'yicha optimal joylashtirish imkonini yaratiladi va quyidagi ifoda orqali hisoblanadi:

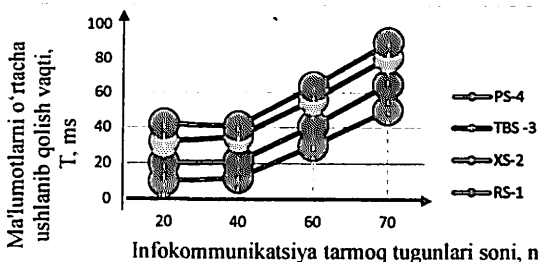
$$\bar{T} = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (w_{ij} \cdot \frac{f_{ij}}{\mu_{ij} - f_{ij}} + w_{ji} \cdot f_{ji} \cdot T_{ij}) \longrightarrow \min, \quad (9)$$

$$f_{ij} \geq 0, \sum_{i=1}^n f_{ij} \leq \mu_j, \sum_{j=1}^m f_{ij} = I_i. \quad (10)$$

bu yerda, m - qabul qiluvchi tugunlar soni; w_1, w_2 - har bir mezon uchun og'irlik koeffitsiyentlari, odatda $w_2 = 1 - w_1$; $T_{ij} - i$ va j - tugunlardagi ma'lumotlarning ushlanib qolish vaqti; $f_{ij} - i$ tugundan j tugunga yuborilayotgan ma'lumotlar intensivligi. Ushbu holatda yuklamalar tugunlarga prioritetsez ma'lumotlar oqimi sifatida kelib tushayapti deb qaraladi. Tugunlarni optimal joylashtirish masalasini yechish uchun (8) chi mezonni takomillashtiramiz. i tugunda ma'lumotlarga xizmat qilish narxini belgilovchi Z_i o'zgaruvchini kiritiladi. Z_i o'zgaruvchi i tugunning qo'shilganligini yoki ijara uchun ketadigan xarajatlar miqdorini aniqlaydi. (9) mezonga tugunlarda ma'lumotlarga xizmat qilish narxini qo'shamiz va quyidagi formula olinadi:

$$\bar{T} = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (w_1 \cdot \frac{f_{ij}}{\mu_i - f_{ij}} + w_2 \cdot f_{ij} \cdot T_{ij} + w_3 \cdot f_{ij} \cdot Z_j) \rightarrow \min, \quad (11)$$

Infokommunikatsiya tarmoqlarida har xil topologik strukturalarda ma'lumotlarning o'rtacha ushlanib qolishi vaqt mezonni asosida tugunlarni tarmoq bo'yicha optimal joylashtirish masalasi yechilgan, olingan natijalar har hil turdagi topologik strukturalar (RS-radial struktura, XS-xalqasimon struktura, PS-panjarali struktura, TBS-to'liq bog'langan struktura) uchun taalluqli hisoblanadi (6-rasm).

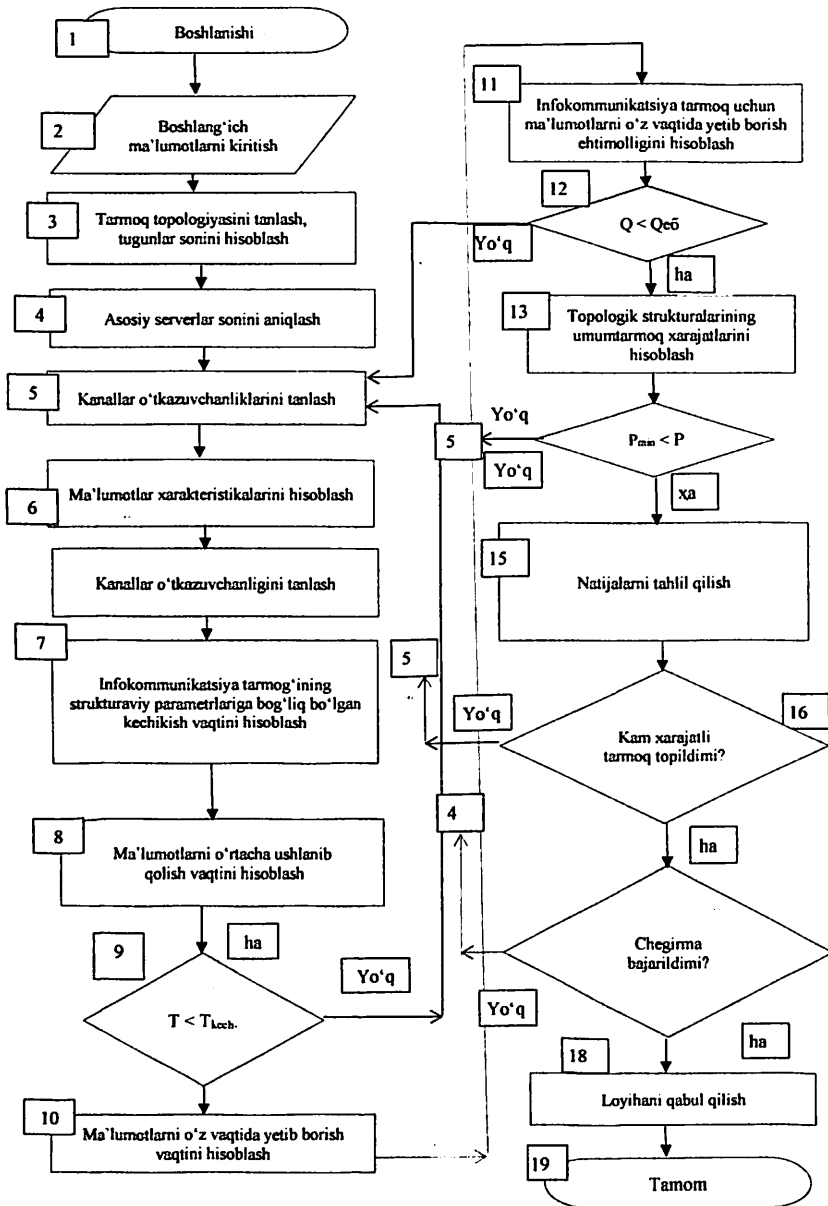


6-rasm. Infokommunikatsiya tarmoq tugunlarini optimal joylashtirish grafigi

Infokommunikatsiya tarmoq tugunlarini optimal joylashtirish grafigi 7-rasmda keltirilgan. Olingan natijalardan ko'rinib turibdiki, tarmoq topologik strukturalarining (RS,XS,TBS,PS) har xil bo'lishiga qaramay, tugunlar soni 20 tadan 40 tagacha bo'lganda ma'lumotlarning o'rtacha ushlanib qolish vaqti o'zgarmas bo'lib turadi. Tugunlar soni 40 tadan oshgandan keyin ma'lumotlarning o'rtacha ushlanib qolish vaqti oshib boradi. Tugunlar soni 70 ta bo'lganda ma'lumotlarning o'rtacha ushlanib qolish vaqti maksimal qiymatga erishadi. Demak, kanallarning o'tkazuvchanlik qobiliyati infokommunikatsiya tarmoqlaridagi tugunlar soniga bog'liq ekanligi aniqlangan. Tugunlar soni 20 tadan 70 tagacha bo'lganda ma'lumotlarning o'rtacha ushlanib qolish vaqtida eng kam qiymati radial strukturali infokommunikatsiya tarmoqida erishilgan (10, 12, 22, 41 ms).

TO'SHUVCHI QILISH VAQTIDAGI
TEKNOLOGIYALARI UNIVERSITETI

INFORMATSION RESURS MARKAZI



7-rasm. Infokommunikatsiya tarmoqlarining optimal strukturasi aniqlash algoritmi

Qolgan topologik strukturalarda ma'lumotlarning o'rtacha ushlanib qolish vaqti ancha katta qiymatlarga teng bo'lganligi aniqlandi.

