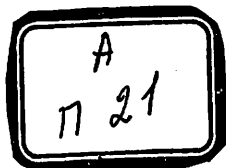


**ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ**  
**ҲУЗУРИДАГИ ИЛМий ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ**  
**DSc.13/30.12.2019.T.07.02 РАҚАМЛИ ИЛМий КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ**



**ПАРСИЕВ САЙДИАХАТ СОЛИХОДЖАЕВИЧ**

**КЎП ПОҒОНАЛИ СТРУКТУРАГА ЭҒА БЎЛГАН**  
**ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯ ТАРМОҚЛАРИНИ ТАДҚИҚ ҚИЛИШ**  
**УСУЛЛАРИ, МОДЕЛЛАРИ ВА АЛГОРИТМЛАРИ**

05.04.01 – Телекоммуникация ва компьютер тизимлари,  
телекоммуникация тармоқлари ва қурилмалари. Ахборотларни тақсимлаш

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc) ДИССЕРТАЦИЯСИ**  
**АВТОРЕФЕРАТИ**



**ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ**  
**ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ**  
**DSc.13/30.12.2019.Т.07.02 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ**

**ПАРСИЕВ САЙДИАХАТ СОЛИХОДЖАЕВИЧ**

**КЎП ПОҒОНАЛИ СТРУКТУРАГА ЭҒА БЎЛГАН**  
**ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯ ТАРМОҚЛАРИНИ ТАДҚИҚ ҚИЛИШ**  
**УСУЛЛАРИ, МОДЕЛЛАРИ ВА АЛГОРИТМЛАРИ**

05.04.01 – Телекоммуникация ва компьютер тизимлари,  
телекоммуникация тармоқлари ва қурилмалари. Ахборотларни тақсимлаш

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc) ДИССЕРТАЦИЯСИ**  
**АВТОРЕФЕРАТИ**

**Техника фанлари бўйича фан доктори (DSc) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2020.4.DSc/T399 рақам билан рўйхатга олинган**

Диссертация Муҳаммад ал-Хоразмий номидаги Тошкент ахборот технологиялари университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (Ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида ([www.tuit.uz](http://www.tuit.uz)) ва Ziyouet ахборот-таълим порталида ([www.ziyouet.uz](http://www.ziyouet.uz)) жойлаштирилган.

**Илмий маслаҳатчи:**

**Нишанбаев Туйғун Нишанбаевич**  
техника фанлари доктори, профессор

**Расмий ошпонетлар:**

**Гулямов Шухрат Маннапович**  
техника фанлари доктори, профессор

**Турсунов Бахтиёр Муҳаммаджанович**  
техника фанлари доктори, профессор

**Давронбеков Дилмурод Абдужалылович**  
техника фанлари доктори, профессор

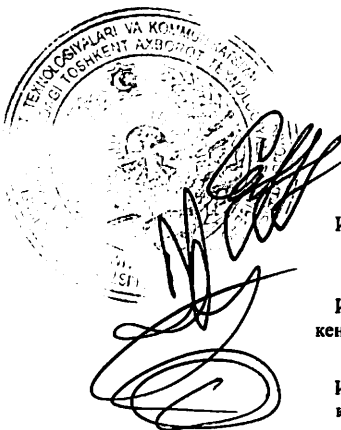
**Етақчи Ташквлот:**

**Тошкент Давлат транспорт университети**

Диссертация ҳимояси Муҳаммад ал-Хоразмий номидаги Тошкент ахборот технологиялари университети ҳузуридаги DSc.13/30.12.2019.T.07.02 рақамли Илмий кенгашнинг 2021 йил "16" июль соат 14:00 даги Мажлисида бўлиб ўтди. (Манзил: 100202, Тошкент шаҳри, Амир Темур кўчаси, 108 –уй. Тел: (9971) 238-65-44; факс: (9971) 238-65-52; e-mail [tuit@tuit.uz](mailto:tuit@tuit.uz)).

Диссертация билан Муҳаммад ал-Хоразмий номидаги Тошкент ахборот технологиялари университетидаги Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин ( 21.6 рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100202, Тошкент шаҳри, Амир Темур кўчаси, 108 –уй. Тел: (9971) 238-65-44).

Диссертация автореферати 2021 йил "06" июль кун тарқатилди.  
(2021 йил "05" июль даги 1 рақамли реестр баённомаси)



**И.Х.Сиддиков**  
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси, т.ф.д., профессор

**Х.Э.Хужаматов**  
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби, PhD., доцент

**Д.А.Давронбеков**  
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси, т.ф.д., доцент

## КИРИШ (фан доктори (DSc) диссертацияси аннотацияси

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда кўп поғонали структурага эга бўлган телекоммуникация тармоқларини тадқиқ қилишнинг самарали усуллари ва алгоритмларини яратишга йўналтириган илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Энг долзарб бўлган ишлар, жумладан кўп поғонали структурага эга бўлган телекоммуникация тармоқлари структурасини синтез қилишга, келтирилган умумтармоқ ҳаражатлар мезони бўйича оптималлаштириш алгоритмларига, келиб тушаётган маълумотлар оқимининг приоритетлигини ва ҳар хил турдалигини ҳисобга олувчи вақт-эҳтимолли характеристикаларини ҳисоблаш алгоритмини, ҳисоблашнинг дастурий воситаларини ишлаб чиқишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Бу борада жаҳоннинг ривожланган мамлакатларида, жумладан АҚШ, Канада, Германия, Жанубий Корея, Хитой, Ҳиндистон, ҳамда Россия Федерациясида ва бошқа давлатларда кўп поғонали структурага эга бўлган телекоммуникация тармоқларининг самарали алгоритмларини ишлаб чиқиш муҳим вазифалардан бири ҳисобланмоқда.

Жаҳонда кўп поғонали структурага эга бўлган телекоммуникация тармоқлари структурасини келтирилган умумтармоқ ҳаражатлар мезони орқали оптималлаштириш алгоритмларини, приоритетли маълумотлар оқимининг вақт-эҳтимолли хактеристикаларини ҳисоблаш алгоритмини ишлаб чиқишга ва тармоқни оптимал структурасини аниқлашга қаратилган илмий тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Шу билан бир қаторда, махсус тайинланган телекоммуникация алоқа тармоқларини қуриш усулларини ва дастурий ҳисоблаш воситаларини ишлаб чиқиш долзарб муаммо ҳисобланади. Кўп поғонали телекоммуникация тармоқлар самарадорлигини ошириш усулларини, оптималлаштириш алгоритмларини, ҳамда маълумотлар оқимининг ўртача ушланиб қолиш вақт мезони бўйича тармоқ тугунларини оптимал жойлаштириш мезонларини ва дастурий воситаларини ишлаб чиқиш долзарб ҳисобланмоқда.

Республикамызда ҳам кўп поғонали структурага эга бўлган телекоммуникация тармоқларини оптималлаштириш алгоритмларини, узатилаётган маълумотлар оқимининг ҳар хил турдалигини, приоритетлигини, ишончилигини эътиборга олувчи ва вақт-эҳтимолли характеристикаларини ҳисоблаш алгоритмини ишлаб чиқишга қаратилган чора-тадбирлар амалга оширилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан “.....иктисодиёт, ижтимоий соҳа, бошқарув тизимига ахборот-коммуникация технологияларини жорий этиш, давлат хизматларини кўрсатиш ва бу хизматдан аҳоли, ҳамда тадбиркорлик субъектлари томонидан фойдаланиш имкониятларини ошириш”<sup>1</sup> вазифалари белгиланган. Мазкур вазифаларни амалга оширишда маълумотлар оқимининг ҳар хил турдалигини,

<sup>1</sup>Ўзбекистон Республикасининг Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947 –сон “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида” га фармони

приоритетлигини ҳисобга олувчи вақт-эҳтимолли характеристикаларни ҳисоблаш алгоритмини, кўп поғонали структурага эга бўлган телекоммуникация тармоқларининг топологик моделларини ва оптималлаштириш алгоритмларини ишлаб чиқиш муҳим масалалардан ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2020 йил 5 октябрдаги ПФ-6079-сонли «Рақамли Ўзбекистон — 2030» стратегиясини тасдиқлаш ва уни самарали амалга ошириш чора-тадбирлари тўғрисидаги фармони, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2018 йил 21 ноябрдаги ПК-4022 – сонли “Рақамли иқтисодийтни ривожлантириш мақсадида инфратузилмани янада модернизация қилиш чора-тадбирлари тўғрисида”ги Қарори ва Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 22 майдаги ПП-4329 – сонли “Ўзбекистон Республикасининг аҳоли пунктларида телекоммуникация инфратузилмасини ривожлантириш бўйича чора-тадбирлар тўғрисида”ги Фармони, ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъъерий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларга мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг IV. “Ахборотлаштириш ва ахборот-коммуникация технологияларини ривожлантириш” устувор йўналишларига мос ҳолда бажарилган.

Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи. Кўп поғонали структурага эга бўлган телекоммуникация тармоқ структурасининг топологик моделларини, оптималлаштириш алгоритмларини ва ҳисоблашнинг дастурий воситаларини, маълумотлар оқимининг турлилигини, ишончлилигини ҳисобга олувчи вақт-эҳтимолли характеристикаларини ҳисоблаш алгоритмини ишлаб чиқишга ва яратишга йўналтирилган илмий тадқиқот ишлари жаҳоннинг етакчи илмий марказлари ва олий таълим муассасаларида, жумладан: Eindhoven University of Technology (Нидерланды), Campus Pierre et Marie Curie Sorbonne Université (Франция), Université du Québec en Outaouais (Канада), Massachusetts Institute of Technology (США), University of Oslo (Норвегия), ETH Zurich (Швейцария), Warsaw University of Technology (Польша) ларида олиб борилмоқда.

Лаглас-Стилтьес математик аппарати ёрдамида тармоқ орқали узатилаётган маълумотлар оқими характеристикаларини ҳисоблаш ва тармоқ структурасини оптималлаштириш алгоритмларини ишлаб чиқиш профессор М. А. Бонч-Бруевич номли Санкт-Петербург телекоммуникация Давлат университетиди (Россия), Москва алоқа ва ахборотлаштириш техника университетиди (Россия), А. Ф. Можайск номли ҳарбий-космик академиясида (Россия), Совет Иттифоқи маршали С.М. Буденный номидаги ҳарбий алоқа академиясида (Россия) олиб борилган.