Har xil topologik strukturalarga ega bo'lgan infokommunikatsiya tarmoqlarini to'liq tahlil qilish, kam xarajatli tarmoq strukturasi aniqlash, shu bilan tarmoqning barcha parametrlarini hisobga olish imkonini beruvchi optimallashtirish algoritmi ishlab chiqildi. Ishlab chiqilgan optimallashtirish algoritmi bir necha bosqichdan iborat bo'lib, nafaqat tarmoqning strukturaviy parametrlarini, balki tarmoq orqali uzatilayotgan ma'lumotlar oqimlari xarakteristikalarini hisoblash hamda keltirilgan xarajatlar mezonini asosida infokommunikatsiya tarmog'ining optimal strukturasi aniqlash imkonini berdi (7-rasm).

XULOSA

“Infokommunikatsiya tarmoq tugunlarini optimal joylashtirish model va algoritmlari” mavzusidagi falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar natijasida quyidagi xulosalar taqdim etiladi:

1. Infokommunikatsiya tarmoqlarining iyerarxik tamoyillar asosida qurish va loyihalashtirish iqtisodiy jihatdan samarador ekanliklari aniqlandi. Ushbu tarmoqlarda traktlarning (kanallar) bir necha bor ulanishlari hisobiga kanallarining o'tkazuvchanliklari oshishi aniqlandi.

2. Laplas-Stiltes matematik apparati asosida infokommunikatsiya tarmoqlar orqali uzatilayotgan ma'lumotlar oqimi parametrlarini hisoblovchi matematik model ishlab chiqilgan.

3. Infokommunikatsiya tarmoq tugunlarini optimal joylashtirish imkonini beruvchi, ma'lumotlarni o'rtacha ushlanib qolish vaqti asosida mezon ishlab chiqilgan.

4. Infokommunikatsiya tarmoq topologiyalarining kam xarajatli strukturasi aniqlash imkonini beruvchi va har xil turdagi ma'lumotlar oqimlari vaqt-ehtimolli xarakteristikalarini hisoblash algoritmlari yaratilgan.

5. Infokommunikatsiya tarmog'ining optimal strukturasi aniqlashda tarmoq strukturasi optimallashtirishning 3 ta, ya'ni “Jarima funksiyasi”, “Kordinata bo'yicha tushish” va “Gradiyent” usullaridan foydalanilgan hamda bu usullar takomillashtirilgan, natijada “Jarima funksiyasi” usuli boshqa usullarga nisbatan samarali ekanligi isbotlangan.

6. “UNICON.UZ” DUK ilmiy tadqiqot jarayonlariga ma'lumotlar oqimi xarakteristikalarini hisoblovchi matematik model hamda algoritmi tatbiq etildi. (O'zbekiston Respublikasi Raqamli texnologiyalar vazirligining 2023-yil 6-sentabr 33-8/6127-sonli ma'lumotnomasi). Natijada telekommunikatsiya tarmog'i holatini real vaqt davomida monitoring qilish mumkinligi aniqlandi

7. Telekommunikatsiya tarmoqlari kanallarining o'tkazuvchanlik qobiliyatini oshirish imkonini beruvchi infokommunikatsiya tarmoq tugunlarini optimal joylashtirish mezonini “BROSS TELEKOM” MChJ telekommunikatsiya tarmoqlarini loyihalashtirish jarayoniga tatbiq etildi. O'zbekiston Respublikasi Raqamli texnologiyalar vazirligining 2023-yil 6-sentabr 33-8/6127-sonli ma'lumotnomasi). Natijada ma'lumotlarning tugunlarda ushlanib qolish vaqtini 1,3 ms gacha kamaytirishga erishildi.

8. Infokommunikatsiya tarmog'i strukturasi optimallashtirish modeli va algoritmi "O'zbektelekom" AK da amaliy tatbiq etildi. (O'zbekiston Respublikasi Raqamli texnologiyalar vazirligining 2023-yil 6-sentabr 33-8/6127 -sonli ma'lumotnomasi). Natijada Kompaniya uchun ketadigan xarajatlarni 5% dan 7% gacha iqtisodiy samara berishi aniqlandi.

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

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

БАДАЛОВ ЖАСУР ИСМАИЛОВИЧ

**МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМЫ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ УЗЛОВ
ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ**

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

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

Ташкент - 2024

Тема докторский (PhD) диссертации зарегистрирована Высшей аттестационной комиссией при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за № В2023.З.РhD/Г3935.

Диссертация выполнена в Ташкентском университете информационных технологий. Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице (www.tuit.uz) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziyounet.uz)

Научный консультант: Парсиев Сайдинахат Солиходжаевич
доктор технических наук, доцент

Официальные оппоненты: Амрсаидов Улугбек Бобурович
доктор технических наук, доцент
Ярмухамедов Алишер Агбарович
кандидат технических наук, доцент

Ведущая организация: Военный институт информационно-коммуникационных технологий и связи
Министерства обороны Республики Узбекистан

Защита диссертации состоится «25» 04 2024 г. в 11:30 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; e-mail: info@tuit.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского университета информационных технологий (регистрационный номер № 286). (Адрес: 100084, г.Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-65-44).

Автореферат диссертации разослан «05» 04 2024 года.
(протокол рассылки № 7 от «5» 04 2024 г.).



Б.Ш. Махкамов
Член-корреспондент научного совета по присуждению учёных степеней, доктор экономических наук, профессор

М.С. Санткамалов
Ученый секретарь научного совета по присуждению учёных 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 ведутся научно-исследовательские работы, направленные на разработку эффективных методов, моделей и алгоритмов исследования инфокоммуникационных сетей в связи с внедрением в мире волоконно-оптических линий связи и цифрового телевидения, интернета вещей, электронной почты, цифровых систем передачи данных. В частности, большое внимание уделяется разработке математической модели, рассчитывающей параметры относительных и абсолютных приоритетных потоков данных, передаваемых по инфокоммуникационным сетям, разработке критериев оптимального размещения узлов, позволяющих выбирать полосы пропускания каналов информационных сетей связи с различной топологией. Кроме того, учитывается географическое расположение топологий инфокоммуникационных сетей, используя метод штрафных функций, определяя малозатратную структуру на основе общего стоимостного критерия, а также учитывая своевременное поступление к узлам различных типов приоритетных потоков данных и создание алгоритмов вычислений на основе математических моделей, учитывающих время-вероятностные параметры, являются актуальными проблемами.

В мире ведутся научно-исследовательские работы, направленные на разработку алгоритмов оптимизации структуры инфокоммуникационных сетей, алгоритмов вычисления вероятностно-временных характеристик потоков приоритетных данных и оптимального размещения потоков данных по критерию средней задержки. Вместе с тем, актуальной проблемой является разработка методов построения инфокоммуникационных сетей, повышения пропускной способности каналов, а также средств программного вычисления и критериев оптимального размещения узлов инфокоммуникационных сетей. Значимость приобретают вопросы разработки методов повышения эффективности инфокоммуникационных сетей, алгоритмов оптимизации, алгоритмов и критериев оптимального размещения узлов сетей по критерию средней задержки потоков данных. В этом плане в развитых странах мира, в частности, в США, Канаде, Германии, Южной Корее, Китае, Индии и Российской Федерации и других странах, значимость приобретают вопросы разработки моделей и алгоритмов оптимального размещения узлов инфокоммуникационных сетей по критерию средней задержки потоков информации.

В Республике также осуществляются меры, направленные на разработку алгоритма вычисления вероятностно-временных характеристик с учетом видов, приоритетности, надежности потоков данных и алгоритмов оптимального размещения узлов инфокоммуникационных сетей по критерию средней задержки. В Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы определены, в частности, такие задачи как «... внедрение информационно-коммуникационных технологий в экономику, социальную сферу, систему управления, оказание государственных услуг и повышение

возможностей по их использованию населением и субъектами предпринимательства»¹. При реализации данных задач одним из значимых вопросов является разработка алгоритма вычисления вероятностно-временных характеристик с учетом видов, приоритетности, надежности потоков данных и алгоритмов оптимального размещения узлов инфокоммуникационных сетей по критерию средней задержки.

Данное диссертационное исследование в определённой степени служит реализации задач, предусмотренных Указом Президента Республики Узбекистан от 5 октября 2020 года №УП-6079 «Об утверждении Стратегии «Цифровой Узбекистан-2030» и мерах по ее эффективной реализации», Постановлением Президента Республики Узбекистан от 22 мая 2019 года №П-4329 «О мерах по ускорению развития телекоммуникационной инфраструктуры в населенных пунктах Республики Узбекистан», Обращением Президента Республики к парламенту и народу Узбекистана от 20 декабря 2022 года и другими нормативно-правовыми документами, касающимися данной сферы.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики IV. «Информатизация и развитие информационно-коммуникационных технологий».

Степень изученности проблемы. Большой вклад в развитие вопросов разработки методов эффективного исследования инфокоммуникационных сетей, моделей и алгоритмов вычисления характеристик различных потоков данных, оптимального размещения узлов сетей по критерию средней задержки внесли такие ученые мира как Nguen Dik Tay, Y.F. Li, D.R. Miller, W. Ogryczak, M. Piyro, G. Sansavini, E. Zio, A. Capone, R. Atar, W.J. Dally, Scott Pakin, Abdullah Konak, P. Tseng, J. Stephen, K.C. Madan, Г.П. Захаров, В.В. Лохмотко, Г.Г. Яновский, И.Я. Бурнашев, Н. В. Першаков, К.Е. Самуйлов, А.Е. Кучерявый, Г.П. Башарин, А.И. Парамонов, Ю.П.Л. Клейнрок, Г.Ф. Янбых, Б.А. Столяров, Н.А. Соколов, Б. С. Гольдштейн, Г.В. Чечин, К.Е. Легков и др.

В Республике вопросы разработки алгоритмов и критериев оптимального размещения узлов инфокоммуникационных сетей, математических моделей вероятностно-временных характеристик потоков различных данных нашли отражение в научных работах М.Н.Арипова, Т.Н.Нишанбаева, Р.И.Исаева, М.М.Мусаева, Х.Н.Зайнидинова и других ученых. Проблемы разработки методов вычисления структурных параметров, математических моделей вероятностно-временных характеристик телекоммуникационных сетей рассмотрены такими учеными как Н.Б.Усманова, У.Б.Амирсаидов, Н.Х.Гултураев, Р.П.Абдурахманов, Ю.К.Камалов, С.С.Парсиев, Ш.Ю.Джаббаров и др.

¹ Указ Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года №УП-60 «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы»

Исследования показали, что в недостаточной степени изучены вопросы разработки моделей и алгоритмов повышения эффективности узлов инфокоммуникационных сетей на основе системного подхода и равномерного распределения нагрузки в узлах при передаче потоков данных. Не исследованы процессы, учитывающие виды, надежность и приоритетность потоков данных на уровне современных требований при анализе с помощью математического аппарата. Недостаточно научных изысканий по критерию оптимального размещения узлов инфокоммуникационных сетей и временным параметрам средней задержки данных и недостаточно изучены алгоритмы вычисления вероятностно-временных характеристик потоков различных данных.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планом научно-исследовательских работ Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий в рамках проектов 609715-EPP- 15 EPP-1-2019-1 – UZ-EPPKA2-CBHE-JP “New study program in space systems and communications engineering – SPACECOM” 2019-2023), UZB-Ind-2021-94 Energy Efficient Communication and Data Flow in Smart City using CRN based IoT Framework (Энергосберегающие связь и поток данных в системах «Умный город» с использованием IoT на основе CRN, FZ-20200930492 «Разработка научных основ анализа и обработки больших массивов данных на основе клеточных автоматов».

Целью исследования является разработка критериев и алгоритмов оптимального размещения узлов связи, позволяющих повысить эффективность инфокоммуникационных сетей.

Задачи исследования:

разработка математической модели вычисления характеристик инфокоммуникационных сетей;

разработка критериев оптимального размещения узлов инфокоммуникационных сетей;

разработка алгоритма оптимизации структуры инфокоммуникационных сетей;

разработка алгоритмов вычисления характеристик потоков данных инфокоммуникационных сетей.

Объектом исследования является системы исследования потоков различных данных и инфокоммуникационных сетей

Предмет исследования – модели, процессы и алгоритмы исследования инфокоммуникационных сетей.

Методы исследования. В ходе исследования использованы теория и методы исследования инфокоммуникационных сетей, теория вероятностей и массового обслуживания, и методы оптимизации.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработана математическая модель, на основе математического аппарата преобразования Лапласа-Стилтеса, с использованием системы

массового обслуживания типа $Mk/Gk/1/\infty$, которая позволяет рассчитывать параметры относительных и абсолютных приоритетных потоков данных, передаваемых по инфокоммуникационным сетям;

на основе формулы расчета времени задержки потоков данных разработан критерий оптимального размещения узлов, позволяющий осуществлять выбор пропускной способности каналов инфокоммуникационных сетей с различной топологией;

разработан алгоритм, учитывающий географическое расположение топологий инфокоммуникационных сетей, с использованием метода штрафной функции, что позволяет определить малозатратную структуру на основе приведенных общесетевых стоимостных критериев;

создан алгоритм расчета на основе математических моделей, учитывающих времена своевременного поступления и задержки, а также вероятностно-временные параметры различных типов приоритетных потоков данных.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработано программное средство вычисления оптимального размещения узлов инфокоммуникационных сетей на основе критерия задержки потоков данных;

разработано программное средство вычисления вероятностно-временных характеристик потока данных в инфокоммуникационной сети;

разработано программное средство, совершенствующее методы оптимизации структуры инфокоммуникационной сети по критериям приведенных общесетевых расходов.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования обоснована четкостью разработанных математических моделей, позволяющих вычислить потоки различных данных, алгоритмов и критериев оптимального размещения узлов инфокоммуникационных сетей.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования обоснована разработкой математических моделей, учитывающих вид, приоритетность и надежность потоков данных, а также разработкой алгоритмов и критериев оптимального размещения потоков данных в узлах инфокоммуникационных сетей на основе критерия средней задержки.

Практическая значимость результатов исследования заключается в разработке критерия оптимального размещения узлов инфокоммуникационных сетей и задержки потоков данных, программное средство вычисления вероятностно-временных характеристик потоков данных и программное средство, совершенствующее методы оптимизации структуры инфокоммуникационной сети по критерию общесетевых расходов.

Внедрение результатов исследования. По результатам исследования на тему «Модель и алгоритмы оптимального размещения узлов инфокоммуникационных сетей»:

математическая модель и алгоритм вычисления характеристик потоков данных внедрены в научно-исследовательскую деятельность ГУП «UNICON.UZ» (справка Министерства цифровых технологий Республики Узбекистан №33-8/6127 от 6 сентября 2023 года). В результате определена возможность мониторинга телекоммуникационной сети в режиме реального времени.

критерий оптимального размещения узлов инфокоммуникационных сетей, позволяющий повысить пропускную способность каналов телекоммуникационных сетей, внедрен в процесс проектирования телекоммуникационных сетей ООО «BROSS TELEKOM» (справка Министерства цифровых технологий Республики Узбекистан №33-8/6127 от 6 сентября 2023 года). В результате достигнуто снижение времени средней задержки данных в узлах до 1,3 мс.

модель и алгоритм оптимизации структуры инфокоммуникационной сети внедрен в практическую деятельность АК «Узбектелеком». (справка Министерства цифровых технологий Республики Узбекистан №33-8/6127 от 6 сентября 2023 года). В результате выявлена возможность оптимизации расходов компании до 5-7%.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования обсуждены на 3 международных и 2 Республиканских научно-практических конференциях, а также на научных семинарах.