Жаҳоннинг етакчи давлатларида телекоммуникация тармоқ структурасини оптималлаштиришнинг самарали алгоритмларини ва тармоққа келиб тушаётган турли маълумотлар оқимининг вақт-эҳтимолли

характеристикаларини ҳисоблаш алгоритмини ишлаб чиқиш бўйича қуйидаги илмий натижалар олинган: оптимал тармоқларни топиш муаммолари – кластерлар, оптимал ечимлар топиш учун, қидирув тизими асосида эвристик ечимлар ва тармоқнинг математик моделлари (Graduate School of Business and Administration, США), алоқа тармоқларини оптималлаштириш масалаларини ечиш бўйича замонавий ишланмалар келтирилган (Maastricht Research School of Economics of Technology and Organization, Нидерланды), маълумотлар оқимининг ўртача ушланиб қолиш вақти чегирмаси асосида, келтирилган умумтармоқ ҳаражатлар мезони бўйича, тармоқ структурасини оптималлаштириш масалаларини ечиш учун жарималар функциясидан фойдаланиш тавсия этилган (профессор М.А. Бонч-Бруевич номи Санкт-Петербург телекоммуникация Давлат университети, Россия).

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Кўп поғонали структурага эга бўлган телекоммуникация тармоқларини тадқиқ қилишнинг самарали усулларини ва турли маълумотлар оқими характеристикаларини ҳисоблаш ва тармоқ структурасини оптималлаштириш алгоритмларини ва махсус тайинланган телекоммуникация алоқа тармоқларини куриш тамойилларини ишлаб чиқиш масалаларига Нгуен Дык Тай, Li Y.F., D. R. Miller, W. Ogryczak, M. Piyo, Sansavini G., Zio E., 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, Столяров Б. А., Н. А. Соколов, Б. С. Гольдштейн, Г. В. Чечин, К. Е. Легков ва бошқа жаҳон олимлари катта хисса қўшганлар.

Республикамизда кўп поғонали телекоммуникация тармоқлари структураларини келтирилган умумтармоқ ҳаражатлар мезони бўйича оптималлаштириш алгоритмлари ва ҳар хил турдаги маълумотлар оқимининг вақт-эҳтимолли характеристикаларини ҳисоблашнинг математик моделларига қаратилган илмий ишлар М.Н.Арипов, Т.Н.Нишанбаев, Р.И.Исаев, М.М.Мусаев, Х.Н.Зайнидинов ва бошқа олимларнинг илмий ишларида ўрганилган. Телекоммуникация тармоқларининг вақт-эҳтимолли характеристикаларини ҳисоблашнинг математик моделларини, структуравий параметрларини ҳисоблаш усулларини ишлаб чиқиш муаммолари Х.З. Игamberдиев, Ш.М. Гулямов, Н.Б. Усманова ва бошқа олимларнинг илмий ишларида келтириб ўтилган.

Тадқиқотлар шунинг кўрсатадики, тизимли ёндошувга асосланган кўп поғонали структурага эга бўлган телекоммуникация тармоғи структурасини оптималлаштириш моделлари, усул ва алгоритмларини ишлаб чиқиш етарли даражада ўрганилмаган. Маълумотлар оқимининг турлилигини, ишончлилигини ва приоритетлигини ҳисобга олувчи жараёнларни математик аппаратлар ёрдамида таҳлил қилиш замонавий талаблар даражасида тадқиқ этилмаган. Умумтармоқ ҳаражатлар мезони бўйича тармоқнинг оптимал структурасини аниқлашнинг мавжуд бўлган алгоритмлари, ҳамда махсус тайинланган телекоммуникация алоқа тармоқларини тадқиқ қилиш ва турли

маълумотлар оқимининг вақт-эҳтимолли характеристикаларини ҳисоблашнинг алгоритмлари етарли даражада ўрганилмаган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Муҳаммад ал-Хоразмий номидаги Тошкент ахборот технологиялари университетининг илмий тадқиқот ишлари режасининг №БВ-Ф4-011 – “Сигналларни ва тасвирларни қайта ишлаш масалаларида паралел ҳисоблашни назарияси, методлари ва воситаларини ривожлантириш” (2019-2020) и №ФВ – Ф3-2019080214 «Фавқулудда вазиятларда қўлланувчи кўп функцияли робот яратиш» (2020- 2021) мавзуларидаги лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади кўп поғонали телекоммуникация тармоқлари самарадорлигини оширишнинг алгоритмлари, маълумотлар оқими характеристикаларини ҳисоблаш моделлари ва топологик структураларини оптималлаштиришнинг такомиллаштирилган усулларини ишлаб чиқишдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

ишончликни ва турлиликни ҳисобга олувчи, тармоқнинг алоҳида фаза ва трактлари учун, нисбий ва абсолют приоритетли маълумотлар оқимлари характеристикаларини ҳисобловчи моделларни таҳлил қилиш;

умумтармоқ ҳаражатлар мезони бўйича телекоммуникация тармоқ структурасини оптималлаштириш алгоритмларини ишлаб чиқиш;

маълумотларнинг тугунларда ўртача ушланиб қолиш вақт мезони бўйича телекоммуникация тармоқлари тугунларини оптимал жойлаштириш усулини ишлаб чиқиш;

тармоқнинг структуравий параметрлари ва маълумотлар оқимининг вақт - эҳтимолли характеристикаларини боғлаш имконини берувчи аналитик модел ишлаб чиқиш;

кўп поғонали телекоммуникация тармоғининг приоритетли маълумотлар оқимининг вақт-эҳтимолли характеристикаларини ҳисоблаш алгоритминини ишлаб чиқиш;

кўп поғонали телекоммуникация тармоғи структурасини оптималлаштириш усулларини такомиллаштириш;

кўп поғонали, махсус тайинланган телекоммуникация алоқа тармоқларини қуриш услубиятини ишлаб чиқиш.

Тадқиқот объекти сифатида кўп поғонали телекоммуникация тармоқлари ва ҳар хил турдаги маълумотлар оқимига приоритетли хизмат қилиш тизимлари олинган.

Тадқиқотнинг предметини кўп поғонали телекоммуникация тармоқларини тадқиқ қилиш моделлари, жараёнлари ва алгоритмларини ташкил этади.

Тадқиқот усуллари. Тадқиқотлар жараёнида алоқа тармоқлари назарияси, эҳтимоллар назарияси, дискрет ва шартли оптималлаштириш усулларидан фойдаланилган.



**Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:**

телекоммуникация тармоқлари самарадорлигини ошириш имконини берувчи абсолют ва нисбий приоритетли маълумотлар оқими характеристикаларини ҳисоблашнинг математик моделлари ишлаб чиқилган; тармоқнинг структуравий параметрлари билан маълумотлар оқимининг вақт-эҳтимолли характеристикаларини боғлаш имконини берувчи аналитик модель яратилган;

оптималь структурани аниқлаш имконини берувчи кўп поғонали телекоммуникация тармоқ структурасини кумулятив умумтармоқ ҳаражатлар мезони бўйича оптималлаштириш алгоритмлари яратилган;

каналларнинг ўтказувчанлик қобилиятини танлаш ва маълумотлар оқимининг ушланиб қолиш вақтини камайтириш имконини берувчи тугунларни оптимал жойлаштириш мезони яратилган;

келиб тушаётган маълумотлар оқимининг ишончлилигини ва приоритетлигини ҳисобга олиш имконини берувчи вақт-эҳтимолли характеристикаларини ҳисоблаш алгоритми яратилган;

кўп поғонали телекоммуникация тармоқ структурасини оптималлаштириш усуллари такомиллаштирилган;

оптималь структурани аниқлаш имконини берувчи кўп поғонали махсус тайинланган телекоммуникация алоқа тармоқларини куриш мезони ишлаб чиқилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:**

келтирилган умумтармоқ ҳаражатлар мезони бўйича кўп поғонали ва структурали телекоммуникация тармоқ структурасини оптималлаштиришнинг ҳисоблаш дастурий воситаси ишлаб чиқилган;

M/M/1 модели асосида махсус тайинланган тармоқларда пакетларнинг ўртача ушланиб қолиш вақтини ҳисоблашнинг дастурий воситаси ишлаб чиқилган;

махсус тайинланган тармоқ тугунига келиб тушувчи юкларнинг ўртача интенсивлигини ҳисоблашнинг дастурий воситаси ишлаб чиқилган;

тармоқ тугунига тушувчи маълумотлар оқимининг умумий интенсивлигини ҳисобловчи дастурий восита ишлаб чиқилган;

пакетларни ўртача ушланиб қолиш вақт мезони бўйича махсус тайинланган тармоқлар структурасини оптималлаштириш дастурий ҳисоблаш воситаси ишлаб чиқилган;

телекоммуникация тармоғида маълумотлар оқимининг эҳтимолли-вақт характеристикаларини ҳисоблаш дастурий воситаси ишлаб чиқилган;

келтирилган умумтармоқ ҳаражатлар мезони бўйича телекоммуникация тармоғи структурасини оптималлаштириш дастурий воситаси ишлаб чиқилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги.** Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги тадқиқот давомида кўп поғонали телекоммуникация тармоқ структурасини оптималлаштириш алгоритмларининг ва турли маълумотлар оқимлари характеристикаларини ҳисоблашнинг математик моделларининг

қатъийлиги ҳамда олинган натижаларнинг амалиётга тадбиқ этилганлигини тасдиқловчи гувоҳномалар ва далолатномалар билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.**

Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти приоритетли тизимнинг самарадорлигини ошириш имконини берувчи математик моделлари, тармоқнинг структуравий параметрлари билан маълумотлар оқимининг вақт-эҳтимолли характеристикаларини боғлаш имконини берувчи аналитик модель, тармоқнинг оптимал структурасини аниқлаш имконини берувчи оптималлаштириш алгоритмлари, каналларнинг ўтказувчанлик қобилиятини танлаш ва маълумотлар оқимининг ушланиб қолиш вақтини камайтириш имконини берувчи тугунларни оптимал жойлаштириш мезони, келиб тушаётган маълумотлар оқимининг ишончлилигини ва приоритетлигини ҳисобга олиш имконини берувчи алгоритми, тармоқ структурасини оптималлаштириш усуллари ва махсус тайинланган телекоммуникация алоқа тармоқларини қуриш мезони ишлаб чиқилганлиги билан изоҳланади.