Публикация результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 13 научных работ, из них 6 статей в журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан, в том числе 2 в зарубежных и 4 в республиканских журналах, а также получены 2 авторских свидетельства для программных средств для ЭВМ.

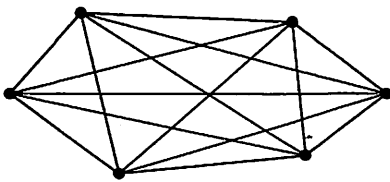
Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 106 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

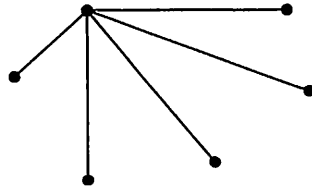
Во введении обосновываются актуальность и востребованность темы исследования, изложены цель и задачи, объект и предмет диссертации, указано соответствие темы приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, изложены научная новизна и практические результаты исследования, раскрыта научная и практическая значимость полученных результатов, приведены сведения о внедрении результатов исследования в практику, об опубликованных работах и структуре диссертации.

В первой главе диссертации «Проблемы проектирования инфокоммуникационных сетей» описаны структуры видов топологии инфокоммуникационных сетей и определены основные преимущества при проектировании сети: а) полносвязная структура (полносвязный граф) –

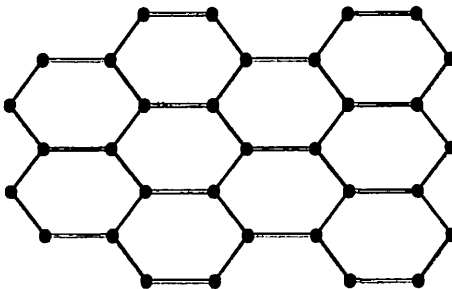
система, в которой каждый узел непосредственно связан с другим; б) звездообразная структура (звездообразная) – система, в которой все узлы связаны с определенными узлами управления; в) сотовая структура (сотовая) – системы, связывающие сети с мобильными объектами; г) решетчатые структуры – система, состоящая из сети прямоугольников (обычно двух или трехмерных). В полностью связанной структуре все вершины графа связаны между собой по принципу «каждый с каждым». Сети, обладающие такой структурой, отличаются высокой надежностью. В качестве примера использования полностью связанной структуры можно привести городскую телефонную сеть (ГТС) без использования транзитных станций. Одна из вершин сети со звездообразной структурой является центральной. Общая длина вершин сети данной топологии характеризуется низкими значениями, надежность их также низкая. Звездообразная структура применяется в основном при построении сельских телефонных сетей (СТС). Топология сотовой связи известна как один из принципов создания современных сетей связи с мобильными объектами. В представленных ниже рис. 1 в, г описана топология возможных транспортных сетей с сотовой и решетчатой структурой. Они очень надежны и значительно экономичны по сравнению с полностью связанными структурами.



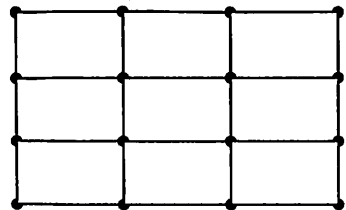
а) Полностью связанная структура



б) Звездообразная структура



в) Сотовая структура



г) Решетчатая структура

Рис. 1. Топология инфокоммуникационных сетей

Во второй главе диссертации «Математические модели вычисления параметров потоков данных» описана разработка математической модели

вычисления параметров потоков различных данных, передаваемых по инфокоммуникационным сетям. Одним из основных критериев при вычислении параметров и равномерном распределении потоков различных данных, поступающих в узлы сети, является среднее время задержки. Основным вопросом данной главы является минимизация времени средней задержки для предупреждения чрезмерной нагрузки и ее равномерного распределения на узлы инфокоммуникационных сетей. Кроме того, в данной главе приводится математическое выражение, позволяющее осуществить расчет параметров потоков данных и структур сети.

$$\bar{T} = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n (\gamma_i \cdot T_i) = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\gamma_i}{\mu_i - \gamma_i} \right), \quad (1)$$

В формуле: λ - интенсивность потока данных, попадаемых на узел; γ_i - средняя интенсивность нагрузки, попадаемого на i -узел; T_i - время задержки данных в i -узлах; μ_i - i интенсивность обслуживания узла; n - количество узлов; m - количество каналов. Это математическое выражение позволило вычислить среднее время задержки потоков информации.

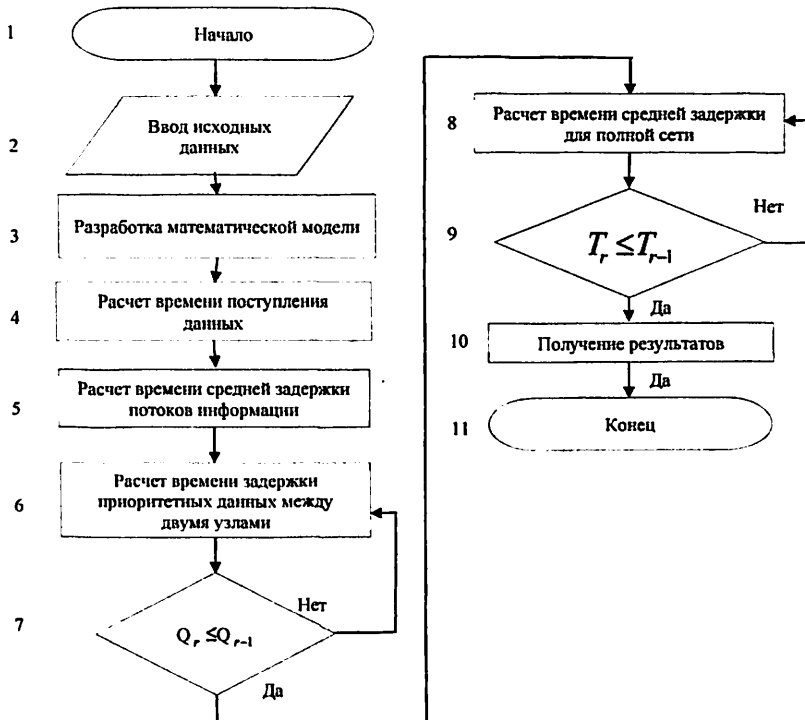


Рис. 2. Алгоритм расчета вероятностно-временных характеристик

Алгоритм вычисления характеристик потока различных приоритетных данных, передаваемых через узлы сети, позволил вычислить вероятность своевременной передачи и среднего времени задержки. Получен график, который приводится на рис. 3.

В целях равномерного распределения нагрузки на узлы в инфокоммуникационных сетях и сокращения времени задержки для полного анализа параметров используется приоритетная система, т.е. система абсолютных и относительных приоритетов. В системе абсолютной приоритетности при поступлении срочных данных в процессе обслуживания данных в узле, то обслуживание приостанавливается и обслуживаются поступившие данные. В системах с относительной приоритетностью, даже при поступлении срочных данных, текущее обслуживание данных не прекращается. Обслуживание данных в узлах продолжается после полного окончания обслуживания. В диссертационной работе проведено исследования обслуживания данных посредством систем с абсолютной и относительной приоритетностью, полученные результаты приводятся на рис. 3.

Пакеты одной приоритетности, поступающие в узлы, обслуживаются в порядке последовательности. Пакеты, обладающие высокой приоритетностью, обслуживаются раньше. Система приоритетов не только касается обслуживания пакетов, но и оказывает воздействие на приборы, оборудование. В этом случае, пакеты, имеющие больший приоритет, передаются повторно на узел, обслуживание пакетов в приборе приостанавливается и осуществляется обслуживание пакетов, обладающих высоким приоритетом.