Диссертация натижаларининг амалий аҳамияти кўп поғонали телекоммуникация тармоқларини тадқиқ қилишда М/М/1 модели асосида махсус тайинланган тармоқларда пакетларнинг ўртача ушланиб қолиш вақтини ва келтирилган умумтармоқ ҳаражатлар мезони бўйича телекоммуникация тармоғининг оптимал структурасини аниқлаш имконини берувчи ва маълумотлар оқимининг кўп приоритетлигини, турлилигини ҳисобга олувчи вақт-эҳтимолли характеристикаларни ҳисоблаш дастурий воситаларини ишлаб чиқилганлиги билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Кўп поғонали структурага эга бўлган телекоммуникация тармоқларини тадқиқ қилиш усуллари, моделлари ва алгоритмлари бўйича олинган натижалар бўйича:

оптимал тармоқ структурасини аниқлаш имконини берувчи кўп поғонали махсус тайинланган телекоммуникация алоқа тармоқларини қуриш мезони ва тармоқнинг оптимал структурасини аниқлаш имконини берувчи кўп поғонали телекоммуникация тармоқ структурасини келтирилган умумтармоқ ҳаражатлар мезони бўйича оптималлаштириш алгоритмлари Ўзбекистон Республикаси Қуролли кучлар бош штабининг алоқа, ахборот технологиялари ва ахборотлари ҳимоялаш бош бошқармасига жорий этилган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2020 йил 25 ноябрдаги №33-8/7130 - сон маълумотномаси). Натижада телекоммуникация тармоғининг оптимал структурасини аниқлашга ва лойиҳалаш учун кетадиган сарф ҳаражатларни 13-17% гача камайтиришга эришилган ва қарор қабул қилиш сифати яхшилланган;

приоритетли тизим самарадорлигини ошириш имконини берувчи абсолют ва нисбий приоритетли маълумотлар оқими характеристикаларини ҳисоблашнинг математик моделлари ва келиб тушаётган маълумотлар оқимининг ишончлилигини ва приоритетлигини ҳисобга олиш имконини берувчи, турли маълумотлар оқимининг вақт-эҳтимолли характеристикаларини ҳисоблаш алгоритми Ўзбекистон Республикаси Мудофаа вазирлигининг алоқа ва ахборот – коммуникация технологиялари

ҳарбий институтининг локал тармоғига жорий этилди (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2020 йил 25 ноябрдаги №33-8/7130 – сон маълумотномаси). Натижада, институтнинг локал тармоғининг вақт – эҳтимолли характеристикаларини ҳисоблаш вақтини 15-20% гача қисқартиришга эришилган ва маълумотлар оқимини узатиш сифати оширилган;

кўп поғонали телекоммуникация тармоқ структурасини оптималлаштириш усуллари ва тармоқнинг оптимал структурасини аниқлаш имконини берувчи кўп поғонали телекоммуникация тармоқ структурасини келтирилган умумтармоқ ҳаражатлар мезони бўйича оптималлаштириш алгоритмлари “Ўзбектелеком” АҚга жорий этилди (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2020 йил 25 ноябрдаги №33-8/7130 – сон маълумотномаси). Натижада “Ўзбектелеком” АҚ тармоқларини лойиҳалаштириш учун кетадиган сарф ҳаражатларни 3-4 % гача камайтиришга ва қарор қабул қилиш сифатини оширишга эришилган;

каналларнинг ўтказувчанлик қобилиятини танлаш ва маълумотлар оқимининг ушланиб қолиш вақтини камайтириш имконини берувчи тугунларни оптимал жойлаштириш мезони “UNICON.UZ” ДУҚга жорий этилган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2020 йил 25 ноябрдаги №33-8/7130 – сон маълумотномаси). Натижада кўп поғонали тармоқда маълумотларнинг ўртача ушланиб қолиш вақтини камайтиришга ва каналларнинг ўтказувчанлик қобилиятини оширишга эришилган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқот натижалари 7 та халқаро, 6 та республика илмий-амалий конференцияларда ҳамда илмий семинарларда муҳокама қилинган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 31 та илмий ишлар, улардан 12 та мақола Ўзбекистон Республикаси ОАК тавсия этган журналларда, шу жумладан 9 та республика ва 3 та хорижий миқёсидаги журналларда чоп этилган ҳамда 6 та ЭХМ учун яратилган дастурий воситаларни қайд қилиш гувоҳномалари олинган.

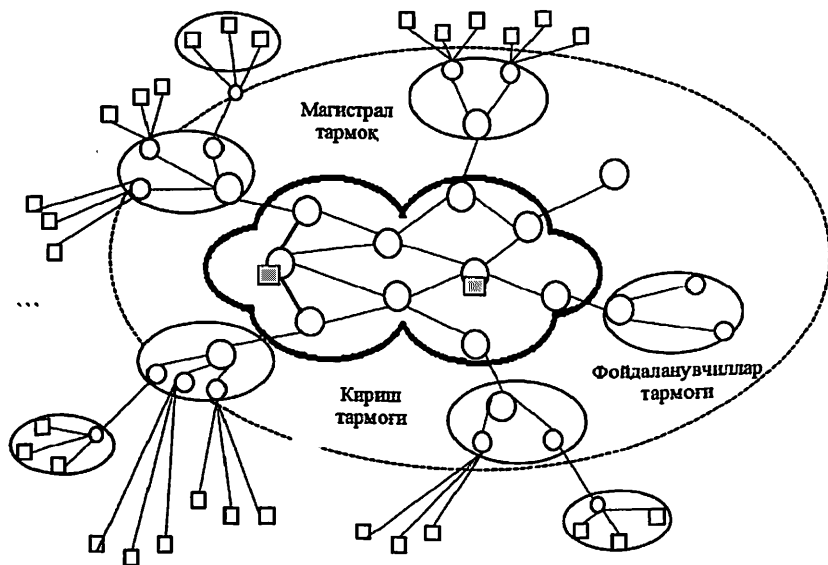
Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш, бешта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат, ҳажми 194 саҳифани ташкил этади.

## **ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ**

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари шакллантирилган, объект ва предмети тавсифланган. Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг ишончлилиги асосланган, илмий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, ишнинг

апробацияси, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг биринчи «Кўп поғонали структурага эга бўлган телекоммуникация тармоқларини ривожлантириш тахлили ва шарҳи» бобида кўп поғонали телекоммуникация тармоғини ривожлантириш ва тадқиқ қилиш бўйича адабиётлар манбаларининг тахлили ва шарҳи келтирилган. Телекоммуникация тармоқ структураси унинг асосий конструктив характеристикаси (1-расмда келтирилган) ва территория бўйича ёйилган дастурий-аппарат воситаларининг (коммутация марказлари, алоқа каналлари, бошқарув марказлари ва б.) мажмуаси эканлиги аниқланган.



1-расм. Поғонасимон структурали телекоммуникация тармоғи.

Алоқа трактларини кўп маротаба улайдиган, йирик ўлчамда қурилган телекоммуникация тармоқлари тахлили иқтисодий томондан кўп поғонали тармоқларнинг самарали эканлигини аниқлади. Бундай тармоқларни лойиҳалаштиришда алоқа каналларининг умумий узунликлари қисқаришига, ва шу орқали уларнинг тан нарҳининг пасайишига, алоқа каналларининг ўтказувчанлиги ошишишига ва тугун қурилмаларининг самарали ишлатилишига, тармоқда бошқарув жараёнининг соддалашуви ва тармоқ ресурсларининг иқтисод қилинишига эришилади. Кўп поғонали телекоммуникация тармоқларининг бир нечта устуворликлари: алоқа каналлари ва тугун қурилмаларининг самарали ишлатилиши; юкларларнинг тармоқнинг пастки поғонасида максимал равишда боғланиши; тармоқда бошқарув жараёнининг соддалиги; тармоқ ресурсларининг иқтисод

қилиниши; телекоммуникация тармоқларининг самарали ишлашининг ошиши тадқиқот ва таҳлиллар асосида аниқланди.

Диссертациянинг иккинчи «Кўп поғонали телекоммуникация тармоқларида маълумотлар оқимининг приоритетли хизмат қилиш моделлари» бобида Лаплас-Стилтьес ўзгартирувчи (ЛСЎ) математик аппарати асосида турли маълумотлар оқимининг нисбий ва абсолют приоритетли математик моделлари ишлаб чиқилган. Маълумотлар оқимининг вақт-эҳтимолли характеристикаларини ҳисоблаш учун ЛСЎ математик аппарати ва  $M_k/G_k/1/\infty$  (буюртмаларнинг келиб тушиш қонуни экспоненциал қонун асосида, буюртмаларга оммавий хизмат қилиш тасодифий қонун асосида, бир қурилмали и навбатлар чексиз) туридаги оммавий хизмат кўрсатиш (ОХТ) тизимидан фойдаланган ҳолда турли маълумотлар оқими нисбий ва абсолют приоритетли хизмат қилиш амалга оширилади. Бир чизикли ОХТ га  $P$  приоритетли пакетлар оқими келиб тушса, пакетлар  $\lambda_k, k = \overline{1, P}$  интенсивлик билан Пуассон оқимларини ташкил этади. Пакетларнинг йиғма оқими  $\sigma = \sum_{k=1}^P \lambda_k$  интенсивлик билан Пуассон оқими ҳисобланади ва  $M_k/G_k/1/\infty$  туридаги оммавий хизмат қилиш тизимида қуйидаги иккита жараён кузатилади:

кутиш жараёни, тақсимлаш функцияси  $W_k(t)$  билан характерланувчи  $t_{wk}$  тасодифий вақт билан;

хизмат қилиш жараёни, тақсимлаш функцияси  $H_k(t)$  билан характерланувчи  $t_{kk}$  тасодифий вақт билан.

У ҳолда  $k$  приоритетли пакетнинг тасодифий етиб бориш  $t_{sk}$  вақти қуйидагича аниқланади:

$$t_{sk} = t_{wk} + t_{kk}, \quad k = \overline{1, P} \quad (1)$$

бу ерда:  $t_{wk}$  –  $k$  приоритетли пакетларга хизмат қилишни кутиш вақти;  $t_{kk}$  –  $k$  приоритетли пакетларга хизмат қилиш вақти;  $P$  – приоритетлар сони; Тизимда пакетнинг етиб келиш вақтининг тақсимлаш функцияси эса:

$$V_k(t) = W_k(t) * H_k(t), \quad (2)$$

бу ерда: \* - Стилтьес бурамаси белгисини билдиради.

Узатиш бўлимида  $k$  приоритетли пакетнинг ўртача етиб келиш вақти (2) ифодадан аниқланади:

$$T_k = \int_0^{\infty} t \cdot dV_k(t), \quad (3)$$

Узатиш бўлимида  $k$  приоритетли пакетларга хизмат қилиш вақтини топиш  $t_{kk}$  учун  $t$  вақт мобайнида  $k$  приоритетли пакетлар оқимида хизмат қилувчи  $H_k(t)$  тақсимлаш функциясининг Лаплас-Стилтьес ўзгартирувчи математик аппаратида фойдаланган ҳолда қуйидагича аниқланади.

$$Q_k(v) = \int_0^{\infty} e^{-v t} dV_k(t) = w_k(v) \cdot h_k(v), \quad (4)$$

бу ерда:  $v$  – маълумотларнинг эскириб қолиш интенсивлиги  $v = 1/T_z$ , бу ерда  $T_z$  – эскириб қолишнинг ўртача вақти;  $w_k(t)$  – вақти мобайнида  $k$  приоритетли пакетларга хизмат қилиш бошланишининг кутиш вақтининг Лаплас-Стилтьес математик ўзгартирувчисидан олинган  $W_k(t)$  тақсимлаш функцияси;  $h_k(t)$  –  $t$  вақт мобайнида  $k$  приоритетли пакетларга хизмат қилишнинг Лаплас-Стилтьес математик ўзгартирувчисидан олинган тақсимлаш  $H_k(t)$  функцияси. Кўп поғонали телекоммуникация тармоғида пакетларнинг ўртача етиб келиш вақти  $T$  оқимларнинг ҳар хил маршрутлар бўйича оқётган оқимларнинг бир қисмига нисбатан ҳисобланади. Кўп поғонали структурага эга бўлган тармоқнинг  $g$ -поғона оқали ва тармоқости  $g$ -поғоналари учун умумтармоқ бўйича пакетларнинг етиб келиш вақти қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$T = \frac{1}{\Lambda} \sum_{r=2}^R [2(\lambda_{r-1,r} m_{r-1,r} T_{r-1,r}) + 2(\lambda_{r,r} m_{r,r} T_{r,r}) + (\lambda_r n_r T_r)], \quad (5)$$

бу ерда:  $\Lambda$  – кириб келувчи оқимнинг йиғма интенсивлиги;  $R$  – поғоналар сони;  $\lambda$  – маълумотлар оқимининг келиб тушиш интенсивлиги;  $m_r$  –  $g$ -поғонадаги алоқа каналлари сони;  $m_{r-1,r}$  – ( $g-1$ ,  $g$ ) - индексли поғоналар ўртасидаги тармоқ ости алоқа каналлари сони;  $n_r$  –  $g$  - поғонадаги тугунлар сони.

$$m_{r,r} = \frac{n_r k_r}{2}, \quad m_{r-1,r} = n_{r-1} \quad (6)$$

Маълумотлар оқимиغا нисбий ва абсолют приоритетли хизмат қилишнинг математик моделлари асосидаги натижалар 2 - расмда келтирилган.



2-расм. Алоқа каналлари юкламасининг маълумотларнинг ўртача ушланиб қолиш вақтига боғлиқлиги.

Натижалар асосида хулоса қилиш мумкинки, абсолют приоритет, катта приоритетлар нисбий приоритетга қараганда ушланиб қолиш вақтининг кам бўлган қийматини таъминлаб беради, яъни абсолют приоритет 1 нисбий

приоритет 2 га нисбатан 1,75 марта кам бўлган ушланиб қолиш вақтини ва 0,8 марта кам бўлган вақтни таъминлаб беради.

Диссертациянинг учинчи «Кўп поғонали структурага эга бўлган телекоммуникация тармоқларини тадқиқ қилиш» бобида бир тугунли, кўп поғонали телекоммуникация тармоқ характеристикалари тадқиқ қилинган ва пакетларни ўртача ушланиб қолиш вақт мезони бўйича тугунларни оптимал жойлаштириш, ҳамда жарима функцияси усули ёрдамида келтирилган умутармоқ ҳаражатлари мезони бўйича тармоқ структурасини оптималлаштириш масалалари кўриб чиқилган. Кўп поғонали телекоммуникация тармоқ структураларини оптималлаштириш келтирилган умумтармоқ ҳаражатларини минималлаштирувчи  $X$  векторни ташкил этувчиларини топишга йўналтирилади ва  $u$  вектор ўз таркибига қуйидагиларни олади:

$$X = \left[ R, W_r, W_{r-1,r}, n_r, m_r, m_{r-1,r} \right], \quad (7)$$

бу ерда:  $R - W_{r,r} = \overline{1, R}$  топологияли тармоқнинг поғоналар сони;  $W_{r-1,r} = \overline{2, R}$  поғоналар ўртасидаги тармоқости топологияси;  $n_r - r$  - поғонадаги  $i$  - турдаги коммутация тугунлари сони (концентраторлар ва марказий коммутация тугунлари);  $m_r - r$  - поғонадаги  $j$  - турдаги алоқа каналлари сони;  $m_{r-1,r} - (r-1, r)$  индексли поғоналараро тармоқости  $j$  - турдаги алоқа каналлари сони; кўп поғонали ва структурали телекоммуникация тармоқни оптималлаштиришнинг умумий масаласи қуйидаги кўриниш олади: келтирилган умумтармоқ ҳаражатларни минималлаштириш:

$$P(X) \rightarrow \min. \quad (8)$$

кўп поғонали телекоммуникация тармоқ фойдаланувчиларига хизмат қилиш сифат даражаси бажарилган ҳолда, яъни товуш сигналинини  $T$  тасодифий вақт орлигида  $P_t \{T \leq t\}$  эҳтимоли билан етиб келиш вақти ва  $k$  приоритетли пакетларнинг етиб келиш вақтлари  $T_k$  берилган  $t$  вақт меъёридан ошиб кетмаслиги талаб этилади. Кўп поғонали структурага эга бўлган телекоммуникация тармоғи учун келтирилган умумтармоқ ҳаражатлари  $P(X)$  қуйидаги кўринишда бўлади:

$$P(X) = E_H \sum_{r=2}^R \left\{ \sum_{i=1}^i W_{r,i} C_i n_r + \sum_{j=1}^j \left[ W_{r-1,r} C_{r-1,r} m_{r-1,r} + \dots \right] \right\} + \sum_{r=2}^R e_r s_r, \quad (9)$$

бу ерда:  $R$  - поғоналар сони;  $E_H$  - капитал ҳаражатларнинг норматив иқтисодий самарадорлик коэффиценти,  $E_H = 0,15$ ;  $1 - C_i = \{G_i^y(K_n^y, d_i^y)\}$  тан нархлар функцияси билан фарқланувчи тугун турлари (шлюзлар, коммутаторлар, серверлар, ишчи станциялар) сони, бу ерда:  $G_i^y$  - коммутация тугунининг тайёргарлик  $K_n^y$  коэффиценти билан ифодаланувчи самарадорлик

коэффициенти, тикланиш интенсивлиги  $d_i^j$ , бу ерда:  $i = \overline{1, I}$ ;  $n_r - r$  - поғонадаги  $i$ - турдаги коммутация тугунлари сони;  $J - C_j = \{V_j, l_j\}$  - таннархлар функцияси билан фарқланувчи алоқа каналлар турлари сони, бу ерда:  $V_j$  - алоқа каналлари тезлиги,  $l_j$  - алоқа каналининг узунлиги, тайёргарлик коэффициенти  $K_j^k$  ва тикланиш интенсивлиги  $d_j^k, j = \overline{1, J}$ ;  $m_r - r$  - поғонадаги  $j$ - турдаги алоқа каналлари сони;  $J - C_{j-1, r}^k = \{V_{j-1, r}, l_{j-1, r}\}$  тан нарх функцияси билан фарқланувчи поғоналараро канал турлари сони, бу ерда:  $V_{j-1, r}$  - поғоналараро алоқа каналлари тезлиги,  $l_{j-1, r}$  - поғоналараро алоқа каналлари узунлиги,  $K_{j-1, r}^k$  тайёргарлик коэффициенти,  $d_{j-1, r}^k$  - поғоналараро алоқа каналларининг тикланиш интенсивлиги, бу ерда:  $j = \overline{1, J}$ ;  $m_{j-1, r} - j$  - турдаги  $(r-1)$  ва  $r$  поғоналараро каналлар сони;

$$W_{ir} = \begin{cases} 1, & \text{агар } i\text{-коммутация тугуни } r\text{-поғонада жойлашган бўлса;} \\ 0, & \text{акс холда;} \end{cases}$$

$$W_{jr} = \begin{cases} 1, & \text{агар } j\text{-алоқа канали } r\text{-поғонада жойлашган бўлса;} \\ 0, & \text{акс холда;} \end{cases}$$

$$W_{j-1, r} = \begin{cases} 1, & \text{агар } j\text{-алоқа канали } (r-1) \text{ билан } r\text{-поғоналар ўртасида} \\ & \text{жойлашган бўлса;} \\ 0, & \text{акс холда;} \end{cases}$$

Формула (9) да биринчи қўшилувчи тугун қурилмаларининг капитал ҳаражатларини, иккинчи ва учинчи қўшилувчилар мос холда, ичкизонали линия қурилмаларининг ва поғоналараро тармоқости капитал ҳаражатларни, охириги қўшилувчи эса эксплуатацион ҳаражатларни ташкил қилади. Ҳар хил топологик структураларга эга бўлган (РС-радиал структура, ХС - халқасимон структура, ПС - панжарали структура, ТБС-тўлик боғланган структура) телекоммуникация тармоқлари структурасини оптималлаштириш масаласини ечиш жарима функцияси усулини қўллаш орқали амалга оширилади. Жарима функцияси усулининг қулайлиги шундан иборатки, минималлаштириш масаласини ечишда чегирмалар функциясининг ночизиқли, чизиқли, яссси ёки ясси бўлмаслиги асосий аҳамиятга эга бўлмайди. Ундан ташқари, жарима функцияси усулида бошланғич нуктанинг рухсат этилган областда бўлиши талаб этилмайди. Жарима функцияси усули орқали ечиладиган масланинг соддалашуви, чегирмалар функциясини ва тадқиқот мезонларини ҳисобга олувчи умумлаштирилган мақсадли функциянинг  $F(X, h)$  бошланғич мақсадли функция билан алмаштирилиши ва шу орқали тадқиқотлар ҳисобига эришилади:

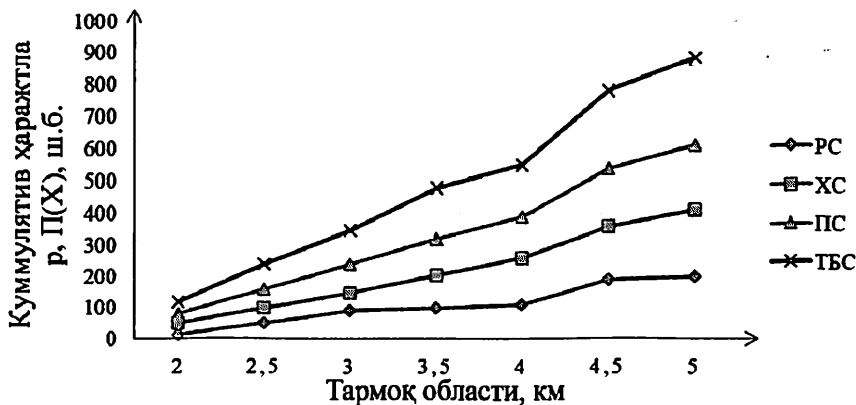
$$F(X, h) = \Pi(X) + P(h)\Psi(X) \rightarrow \min, \quad (10)$$



бу ерда:  $\Psi(X)$  – «X» вектор функцияси,  $\Psi(X) = 0$  агар чегирмалар талаби бажарилса (яъни қидирилаётган нукта рухсат этилган областда ёки унинг чегарасида жойлашса), ва  $\Psi(X) \neq 0$  – тесқари холатида;  $P(h) - h$  ўзгарувчининг монотон равишда ўсувчи функция.  $F(X, h)$  функциянинг қиймати  $\Pi(X)$  функция қиймати билан, рухсат этилган областда, мос келса қабул қилинади, агар рухсат этилмаган областга мос келса у холда  $P(h)\Psi(X)$  жарима функцияси билан аниқланади. Бу функциянинг қиймати X нуктанинг рухсат этилган областдан узоклашиши билан ошиб боради. Телекоммуникация тармоғи структурасини оптималлаштириш масаласини ечишда қабул қилинган жарима функцияси қуйидаги кўринишда бўлади:

$$F(X, h) = \Pi(X) + \frac{h}{2} \sum_{i=1}^{m_0} \left\{ \left[ \varphi_i(X) + \frac{\lambda_i}{h} \right]^2 \right\}, \quad (11)$$

бу ерда:  $m_0$  - чегирмалар сони;  $h, \lambda_i - h > 0, \lambda_i > 0$  алгоритмлар параметрлари,  $i = \overline{1, m_0}$ ;  $[\cdot]^2$  -  $\Psi(X)$  функцияси;  $\varphi_i(X)$  - чегирмалар функцияси. Вақт эҳтимолли характеристикаларни эътиборга олган холда, келтирилган умумтармоқ харажатлар мезони асосида, кўп поғонали ва структурали телекоммуникация тармоғини тадқиқ қилиш оптималлаштириш масаласини бир неча бор ечиш орқали амалга оширилди ва натижалар олинди (3 ва 4 - расмлар). Бу расмда: РС – радиал структура; ХС – халқасимон структура; ПС – панжарасимон структура; ТБС - тўлик боғланган структура.