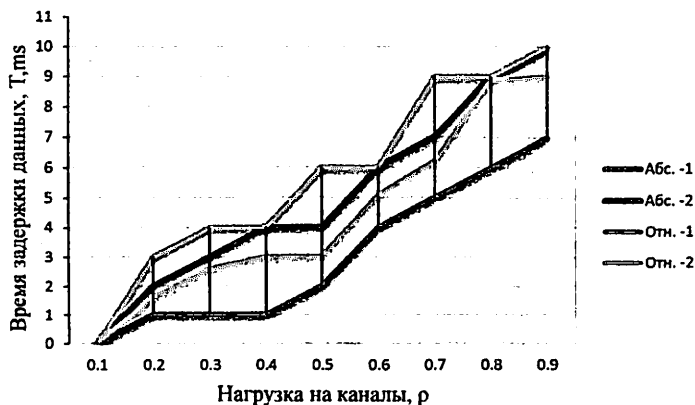


Рис. 3. График зависимости среднего времени задержки данных от нагрузки каналов связи системах с абсолютной и относительной приоритетностью

Количество приоритетов, предъявляемых к потокам данных, связано с комплексом различных передаваемых данных. Если потоки передаваемых данных имеют одинаковый приоритет, то они обслуживаются по мере

поступления. Значения времени задержек данных в приоритетной системе зависит от расположения узлов, конечных устройств, серверов и других видов оборудования.

Исходя из этого, можно прийти к выводу, что абсолютный приоритет по сравнению с относительным приоритетом значительно преобладает и обеспечивает наименьшие значения задержки времени, т.е. абсолютный приоритет 1 обеспечил 2 мс времени задержки, чем относительный приоритет 2, а при абсолютном приоритете 2, в свою очередь, время задержки в 1 мс ниже, чем при относительном приоритете того же уровня.

В третьей главе диссертации «Модели оптимизации структуры инфокоммуникационной сети» рассмотрены вопросы определения оптимальной структуры инфокоммуникационной сети. При нахождении оптимальной структуры инфокоммуникационной сети основную роль играют технико-экономические показатели. При решении этой проблемы использованы три метода оптимизации структуры сети, т.е. методы «Штрафная функция», «Спуск по координатам» и «Градиент», выбран критерий оптимизации и определены ограничения по временно-вероятностным характеристикам. Данные методы усовершенствованы, в результате доказана эффективность метода «Штрафная функция» относительно других методов. Минимизирован критерий с установленным значением, не превышающим соответствующее значение времени задержки данных. Сокращены общесетевые расходы, как критерий определения оптимальной топологической структуры инфокоммуникационных сетей. Для выявления оптимальной структуры топологии инфокоммуникационной сети минимизированы параметры следующего вектора X , т.е.:

$$P(X) \longrightarrow \min \quad (2)$$

$$X = [R, W_r, W_{r-1,r}, n_{ir}, m_{jr}, m_{j-1,r}], \quad (3)$$

где, R – количество ступеней сети, W_r – топология сети, $r=1, R$, n_{ir} – количество узлов коммутации i -порядка на r -ступени, m_{jr} – количество каналов связи j -порядка на r -ступени, $m_{j-1,r}$ – количество каналов между ступенями с $r-1, r$ -индексами j -порядка.

Объем общесетевых расходов определяется посредством следующей формулы (2):

$$P(X) = \sum_{r=2}^R [E_H \sum_{i=1}^I \omega_{ir} * c_i^y * n_{ir} + \sum_{j=1}^J \omega_{jr} * c_j^k * m_{jr} + \sum_{j=1}^J \omega_{j-1,r} * c_j^k * m_{j-1,r}], \quad (4)$$

$$\text{где: } W_{ir} = W_{jr,r} = W_{j-1,r} = \begin{cases} 1, \text{ если } I(j) \in r \\ 0, \text{ иначе} \end{cases}$$

C_i – оценка узлов коммутации i -типа; C_j – оценка кабелей и линий связи j -типа; n_{ir} – количество узлов i -типа, r -порядка, количество ступеней; $m_{j,r}$ –

$j-1, r$ - количество каналов среди подсетей и ступеней сетей j -типа. E_H - коэффициент экономической нормативной эффективности капитальных средств; I - количество центров коммутации концентраторов и пакетов, характеризующихся функциями определения следующих цен. $C_j^k \{V_j, l_j\}$ - функция определения стоимости каналов.

Первое слагаемое в формуле (4) выражает капитальные расходы на устройства узлов, второе и третье слагаемое, соответственно, отражают капитальные расходы на устройства линий связи внутренней (локальной) сети и сетей нижних ступеней, последнее слагаемое выражает расходы на эксплуатацию.

Исходя из различных топологических структурных элементов инфокоммуникационных сетей объем общесетевых расходов (функция 4) включает в себя несколько параметров сети. Функция определения наиболее экономичной топологической структуры сети позволяет получить сведения о географическом расположении узлов, количестве ступеней сети, количестве каналов, интенсивности и скорости передачи данных, а также пропускной способности и эффективности узлов сети.

Использован метод штрафной функции при определении экономичного варианта структур инфокоммуникационных сетей. Эффективность данного метода состоит в том, что функция ограничения при решении вопросов минимизации функции $P(X)$, т.е. время задержки данных, нелинейности, линейности, плоскости или неплоскости, не имеет существенного значения. Кроме того, не требуется нахождение исходной точки в доступной области в рамках метода штрафной функции. Упрощение задачи, решаемой методом штрафной функции, замена функции ограничений и обобщенной целевой функции $F(X, h)$ исходной целевой функцией, позволяет найти решение данной функции:

$$F(X, h) = P(X) + R(h)\Psi(X) \rightarrow \min \quad (5)$$

где, $\Psi(X)$ - функция вектора « X », $\Psi(X) = 0$ при выполнении требований по ограничениям (если искомая точка расположена в допустимой области или на ее границе), и $\Psi(X) \neq 0$ - в противном случае, $R(h)$ - функция последовательного возрастания переменной h . Значения функции $F(X, h)$ вместе со значением функции $P(X)$ принимаются при соответствии допустимой области, если же соответствуют недопустимой области, то $R(h)\Psi(X)$ определяется штрафной функцией. Значение этой функции возрастает с отдалением точки X от допустимой области. Штрафная функция, принятая при решении задачи оптимизации структуры инфокоммуникационной сети, выглядит следующим образом:

$$F(X, h) = P(X) + \frac{h}{2} \sum_{i=1}^{m_i} \left\{ \left[\varphi_i(X) + \frac{\lambda_i}{h} \right]^2 \right\} \quad (6)$$

где, m_i - количество ограничений; $h, \lambda_i - h > 0, \lambda_i > 0$ - параметры алгоритмов, $i = \overline{1, m_0}$ [°] - функция $\Psi(X)$; $\varphi_i(X)$ - функция ограничений.

На основе приведенного критерия общесетевых расходов экономичная топологическая структура инфокоммуникационных сетей реализована посредством решения функции (4) и получены следующие результаты (рис. 4 и 5).



Рис. 4. График зависимости приведенных расходов от географического расположения устройств сети

В приведенном выше рис. 4 приводится график зависимости значения приведенных общесетевых расходов $P(X)$ от сетей различной топологической структуры, расположенной в пространстве 2 км на 12 км. В соответствии с графиком объем расходов для сетей, расположенных в пространстве 2-4 км, не изменяется, поскольку основной объем расходов составляет себестоимость узлов, их же количество не связано с географическим расположением сети, при этом они определяются только посредством емкости сети. С увеличением географических величин сети повышается объем расходов.