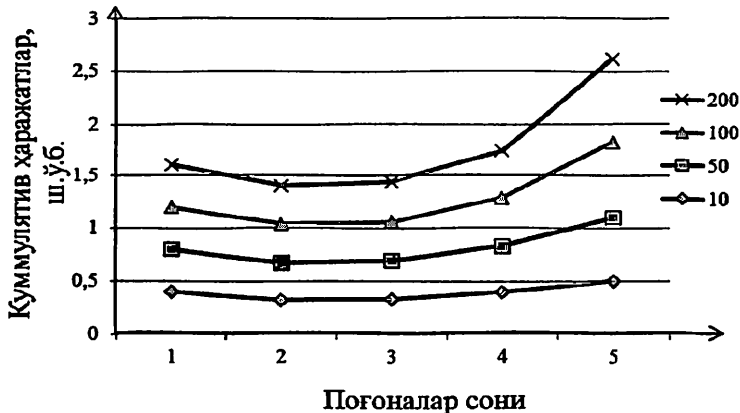


3-расм. Куммулятив харажатларнинг тармоқ области ўлчамига боғлиқлиги

3x3, 4x4 ва 5x5 километрли кам ўлчамли областлар миқёсида куммулятив умумтармоқ харажатлар қиймати кам ўзгаради, чунки чегараланган областларда асосий харажатлар миқдорини тугунларнинг тан нархлари ташкил этади, уларнинг сони эса тармоқ областининг ўлчамига боғлиқ эмас, улар фақат тармоқ сифими орқали аниқланади ва радиал тапологияли тармоқ бошқа тармоқларга нисбатан кам харажатли тармоқ сифатида аниқланган (3 расм).

Тармоқнинг R=2, 3, 4, 5 поғоналар сонининг куммулятив умумтармоқ ҳаражатларига боғлиқлик графиги 3 – расмда келтирилган. Иқтисодий кўрсаткичлар нуқтаи назардан 2 ва 3 поғонали тармоқлар 4 ва 5 поғонали тармоқларга nisbatan бир (2-3) баробар кам ҳаражатли эканлиги аниқланган.

Кўп поғонали телекоммуникация тармоғини оптималлаштириш усули куммулятив умумтармоқ ҳаражатлар мезони асосида тармоқнинг оптимал структурани аниқлаш, шу билан бир қаторда, тармоқнинг поғоналар сонини ва охирилаш қурилмалари сонини ҳисобга олиш имконини беради.



4-расм. Куммулятив ҳаражатларнинг поғоналар сони билан боғлиқлиги.

Телекоммуникация тармоқларида тугунларга тушаётган юкларнинг ошиб бориши натижасида келиб тушаётган маълумотлар оқимида хизмат қилиш учун, тугунларнинг қувватини ошириш ёки юкларни текис тақсимлаш зарурияти пайдо бўлади. Шу нуқтаи назардан телекоммуникация тармоқларида тугунларни оптимал равишда тақсимлаш масаласи муҳим ва ноцизиқли дискрет математик дастурлаш масаласи ҳисобланади. Аниқ бир вақт интервалида  $i$  тугунга келиб тушаётган юкларнинг ўртача интенсивлиги қуйидаги формула орқали аниқланади:

$$\gamma_i = \lambda_i - \sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot x_{ij} + \sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot x_{ji} \quad (12)$$

бу ерда:  $n$  – узатувчи тугунлар сони;  $\lambda_i$  –  $i$  тугунга келиб тушаётган маълумотлар оқими интенсивлиги;  $\lambda_j$  –  $j$  тугунга келиб тушаётган маълумотлар оқими интенсивлиги;  $x_{ij}$  –  $i$  тугундан  $j$  тугунга  $\lambda_i$  интенсивликда келиб тушаётган маълумотлар оқимининг бир қисми;  $x_{ji}$  –  $j$  тугундан  $i$  тугунга  $\lambda_j$  интенсивликда келиб тушаётган маълумотлар оқимининг бир қисми. Биринчи қўшилувчи  $i$  тугун орқали бошқа тугунларга йўналтирилган хизмат қилинмаган юклар йиғиндисини аниқлайди,

охирги қўшилувчи эса бошқа тугунлардан келиб тушган юкламалар йиғиндисини аниқлайди.

Агар ҳар бир тугунни оммавий хизмат қилиш тизимининг М/М/1 модели сифатида қаралса, у ҳолда, тугунлараро юкламаларни текис тақсимлаш учун маълумотлар оқимини танлаш ўртача ушланиб қолиш вақтини минималлаштириш формуласи орқали амалга ошириш мумкин бўлади:

$$\bar{T} = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n (\gamma_i \cdot T_i) = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \left( \frac{\gamma_i}{\mu_i - \gamma_i} \right) \quad (13)$$

бу ерда:  $\lambda$  – тугунга келиб тушаётган маълумотлар интенсивлиги;  $\gamma_i$  –  $i$  тугунга келиб тушаётган юкламанинг ўртача интенсивлиги;  $T_i$  –  $i$  тугундаги маълумотларнинг ушланиб қолиш вақти;  $\mu_i$  –  $i$  тугуннинг хизмат қилиш интенсивлиги;  $n$  – тугунлар сони.

Маълумотларни текис тақсимлаш йўли орқали юкламаларни тақсимлашнинг математик нуктаи назардан масаланинг қўйилиши қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\bar{T} = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left( w_1 \frac{f_{ij}}{\mu_i - f_{ij}} + w_2 \cdot f_{ij} \cdot T_{ij} \right) \longrightarrow \min, \quad (14)$$

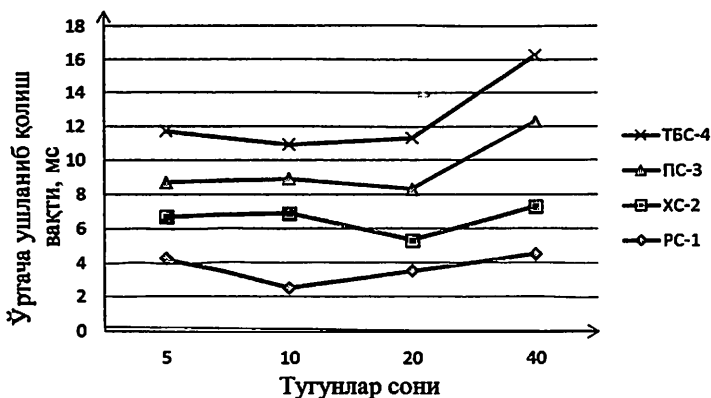
$$f_{ij} \geq 0, \quad \sum_{i=1}^n f_{ij} \leq \mu_j, \quad \sum_{i=1}^n f_{ij} = F_i.$$

бу ерда:  $m$  – қабул қилувчи тугунлар сони;  $w_1, w_2$  – ҳар бир мезон учун оғирлик коэффицентлари, одатда  $w_2 = 1 - w_1$ ;  $T_{ij} - i$  ва  $j$  - тугунлардаги маълумотларнинг ушланиб қолиш вақти;  $f_{ij} - i$  тугундан  $j$  тугунга юборилаётган маълумотлар интенсивлиги. Ушбу ҳолатда юкламалар тугунларга приоритетсиз маълумотлар оқими сифатида келиб тушаяпти деб қаралади.

Тугунларни оптимал жойлаштириш масаласини ечиш учун (14) чи мезонни такомиллаштирамиз.  $i$  тугунда маълумотларга хизмат қилиш нархини белгилувчи  $Z$ , ўзгарувчини киритилади.  $Z_i$  ўзгарувчи  $i$  тугуннинг қўшилганлигини ёки аренда учун кетадиган харажатлар миқдорини аниқлайди. (14) мезонга тугунларда маълумотларга хизмат қилиш нархини қўшамиз ва қуйидаги формула олинади:

$$\bar{T} = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left( w_1 \cdot \frac{f_{ij}}{\mu_i - f_{ij}} + w_2 \cdot f_{ij} \cdot T_{ij} + w_3 \cdot f_{ij} Z_j \right) \rightarrow \min, \quad (15)$$

Турли топологияларга эга бўлган телекоммуникация тармоқларида (РС-радиал структура, ХС - халқасимон структура, ПС – панжарали структура, ТБС-тўлиқ боғланган структура) оптимал тугунлар сонини аниқлашда пакетларнинг ўртача ушланиб қолиш вақти асосий параметр эканлигини эътиборга олган ҳолда, пакетларнинг ўртача ушланиб қолиш вақтини ҳисобланади ва натижада тармоқ тугунлар сонининг маълумотларнинг ўртача ушланиб қолиш ватига боғлиқлик графиги олинади (5-расм).