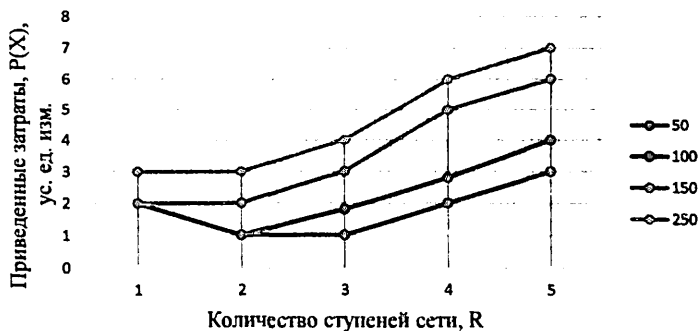


Рис. 5. График зависимости приведенных затрат инфокоммуникационных сетей от количества ступеней

Это повышение происходит за счет кабелей связи и уплотняющих устройств, предназначенных для сети. В результате проведенного исследования сеть радиальной топологии в рамках различных топологических структур определена как наиболее экономичная (рис. 5).

Инфокоммуникационные сети строятся на основе различных топологических структур (РС – радиальная структура, КС – кольцеобразная структура, РС – решетчатая структура, ПСС – полносвязная структура). Данные сети строятся также на иерархических принципах. В настоящее время все инфокоммуникационные сети имеют структуру из 2-5 иерархических уровней. Если количество узлов составляет от 50 до 250, то сети с 2 и 3 степенями по экономическим показателям по сравнению с сетями с 4 и 5 степенями определены как экономичные. Эти результаты, в свою очередь, позволяют рекомендовать проектировать сети с 2-3 иерархической структурой.

В четвертой главе диссертации «Алгоритм исследования инфокоммуникационных сетей» описана разработка алгоритма оптимизации инфокоммуникационных сетей с различной топологической структурой и критерий оптимального размещения узлов инфокоммуникационных сетей. Изменение параметров разработанного алгоритма позволяет произвести расчет характеристик сетей с другой топологической структурой и определить структуру наиболее экономичной структуры инфокоммуникационной сети с расположением на большом географическом пространстве по критерию общесетевых расходов (рис. 6).

Узлы инфокоммуникационной сети используются в качестве устройств для управления потоками данных, передаваемых по цифровым каналам (коммутации). Узлы сети построены на единой цифровой платформе, позволяющей осуществлять полную коммутацию до 3968 цифровых каналов (до 128 потоков E1) и имеющей пакет программного обеспечения универсальной сети узлов коммутации. Обычно узлы инфокоммуникационной сети для связи с другими сетями используют интерфейсы E1 (G.703), а также системы, состоящие из ряда других устройств для сопряжения с входящим потоком.

Резкое повышение интенсивности потоков данных и нагрузки на узлы требует совершенствования методов их равномерного распределения. Это, в свою очередь предполагает решение проблемы оптимального размещения узлов сети. С этой точки зрения задача оптимального размещения узлов в инфокоммуникационных сетях является значимой.

Средняя интенсивность нагрузки на i -узел инфокоммуникационных сетей в определенном интервале времени определяется посредством по следующей формуле:

$$\gamma_i = \lambda_i - \sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot x_{ij} + \sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot x_{ji}. \quad (7)$$

Первое слагаемое в данной формуле определяет совокупность необслуживаемой нагрузки, передаваемой через i -узел на другие узлы,

последнее же слагаемое выражает сумму нагрузки, передаваемой через другие узлы. В приведенной выше формуле (7): n – количество узлов; λ_i – интенсивность потока данных, передаваемых на i -узел; λ_j – интенсивность потока данных, передаваемых на j -узел; x_{ij} – часть потока данных, передаваемых от i -узла к j -узлу λ_i интенсивностью; x_{ji} – часть потока данных, передаваемых от j -узла к i -узлу λ_j интенсивностью.

Если каждый узел сети рассматривать как модель M/M/1 системы массового обслуживания, то выбор потока данных для равномерного распределения нагрузки между узлами осуществляется с помощью формулы минимизации времени средней задержки:

$$\bar{T} = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n (\gamma_i \cdot T_i) = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\gamma_i}{\mu_i - \gamma_i} \right) \quad (8)$$

где, λ – интенсивность данных, передаваемых на узел; γ_i – средняя интенсивность нагрузки, передаваемых на i -узел; T_i – время задержки данных в i -узле; μ_i – интенсивность обслуживания i -узла; n – количество узлов. Минимизация времени средней задержки данных и учет ограничений (8) позволяют осуществить оптимальное расположение узлов инфокоммуникационных сетей. Это вычисляется посредством следующего выражения:

$$\bar{T} = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (w_1 \frac{f_{ij}}{\mu_i - f_{ij}} + w_2 \cdot f_{ij} \cdot T_{ij}) \longrightarrow \min, \quad (9)$$

$$f_{ij} \geq 0, \quad \sum_{i=1}^n f_{ij} \leq \mu_j, \quad \sum_{i=1}^n f_{ij} = F_i. \quad (10)$$

где, m – количество принимающих узлов; w_1, w_2 – весовые коэффициенты для каждого критерия, как правило $w_2 = 1 - w_1$; T_{ij} – время задержки данных в узлах i и j ; f_{ij} – интенсивность данных, передаваемых от i -узла к j -узлу. В этом случае нагрузка на узлы рассматривается как поток данных без приоритетности. Для решения задачи оптимального размещения узлов усовершенствован критерий (8).

Вносится переменная Z_i , определяющая стоимость обслуживания данных в i -узле. Переменная Z_i определяет объем расходов на добавление или аренду i -узла. К критерию (9) прибавляем стоимость обслуживания данных в узлах и получаем следующую формулу:

$$\bar{T} = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (w_1 \cdot \frac{f_{ij}}{\mu_i - f_{ij}} + w_2 \cdot f_{ij} \cdot T_{ij} + w_3 \cdot f_{ij} \cdot Z_j) \rightarrow \min, \quad (11)$$

Решена задача по оптимальному размещению узлов по сети на основе критерия времени средней задержки данных в различных топологических

структурах в инфокоммуникационных сетях, полученные результаты относятся к разным топологическим структурам (РС – радиальная структура, КС – кольцеобразная структура, РС – решетчатая структура, ПСС – полносвязная структура) (рис. 6).

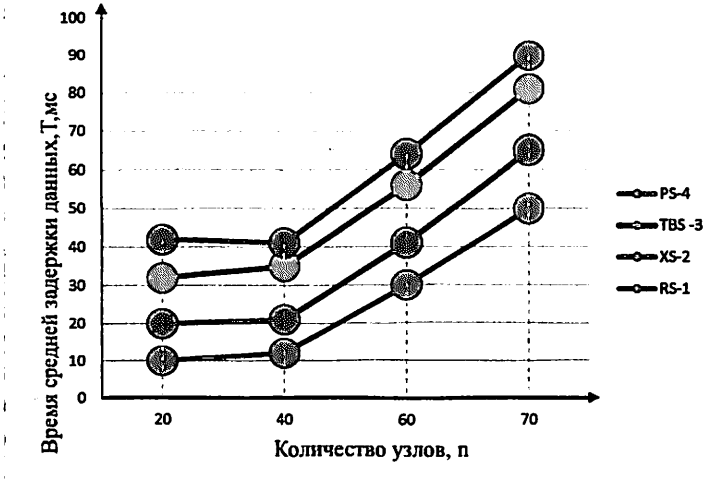


Рис. 6. График оптимального размещения узлов инфокоммуникационной сети

График оптимального размещения узлов инфокоммуникационной сети приводится на рис. 6. Полученные результаты показывают, что несмотря на разнообразие топологических структур сети (РС, КС, РС, ПСС) при количестве узлов от 20 до 40 время средней задержки данных остается неизменным. Если же количество узлов превышает 40 время средней задержки данных повышается. Если количество узлов составляет 70, то время средней задержки данных достигает максимального значения. Таким образом, выявлено, что пропускная способность каналов зависит от количества узлов в инфокоммуникационных сетях.

При количестве узлов от 20 до 70 наименьшее значение времени средней задержки данных достигается в инфокоммуникационной сети с радиальной структурой (10, 12, 22, 41 мс). В других же топологических структурах время средней задержки имеет более высокие значения. Осуществлен полный анализ инфокоммуникационных сетей с разной топологической структурой, определена экономичная структура сети, разработан алгоритм оптимизации сети с учетом всех ее параметров.

Разработанный алгоритм оптимизации состоит из нескольких этапов и позволяет произвести не только расчет структурных параметров сети, но и вычислить характеристики потоков данных, передаваемых по сети, а также определить оптимальную структуру инфокоммуникационной сети на основе критерия общесетевых приведенных затрат (рис. 7).

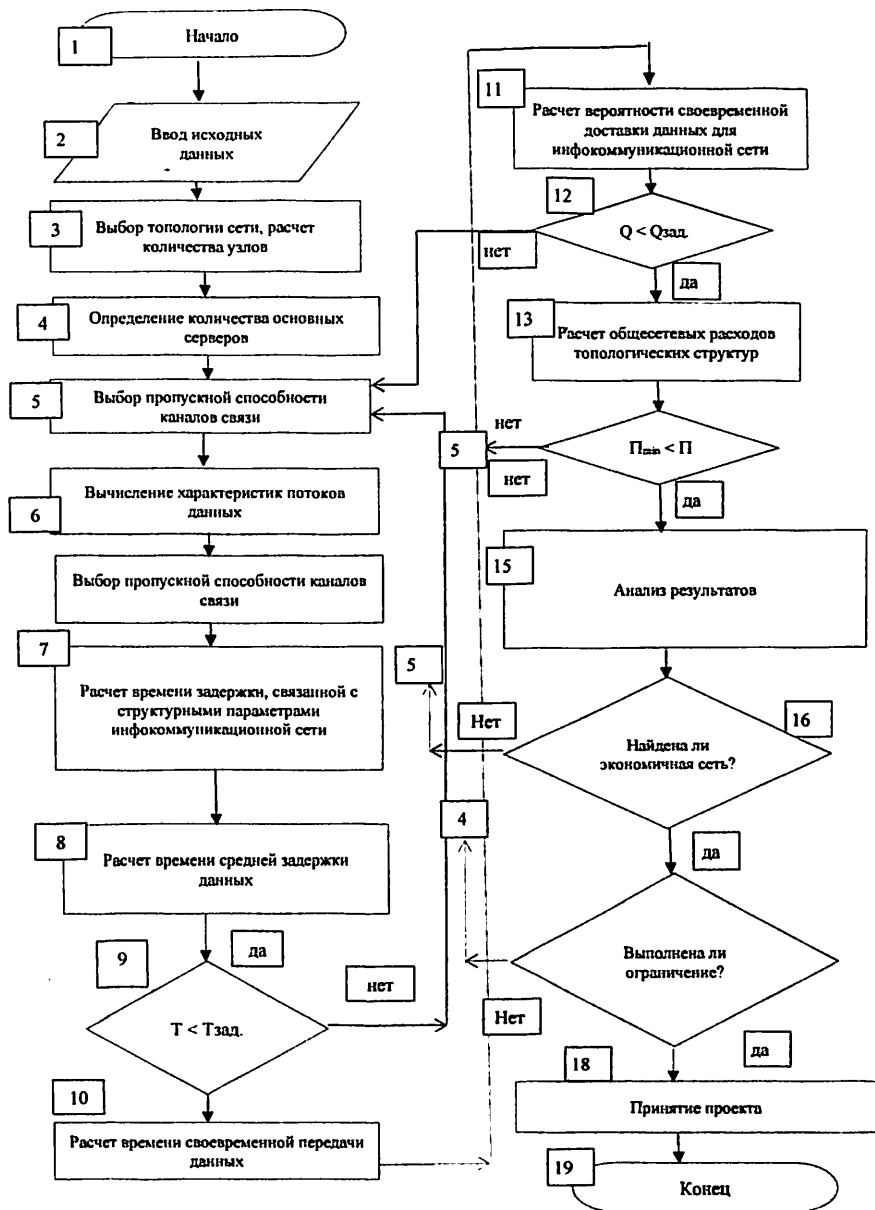


Рис. 7. Алгоритм определения оптимальной структуры инфокоммуникационной сети

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований, проведенных в рамках диссертации доктора философии (PhD) на тему «Модель и алгоритмы оптимального размещения узлов инфокоммуникационных сетей» получены следующие выводы:

1. Определена экономическая эффективность проектирования и построения инфокоммуникационных сетей на иерархических принципах. Выявлено повышение пропускной способности каналов за счет нескольких подключений трактов (каналов) в данных сетях.

2. На основе математического аппарата Лапласа-Стилтьеса разработана математическая модель расчета параметров потоков данных, передаваемых по инфокоммуникационным сетям.

3. На основе времени средней задержки данных разработан критерий, позволяющий оптимально разместить узлы инфокоммуникационной сети.

4. Разработаны алгоритмы для вычисления временно-вероятностных характеристик потоков разнородных данных и определения наиболее экономичной структуры топологии инфокоммуникационной сети.

5. При решении этой проблемы использованы три метода оптимизации структуры сети, т.е. методы «Штрафных функций», «Передача по координатам» и «Градиент», эти методы усовершенствованы. В результате доказано, что метод штрафной функции является эффективным относительно других методов.

6. Математическая модель и алгоритм вычисления характеристик потоков данных внедрены в научно-исследовательскую деятельность ГУП «UNICON.UZ» (справка Министерства цифровых технологий Республики Узбекистан №33-8/6127 от 6 сентября 2023 года). В результате определена возможность мониторинга телекоммуникационной сети в режиме реального времени.

7. Критерий оптимального размещения узлов инфокоммуникационных сетей, позволяющий повысить пропускную способность каналов телекоммуникационных сетей, внедрен в процесс проектирования телекоммуникационных сетей ООО «BROSS TELEKOM» (справка Министерства цифровых технологий Республики Узбекистан №33-8/6127 от 6 сентября 2023 года). В результате достигнуто снижение времени средней задержки данных в узлах до 1,3 мс.

8. Модель и алгоритм оптимизации структуры инфокоммуникационной сети внедрен в практическую деятельность АК «Узбектелеком» (справка Министерства цифровых технологий Республики Узбекистан №33-8/6127 от 6 сентября 2023 года). В результате выявлена возможность оптимизации расходов компании до 5-7%.

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

TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES

BADALOV JASUR ISMAILOVICH

**MODEL AND ALGORITHMS FOR OPTIMAL PLACEMENT OF NODES
OF INFOCOMMUNICATION NETWORKS**

05.04.01 - Telecommunication and computer systems, telecommunication networks and devices.
Distribution of information

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

Tashkent – 2024

The theme of dissertation of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered at the Supreme attestation commission at the Ministry of higher education, science and innovation of the Republic of Uzbekistan under number B2023.3.PhD/T3935

The dissertation has been prepared at Tashkent University of Information Technologies.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (uzbek, russian, english (resume)) on the Scientific Council website (www.tuit.uz) and on the website of «ZiyoNet» Information and Educational Portal (www.ziynet.uz).

Scientific adviser: Parsiev Saydiakhat Solikhodjaevich
doctor of technical sciences, docent

Official opponents: Amirsaidov Ulugbek Boburovich
doctor of technical sciences, docent

Yarmukhamedov Alisher Agbarovich
candidate of technical sciences, docent

Leading organization: Military institute of information and communication
technologies and communications of the Ministry of
Defense of the Republic of Uzbekistan

The defence will take place on «25» of 04 2024 at 11:30 at the meeting of Scientific Council DSc.13/30.12.2019.T.07.02 at Tashkent University of Information Technologies. (Address: 100084, Tashkent city, Amir Temur street., 108. Tel.: (99871) 238-64-43; e-mail: info@tuit.uz).