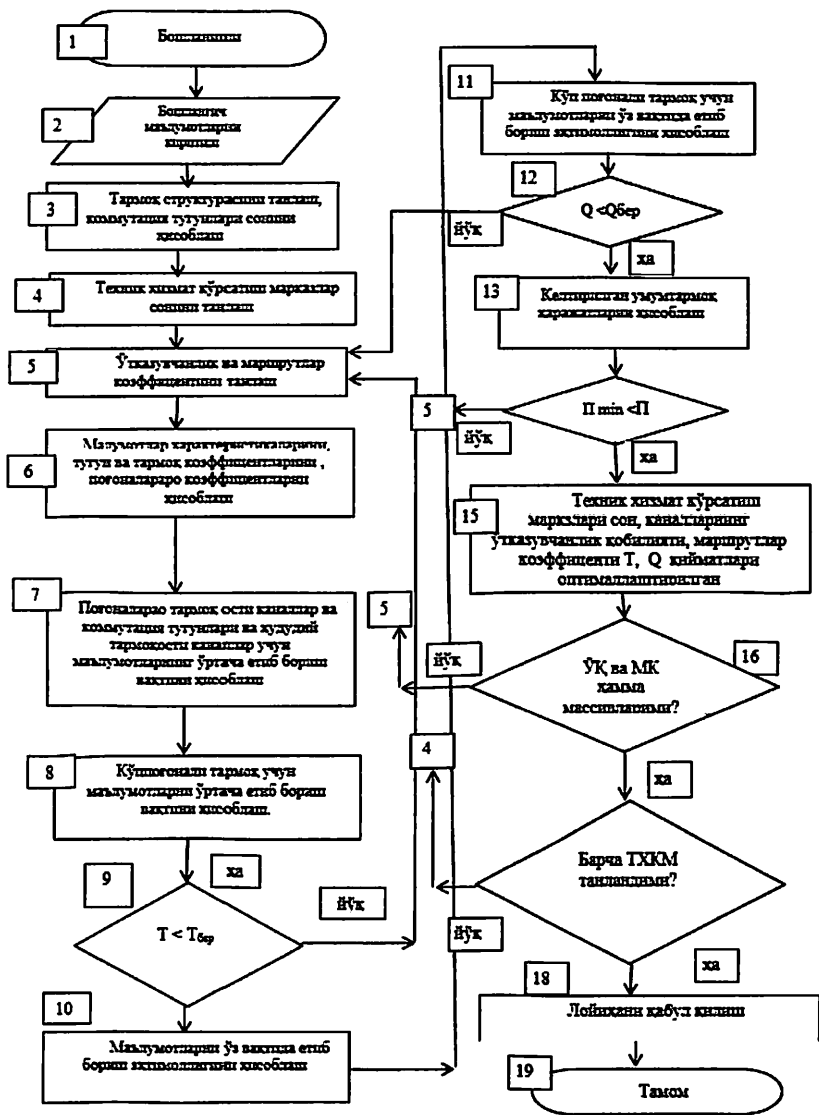


5-расм. Тармоқ тугунлари сонининг маълумотларнинг ўртача ушланиб қолиш вақтига боғлиқлик графиги.

Тугунларнинг сони ошиб борган сари маълумотларнинг тугунларда ушланиб қолиш вақтининг ўртача қиймати ошиб боради. Радиал топологияли тармоқда энг кам миқдордаги маълумотларнинг ушланиб қолиш вақти таъминланган. Барча топологияли тармоқларда тугунлар сони 10 бўлганда маълумотларнинг ўртача ушланиб қолиш вақтининг оптимум қиймати мавжуд. Радиал топологик структурали тармоқ қўлланилганда маълумотларнинг тугунларда ушланиб қолиш вақтининг минимал қиймати кузатилади: 40 та тугун бўлганда 4 мс, бу эса тўлиқ боғланган тармоқдан (16 мс) 4 баробар кам, ва 3 баробар кам панжарали тармоқдан (12 мс).

Диссертациянинг тўртинчи “Кўп поғонали телекоммуникация тармоқларини тадқиқ қилишнинг алгоритмларини ишлаб чиқиш” бобда кўп поғонали структурага эга бўлган телекоммуникация тармоқларини оптималлаштириш алгоритмлари келтирилган. Яратилган алгоритм телекоммуникация тармоқларини куммулятив умумтармоқ ҳаражатлар мезони бўйича тармоқнинг оптимал структурасини аниқлаш (6-расм) ва тармоқнинг бир нечта параметрларини ҳисоблаш имконини беради ҳамда янги технологияларга асосланган тармоқлар параметрларини ҳисоблашга мослашган алгоритм ҳисобланади. Яратилган алгоритм телекоммуникация тармоқларининг умумтармоқ куммулятив ҳаражатларини ҳисоблаш, оптимал структурасини аниқлаш ва янги техник ва структуравий ўзгаришларга мослашиш имконини беради.

Тармоқ структураларини оптималлаштириш алгоритми, қуйидаги қадамлар бўйича амалга оширилади:

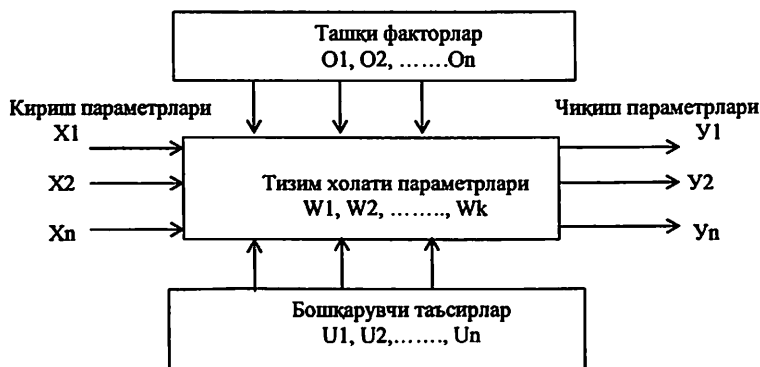


6-расм. Умумтармоқ куммулятив харажатлар мезони бўйича тармоқ структурасини оптималлаштириш алгоритми.

Диссертациянинг бешинчи «Махсус тайинланган телекоммуникация алоқа тармоқларини тадқиқ қилиш» бобида махсус тайинланган

телекоммуникация алоқа тармоқларини лойиҳалаш тамойилларини ишлаб чиқиш масалалари ёритилган.

Ҳар қандай тизим ва унинг функционал вазифаларини бажариш шартлари маълум бир параметрларнинг йиғиндилари ва махсус тайинланган телекоммуникация алоқа тармоқларининг оммавий хизмат кўрсатиш тизими орқали характерланади (7-расм)



7-расм. Махсус тайинланган телекоммуникация алоқа тармоқларининг оммавий хизмат кўрсатиш тизими.

Юқориди келтирилган махсус тайинланган тармоқнинг оммавий хизмат кўрсатиш тизимига мос ҳолда, махсус тайинланган тармоқнинг математик модели қуйидаги кўриниш олади:

$$Y^k = F(X^k(t), W^k(t), U^k(t), O_s(t)), \quad (16)$$

бу ерда:  $Y^k$  – махсус тайинланган алоқа тизимининг чиқиш (мақсадли) самарадорлигининг сонли кўрсаткичлари;  $X^k(t)$  – кириш параметрлари;  $W^k(t)$  – тизимнинг ички ҳолати параметрлари;  $O_s(t)$  – бошқарувсиз ташқи таъсирлар;  $U^k(t)$  – алоқа тизимининг бошқарувчи таъсирлар параметрлари. Кириш параметрлари  $X^k$  вектор орқали характерланади ва қуйидаги ташкил этувчилар таркибидан иборат бўлади:

$$X^k = (Q^{k,q}, Y_{ij}^m), \quad (17)$$

бу ерда:  $Q^{k,q}$  –  $q$  трафикнинг  $k$  синфига мансуб бўлган охирлаш қурилмалар сони;  $Y_{ij}^m$  –  $i$  ва  $j$  тугунлар ўртасидаги чакириқлар интенсивлиги, чак/соат. Алоқа тизимининг ҳолат параметрлари қуйидаги вектор орқали тақдим этилади:

$$W^k = (G, Z, H_h^k, V_q, P_{ij}^{cm}), \quad (18)$$

Бошқарувчи таъсирлар параметрлари қуйидаги вектор орқали ифодаланеди:

$$U^k = [A^k, S_n^k(M_k)], \quad (19)$$

бу ерда:  $A^k$  - бошқарув тизимини характерловчи катталиклар;  $S_n^k(M_k)$  -  $h$  - сатхли мангикий структурали  $M$  - химоя механизминини амалга оширувчи таянчли  $S$ -хизмат турлар хавфсизлиги. Яратилган модель махсус тайинланган телекоммуникация алоқа тармоқларининг қуриш хусусиятларини, хизмат турларини ва замонавий ахборот турларини ўз ичига олади. Модель алоқа тизимларининг жангавор тайёргарлигини таъминлаш, ҳамда ҳарбий алоқа тизимини мақсадли қўллаш, тармоқни қуриш жараёнларини ва математик аппаратни янада такомиллаштириш имконини беради.

Махсус тайинланган телекоммуникация алоқа тармоқларининг таянч структуралари учун аналитик ифодалар қуйидаги 1-жадвалда келтирилган.

1-Жадвал

Тармоқ турлари	"Қирралар" сони, $m$	Каналнинг ўртача узунлиги, $l$	Изох
РС	$n-1$	$\frac{0,24Z_1(n_p-1)\sqrt{\frac{n}{p}} + Z_2(n-p)(0,1\sqrt{np} + 0,15)}{\sqrt{np} (n-1)}$	$p = \frac{n_g}{n},$ $Z_1 \geq Z_2$
ХС	$n-1$	$\sqrt{\frac{Z_1 Z_2}{n}}$	-
ПС	$m = (n_g - 1) \cdot n_g + (n_s - 1) \cdot n_s$	$\sqrt{\frac{Z_1 Z_2}{n}}$	-
ТБС	$\frac{n(n-1)}{2}$	$\frac{(0,32Z_1 + 0,13Z_2)n - (0,32Z_2 + 0,13Z_1)}{n-1}$	$Z_1 \geq Z_2$

Махсус тайинланган телекоммуникация алоқа тармоқларини лойиҳалаштириш тамойиллари ҳар хил структуравий вариантлар параметрларидан иборат бўлган, дастлабки маълумотлар асосида ҳисоблаш имконини берувчи муҳандислик масалаларини ечишни талаб этади.

Мумкин бўлган таянч топологиялар қуйидаги "Панжарали структура"(ПС), "Халқасимон структура" (ХС), "Радиал структура" (РС) ва "Тўлиқ боғланган структура" (ТБС) лар орқали характерланади. Асосий структуравий параметрларни бир бирлари билан боғловчи, таянч структуралар учун қуйидаги аналитик ифодалар келтирилади: диаметр  $d$ ,  $k$  чўққиларнинг ўртача сатҳи, маршрутларнинг ўртача узунлиги  $\pi$ ,  $m$  "қирралар" сони ва "учлар" сони  $n$  (1-жадвал).

Кўп поғонали телекоммуникация тармоқларининг структуравий топологик вариантлари кам ҳаражатли ҳисобланади. Шу сабабли, катта

областлар бўйича ёйилган махсус тайинланган телекоммуникация алоқа тармоқларини лойиҳалаштиришда тармоқнинг оптимал структурасини иқтисодий кўрсаткичлар орқали тадқиқ қилинса (аниқланса) мақсадга мувофиқ бўлади.