The dissertation could be reviewed in the Information Resource Centre of Tashkent University of Information Technologies (registration number No. 286). (Address: 100084, Tashkent city, Amir Temur str., 108. Tel.: (99871) 238-65-44).

The abstract of dissertation is distributed on «05» 04 2024 y.
(protocol at the register № 7 on «5» 04 2024 y.).



B.Sh. Makhkamov
Chairman of the scientific Council
awarding scientific degrees, doctor of
economic sciences, professor

M.S. Saitkamolov
Scientific secretary of Scientific Council
awarding Scientific degrees, doctor of
economic sciences, docent

D.Ya. Irgasheva
Chairman of the academic Seminar under
the Scientific Council awarding Scientific
degrees, doctor of technical sciences,
professor

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The aim of the research work is to development of criteria and algorithms for the optimal placement of communication nodes to increase the efficiency of infocommunication networks.

The object of the research is the systems for studying the flows of various data and infocommunication networks

The scientific novelty of the research work is as follows:

a mathematical model has been developed, based on the mathematical apparatus of the Laplace-Stieltes transformation, using a queuing system of the $Mk/Gk/1/\infty$ type, which allows calculating the parameters of relative and absolute priority data streams transmitted over infocommunication networks;

based on the formula for calculating the delay time of data flows, a criterion for the optimal placement of nodes has been developed, which allows choosing the throughput of channels of infocommunication networks with different topologies;

an algorithm has been developed that takes into account the geographic location of infocommunication network topologies using the penalty function method, which makes it possible to determine a low-cost structure based on the given network-wide cost criteria;

a calculation algorithm has been created based on mathematical models that take into account timely arrival times and delays, as well as probabilistic-time parameters of various types of priority data streams.

Implementation of the research results. According to the results obtained by the models and algorithms for the optimal placement of nodes of infocommunication networks:

a mathematical model and an algorithm for calculating the characteristics of the data flow have been implemented in the research processes of the "UNICON.UZ" of the SUE (certificate of the Ministry of Digital Technologies dated September 06, 2023 No. 33-8/6127). As a result, it became possible to monitor the parameters of telecommunication networks in real time;

the criterion of optimal placement of infocommunication network nodes has been introduced into the design process of telecommunication networks of BROSS TELECOM LLC (certificate of the Ministry of Digital Technologies dated September 06, 2023 No. 33-8/6127). As a result, the delay time of information flows in nodes was reduced to 1.3 ms;

the model and algorithm for optimizing the structure of the infocommunication network were implemented in Uzbektelecom JSC (certificate of the Ministry of Digital Technologies dated September 06, 2023 No. 33-8/6127), as a result of which the economic efficiency of the company was from 5% to 7%.

Structure and volume of the dissertation. The content of the thesis consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and applications. The volume of the thesis is 106 pages.

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

I bo'lim (I часть, part I)

1. Badalov J.I. Designing Information and Communication Networks. International Journal of "Advanced Research in Science, Engineering and Technology". Vol. 10, Issue 7. ISSN: 2350-0328. Copyright to IJARSET, 2023. –P. 20826-20832. SJIF 2022: 6.684.

2. Парсиев С.С., Бадалов Ж.И. Оптимизации структуры цифровых сетей связи по экономическим критериям // "O'zbekiston Respublikasi Qurolli Kuchlari Akademiyasi Xabarlari" № 1(16) 2012. -С. 132- 136. (05.00.00; №34)

3. Парсиев С.С., Аденев Б.Э., Бадалов Ж.И. Оптимальное распределения нагрузки по инфокоммуникационным узлам // "Muhammad al-Xorazmiy avlodlari" ilmiy-amaliy va axborot-tahliliy jurnali. № 4(18)2021. –В. 158-161. (05.00.00; №10)

4. Джураев Р.Х., Балтаев Ж.Б., Бадалов Ж.И. Ихчам тестлаш усулларининг ишончилиги ва самарадорлигини таҳлил қилиш. "Muhammad al-Xorazmiy avlodlari" ilmiy-amaliy va axborot-tahliliy jurnali. №2(16)2021. –В. 82-87. (05.00.00; №10)

5. Парсиев С.С., Бадалов Ж.И., Каримов Ш.С. Оценка эффективности проектирования инфокоммуникационных сетей с использованием метода штрафной функции. "Muhammad al-Xorazmiy avlodlari" ilmiy-amaliy va axborot-tahliliy jurnali. №4(22) 2022. –В. 80-85. (05.00.00; №10)

6. Djurayev R.X., Baltaev J.B., Badalov J.I. Study of the method of compact testing of technical means of data transmission networks. Proceedings of the "2020 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT)". Publisher: IEEE. ISBN:978-1-7281-9969-6. ISBN:978-1-7281-9970-2. Tashkent-2020. –P.1-5. DOI:10.1109/ICISCT50599.2020.9351512 (OAK Rayosatining 30.10.2020 yildagi 287/9-son qarori bilan dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan xorijiy ilmiy nashrlarda chop etilgan ilmiy maqolalarga tenglashtirilgan).

II bo'lim (II часть, part II)

7. Парсиев С.С., Кудратов С.Г., Бадалов Ж.И., Пардаева Н.А. Математическое моделирование для расчета параметров сети NGN // Труды Международной конференции "Актуальные проблемы прикладной математики и информационных технологий – Аль - Хорезми 2014" Том №2. Самарканд - 2014. - С.143 – 146.

8. Парсиев С.С., Бадалов Ж.И. Модель транспортной телекоммуникационной сети с приоритетным обслуживанием// "Radiotexnika, telekommunikatsiya va axborot texnologiyalari: muammolari va kelajkdagi rivoji"

xalqaro ilmiy - texnik konferensiya maqolalar to‘plami. 1 Tom. Toshkent-2015. –С. 441-443.

9. Parsiyev S.S., Badalov J.I. Algorithm for calculating the characteristics of a telecommunications network with priority service. In an Multidisciplinary “International Conference on Research in Humanities, Applied Sciences and Education”, published with Confrencea International Database. Berlin, Germany 2023. –P. 40-46. <https://confrencea.org>.

10. Парсиев С.С., Бадалов Ж.И. Расчет вероятностно-временных характеристик телекоммуникационных сетей связи. // “Ахборот технологиялари ва телекоммуникация тизимларини самарали ривожлантириш истиқболлари” Республика илмий –техник конференцияси Маърузалар тўплами, 2 – ҚИСМ. Тошкент - 2014. – С. 207-208.

11. Матқурбонов Д.М., Бадалов Ж.И. Абонент фойдалана оладиган тармоқларни модернизация қилиш принциплари. “Ахборот ва телекоммуникация технологиялари муаммолари” Республика илмий-техник конференциясининг маърузалар тўплами, 3-қисм. Тошкент -2016. -Б 119-120.

12. Arabboyev M.M., Badalov J.I., Nosirov X.X., Begmatov Sh.A. Infokommunikatsiya tugunlarini optimal joylashtirishni simulyatsiyalash dasturiy muhiti // Агенство по интеллектуальной собственности РУз. – Ташкент, 15.10.2021. № DGU 12670.

13. Badalov J.I. Parsiyev S. S. Ўртача ушланиб қолиш вақт мезони бўйича инфокоммуникация тугунларини оптимал жойлаштириш дастури // Агенство по интеллектуальной собственности РУз. – Ташкент, 25.07.2023. № DGU 26395.

Avtoreferat “Muhammad al-Xorazmiy avlodlari” ilmiy jurnali tahririyatida tahrirdan o‘tkazildi va o‘zbek, rus, ingliz tillari matnlarni mosligi tekshirildi.

Bosmaxona litsenziyasi:



9338

**Bichimi: 84x60 $\frac{1}{16}$. «Times New Roman» garniturası.
Raqamli bosma usulda bosildi.
Shartli bosma tabog'i: 2,5. Adadi 100 dona. Buyurtma № 18/24.**

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