Ўзгарувчи  $n_r$  орқали битта горизонтал қаторда жойлашган охирлаш қурилмалар сонини ифодаланса,  $m_r$  - вертикаль қатордаги охирлаш қурилмалар сонини ифодалайди.  $Z_1, Z_2$  - тармоқ областини ифодаловчи тўғри тўртбурчакнинг томонлари ҳисобланади. Махсус тайинланган телекоммуникация алоқа тармоқларининг оптимал структурасини аниқлаш учун қуйидаги умумтармоқ куммулятив ҳаражатлар формуласидан фойдаланилади:

$$\Pi(X) = \sum_{r=2}^R \left[ E_n \sum_{i=1}^I W_{ir} * C_i^y * n_{ir} + \sum_{j=1}^J W_{jr} * C_j^k * m_{jr} + \sum_{j=1}^J W_{j,r-1,r} * C_{j,r-1,r}^k * m_{j,r-1,r} \right]. \quad (20)$$

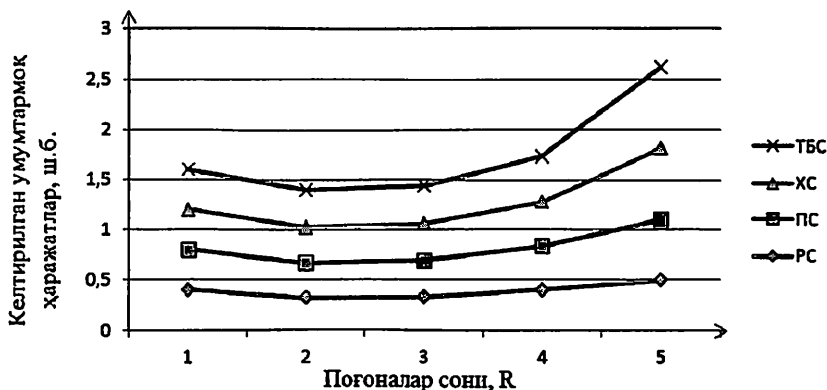
(20) формуладаги ўзгарувчилар (9) формулада келтирилган ўзгарувчиларга мос келади. Юқоридаги (20) формулани минималлаштириш учун глобал ва локал бўлган самарали қидирув усулларидан фойдаланилади, масалан, жуфт синовли қадамли алгоритм ва қидирув интервалини камайтирувчи тасодифий қидирув усуллари. Жуфт синовли қадамли алгоритм усулида ихтиёрий  $X_j$  нуктадан  $i$  координата бўйича  $X_{j+1}^{(i)} = X_j^{(i)} + \Delta X^{(i)}$  қадам ташланади. Агар  $F(X_{j+1}) < F(X_j)$  бўлса у қадам ҳисобга олинади. Агар қадам муваффақиятсиз бўлса, у холда қарама қарши йўналиш бўйича икки қадам ташланади, агар  $F(X_{j+1}) < F(X_j)$  бўлса у нукта ҳисобга олинади. Акс холда тизим орқага  $X_j$  нуктага қайтади ва бошқа координата бўйича силжиш амалга оширилади. Жуфт синовли қадамли алгоритми тўхтагандан кейин, бу эса локал экстремум нуктанинг топишига мос келган бўлади,  $\Delta X$  қидирув қадамини камайтириш амалга оширилади. Қидирув қадамининг минимал бўлган  $\Delta X_{\min} = 1$  қийматига эришилганда бошқарув жараёни қидирув интервалини камайтирувчи тасодифий қидирув усулига берилади. Қидирув интервалини камайтирувчи тасодифий қидирув усули қуйидаги формула орқали ифодаланади:

$$\Delta X_j = \left\{ \begin{array}{l} \Delta X[*], F(X_j) \leq F(X_{j-1}) \\ -\Delta X_{j-1}, F(X_j) \geq F(X_{j-1}) \end{array} \right\}, \quad (21)$$

бу ерда:  $[*] = (\zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_r)$  - тармоқнинг оптималлаштирилувчи параметрларининг барча йўналишлар бўйича текис тақсимланган тасодифий бирламчи вектори. (21) га асосан, агар  $F(X_j)$  нинг қиймати камаймаса тасодифий йўналишдаги  $[*]$  қадам муваффақиятсиз ҳисобланади. Акс холда тизим  $X_j$  нуктага силжийди ва тизимни бошқариш жуфт синовли қадамли алгоритм усулига берилади. Талаб этилган керакли қийматларга эришилгандан кейин параметр  $\Delta X$  қиймати камайтирилади, бу қидирув майдонининг камайишига мос келади, яъни экстремум нуктанинг



топилганлик холатини билдиради. Шундай қилиб, жуфт синовли қадамли алгоритми локал минимум нуқтасини қидиришни, қидирув интервалини камайтирувчи тасодифий қидирув усули эса локал минимумдан бошқа худуддаги минимумга «сакраш» ни амалга оширади. Ишлаб чиқилган ҳисоблаш дастурий мажмуаси ёрдамида бажарилган ҳисоблашлар натижасида умумтармоқ келтирилган ҳаражатларнинг ҳар хил топологияли тармоқнинг поғоналар сонига боғлиқлик графиги олинди (8-расм).



8-расм. Кумулятив умумтармоқ ҳаражатларнинг поғоналар сонига боғлиқлик графиги.

Тармоқ турли топологияли бўлишидан қатъий назар,  $R = 2, 3, 4, 5$  поғонали тармоқлар ичида 2 ва 3 поғонали тармоқлар 4 ва 5 поғонали тармоқларга нисбатан кам ҳаражатли тармоқлар эканлиги аниқланди. Радиал тармоқлар тўлиқ боғланувчи тармоқларга нисбатан 5 баробарга, халқали тармоқларга нисбатан 3 баробарга ва панжарали тармоқларга нисбатан эса 2 мартаба кам ҳаражатли эканлиги аниқланди.

## ХУЛОСА

Кўп поғонали структурага эга бўлган телекоммуникация тармоқларини тадқиқ қилиш усуллари, моделлари ва алгоритмлари бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида:

1. Маълумотлар оқимининг ишончилигини, приоритетлигини ҳисобловчи, вақт-эҳтимолли характеристикаларини ҳисоблаш имконини берувчи Лаплас-Стилтјес ўзгартирувчи математик аппарати асосида, нисбий ва абсолют приоритетли маълумотлар оқими характеристикаларини ҳисоблаш моделлари таҳлил қилинган.

2. Тармоқнинг структуравий параметрлари (алоқа каналларининг ўтказувчанли қобилияти, алоқа каналлари сони, поғоналар сони, коммутация тугунлари сони) билан маълумотлар оқимининг вақт-эҳтимолли

характеристикаларини (келиб тушаётган маълумотлар оқими интенсивлиги) боғлаш имконини берувчи аналитик модель яратилган.

3. Тармоқнинг оптимал структурасини аниқлаш имконини берувчи, телекоммуникация тармоғининг вақт-эҳтимолли характеристикаларига чегирмаси бўлган, умумтармоқ куммулятив ҳаражатлар мезони бўйича, кўп поғонали телекоммуникация тармоғини географик жойлашувини ва поғоналар сонини ҳисобга олувчи оптималлаштириш алгоритмлари ишлаб чиқилган.

4. Телекоммуникация тармоқларининг оптимал топологиясини аниқлаш, каналларнинг ўтказувчанлик қобилиятини танлаш ва маълумотлар оқимининг ушланиб қолиш вақтини камайтириш имконини берувчи тугунларни оптимал жойлаштириш мезони яратилган.

5. Келиб тушаётган маълумотлар оқимининг ишончилигини ва приоритетлигини ҳисобга олиш имконини берувчи, турли маълумотлар оқимининг вақт-эҳтимолли характеристикаларини ҳисоблаш алгоритми яратилган.

6. Кўп поғонали телекоммуникация тармоқ структурасини оптималлаштириш усуллари такомиллаштирилган.

7. Кўп поғонали махсус тайинланган телекоммуникация алоқа тармоғининг лойиҳалаштириш усуллари ва дастурий ҳисоблаш мажмуаси алоқа тармоғини лойиҳалаш жараёнига амалий тадбиқ этилди ва тармоқнинг оптимал структурасини аниқлаш, лойиҳалаш учун сарф ҳаражатларни 13-17 % гача камайтириш имконини берган.

8. Турли маълумотлар оқимига нисбий ва абсолют приоритетли хизмат қилишнинг математик моделлари, ҳамда тармоқнинг вақт эҳтимолли характеристикаларини ҳисоблаш дастурий мажмуаси локал тармоғининг вақт-эҳтимолли характеристикаларини ҳисоблаш вақтини 15-20% гача қисқартиришга эришилганлиги исботланган.

9. Диссертация тадқиқотининг амалий ва назарий натижалари “UNICON.UZ” Давлат унитар корхонасининг илмий тадқиқот ишларига ва телекоммуникация соҳасида Давлат стандартларини ишлаб чиқиш жараёнига тадбиқ этилди. Яратилган алгоритм ва моделларни амалда тадбиқ этиш натижасида маълумотларнинг ўртача ушланиб қолиш вақтини камайтириш ва телекоммуникация тармоғи каналларининг ўтказувчанлик қобилиятини ошириш имконини берганлиги исботланган.

10. Тармоқни оптималлаштириш усули ва ҳисоблаш дастурий мажмуаси “УЗБЕКТЕЛЕКОМ” акциядорлик компанияси тармоқларини лойиҳалаштириш жараёнига тадбиқ этилди ва лойиҳалаштириш учун кетадиган сарф ҳаражатларни 3-4 % гача камайтиришга эришилган.

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

---

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ**

**ПАРСИЕВ САЙДИАХАТ СОЛИХОДЖАЕВИЧ**

**МЕТОДЫ, МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ С МНОГОУРОВНЕВОЙ  
СТРУКТУРОЙ**

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

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА  
ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК (DSc)**

**Ташкент - 2021**

Тема докторской диссертации по техническим наукам (DSc) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером B2020.4.DSc/T399.

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

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

**Научный консультант:**

**Нишанбаев Туйгун Нишанбаевич**  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:**

**Гулямов Шухрат Маннапович**  
доктор технических наук, профессор

**Турсунов Бахтияр Мухаммеджанович**  
доктор технических наук, профессор

**Давронбеков Дилмурод Абдужалилович**  
доктор технических наук, доцент

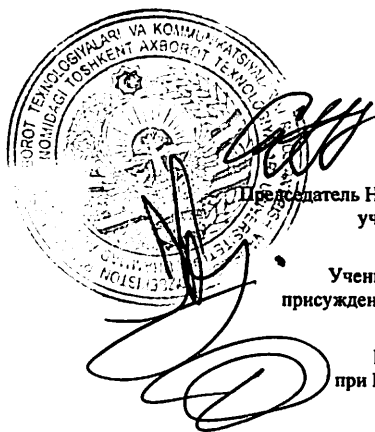
**Ведущая организация:**

**Ташкентский государственный  
транспортный университет**

Защита диссертации состоится «16» 07 2021 г. в 14.00 часов на заседании Научного Совета DSc. 13/30.12.2019.T.07.02 при Ташкентском университете информационных технологий (Адрес: 100202, г. Ташкент, ул. А. 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 (регистрационный номер №216). Адрес: 100202, г. Ташкент, ул. А. Темура, 108. Тел: (99871) 238-65-44.

Автореферат диссертации разослан «06» 07 2021 года.  
(реестр протокол рассылки № 1 от «05» 07 2021 г.)



**И.Х.Саддиқов**

Председатель Научного совета по присуждению  
ученых степеней, д.т.н., профессор

**Х.Э.Хужаматов**

Ученый секретарь Научного совета по  
присуждению ученых степеней, PhD, доцент

**Д. А. Давронбеков**

Председатель научного семинара  
при Научном совете по присуждению  
ученых степеней, д.т.н., доцент

## **ВВЕДЕНИЕ (Аннотация диссертации доктора наук (DSc))**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире проводятся научно-исследовательские работы, направленные на разработку эффективных методов и алгоритмов исследования телекоммуникационных сетей с многоуровневой структурой. Наиболее актуальными являются работы по синтезу моделей телекоммуникационных сетей с многоуровневой структурой, разработке алгоритмов расчета вероятностно-временных характеристик телекоммуникационных сетей с многоуровневой структурой и оптимизации телекоммуникационных сетей по критерию общесетевых приведенных затрат и соответствующих вычислительных программных средств. В развитых странах мира, в том числе США, Канаде, Германии, Южной Кореи, Китае, Индии, Российской Федерации и др. важное значение имеют разработки эффективных алгоритмов исследования телекоммуникационных сетей с многоуровневой структурой. Также актуальными являются разработки алгоритмов построения телекоммуникационных сетей связи специального назначения.

В мире проводятся научные исследования, направленные на разработку алгоритмов оптимизации структуры телекоммуникационных сетей с многоуровневой структурой по критерию общесетевых приведенных затрат и определению оптимальной структуры сетей, а также алгоритма расчета вероятностно-временных характеристик приоритетных потоков информации и созданию программных средств. Кроме этого актуальными являются разработки методики построения и вычислительного программного комплекса телекоммуникационных сетей специального назначения. Также актуальными являются оптимальное размещение узлов по критерию среднего времени задержки, а также разработки алгоритмов оптимизации структуры телекоммуникационных сетей с многоуровневой структурой и вычислительных программных средств, обеспечивающих повышение эффективности их функционирования.

В нашей Республике проводятся широкомасштабные научно-исследовательские работы по разработке алгоритма расчета вероятностно-временных характеристик потоков информации и алгоритмов оптимизации телекоммуникационных сетей с многоуровневой структурой с учетом разнородности передаваемого трафика, надежности. В стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан в 2017-2021 годах определены такие задачи, как «...внедрение информационно-коммуникационных технологий в экономике, в социальной сфере и управлении, ... совершенствование системы информационных технологий, повышение эффективности, качества оказания и доступности государственных услуг для населения и субъектов предпринимательства»<sup>1</sup>. При реализации этих задач, важными вопросами являются разработка

---

<sup>1</sup> Указ Президента Республики Узбекистан УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан»

алгоритмов оптимизации и моделей топологии телекоммуникационных сетей с многоуровневой структурой и алгоритма расчета вероятностно-временных характеристик с учетом разнородности и приоритетности поступающих потоков информации.

Данное диссертационное исследование в значительной степени служит для реализации задач, предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан №6079 от 5 октября 2020 года «Об утверждении стратегии «Цифровой Узбекистан-2030» и мерах по ее эффективной реализации», постановлением Президента Республики Узбекистан от 21 ноября 2018 года №ПП-4022 «О мерах по дальнейшей модернизации цифровой инфраструктуры в целях развития цифровой экономики», а также постановлением Президента Республики Узбекистан от 22 мая 2019 года № ПП-4329 «О мерах по ускорению развития телекоммуникационной инфраструктуры в населенных пунктах республики Узбекистан» и в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере».

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий в Республике Узбекистан.** Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологии в Республике IV – «Развитие информатизации и информационно-коммуникационных технологий».

**Обзор научных исследований по теме диссертации.** Научные исследования, направленные на разработку моделей топологии телекоммуникационных сетей с многоуровневой структурой (ТС с МС), алгоритмов и вычислительных программ оптимизации для решения задачи проектирования ТС с МС, а также алгоритма расчета вероятностно-временных характеристик (ВВХ) разнородных потоков информации проводятся в научных центрах и в высших образовательных учреждениях ведущих стран мира, в том числе: Eindhoven University of Technology (Нидерланды), Campus Pierre et Marie Curie Sorbonne Université (Франция), Université du Québec en Outaouais (Канада), Massachusetts Institute of Technology (США), University of Oslo (Норвегия), ETH Zurich (Швейцария), Warsaw University of Technology (Польша).

Разработка алгоритмов оптимизации структуры сетей и расчета характеристик разнородных потоков информации на базе математического аппарата Лапласа-Стилтьеса проводились в Санкт-Петербургском Государственном университете телекоммуникаций имени профессора М.А. Бонч-Бруевича (Россия), Московском техническом университете связи и информатики (Россия), Военно - космической академии имени А.Ф. Можайского (Россия), Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного (Россия).

В результате исследований, проведенных в ведущих странах мира в области разработки эффективных алгоритмов оптимизации и расчета ВВХ разнородных потоков информации телекоммуникационных сетей, были получены следующие результаты: приведены оптимальные решения по проблемам поиска оптимальных сетей-кластеров, эвристических процедур

решения и математические модели сетей (Graduate School of Business and Administration, США); приведен обзор разработок по решению современных задач оптимизации структуры сетей связи (Maastricht Research School of Economics of Technology and Organization, Нидерланды); предложен оптимизационный метод штрафных функций, по критерию общесетевых приведенных затрат, при ограничениях на среднее время задержки пакетов информации (Санкт-Петербургский Государственный университет телекоммуникаций имени профессора М. А. Бонч-Бруевича, Россия).

**Степень изученности проблемы.** В разработке эффективных методов исследований и алгоритмов оптимизации структуры телекоммуникационных сетей с многоуровневой структурой и расчета характеристик разнородных потоков информации, принципов построения телекоммуникационных сетей специального назначения значительный вклад внесли Нгуен Дык Тай, Li Y.F., D. R. Miller, W. Ogryczak, M. Piyo, Sansavini G., Zio E., 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. Янбух, Столяров Б. А., Н. А. Соколов, Б. С. Гольдштейн, Г. В. Чечин, К. Е. Легков и др.

В Республике Узбекистан алгоритмы оптимизации структуры ТС с МС по критерию общесетевых приведенных затрат и математические модели расчета вероятностно-временных характеристик разнородных потоков информации рассмотрены в работах М. Н. Арипова, Т. Н. Нишанбаева, Р. И. Исаева, М. М. Мусаева, Х. Н. Зайнидинов и др.

Вопросы разработки методик расчета ВВХ потоков информации и исследования структурных параметров телекоммуникационных сетей рассматривались в работах Х.З. Игамбердиева, Ш. М. Гулямова и Н. Б. Усмановой.

Анализ исследования в этой области показывает, что в настоящее время недостаточно изучены вопросы разработки алгоритмов оптимизации структуры телекоммуникационных сетей с многоуровневой структурой, базирующихся на системном подходе. Не до конца изучены также математический аппарат описания процессов передачи разнородного потока информации, учитывающий надежность, а также приоритетность этих потоков информации. Существующие алгоритмы исследования телекоммуникационных сетей, формализующих процессы оптимизации их структуры по критерию общесетевых приведенных затрат, а также телекоммуникационные сети связи специального назначения и алгоритм расчета вероятностно-временных характеристик разнородных потоков также недостаточно изучены.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, в котором выполнена диссертация.** Исследование выполнено в соответствии с планами научно-исследовательских работ Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хорезми в рамках грантов

№БВ-Ф4-011 «Развитие теории, методов и средств параллельных вычислений в задачах обработки сигналов и изображений» (2019-2020) и №ФВ - Ф3-2019080214 «Создание многофункционального робота для применения в чрезвычайных ситуациях» (2020- 2021).

Целью исследования является разработка алгоритмов и моделей расчета характеристик потоков информации, усовершенствование методов оптимизации топологической структуры телекоммуникационных сетей с многоуровневой структурой, обеспечивающих повышение эффективности их функционирования.

**Задачи исследования:**

анализ математических моделей с относительными и абсолютными приоритетами на отдельных фазах и трактах сети с учетом разнородности и надежности поступающих потоков информации;

разработка алгоритмов оптимизации структуры телекоммуникационной сети по критерию общесетевых приведенных затрат;

разработка критерия оптимального размещения узлов в телекоммуникационной сети по критерию средней задержки потоков информации;

разработка аналитической модели, позволяющей связать вероятностно-временные характеристики потоков информации со структурными параметрами сети;

разработка алгоритма расчета вероятностно-временных характеристик приоритетных потоков информации телекоммуникационных сетей с многоуровневой структурой;

усовершенствование методов оптимизации телекоммуникационных сетей с многоуровневой структурой;

разработка критерия построения сетей связи специального назначения с многоуровневой структурой.

Объектом исследования являются телекоммуникационные сети с многоуровневой структурой и приоритетные системы обслуживания разнородных потоков информации.

Предметом исследования являются модели, процессы и алгоритмы исследования телекоммуникационных сетей с многоуровневой структурой.

Методы исследования: в процессе исследования использовались методы теории сетей связи, теория вероятностей, а также методы дискретной и условной оптимизации.

**Научная новизна исследования состоит в следующем:**

разработаны математические модели расчета характеристик разнородных потоков информации с относительными и абсолютными приоритетами, позволяющие определить эффективность телекоммуникационных сетей;

разработана аналитическая модель, позволяющая связать вероятностно-временные характеристики потоков информации со структурными параметрами сети;



разработаны алгоритмы оптимизации телекоммуникационных сетей с многоуровневой структурой по критерию общесетевых кумулятивных затрат, позволяющие определить оптимальную структуру сетей;

разработан критерий оптимального размещения узлов, позволяющий минимизировать среднюю задержку и выбрать пропускную способность каналов;

разработан алгоритм расчета вероятностно-временных характеристик разнородных потоков информации, позволяющий учитывать приоритетность и надежность поступающих потоков;

усовершенствованы методы оптимизации структуры телекоммуникационных сетей с многоуровневой структурой;

разработан критерий построения телекоммуникационных сетей связи специального назначения, позволяющий определить оптимальную структуру сетей.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработан вычислительный программный комплекс по оптимизации структуры телекоммуникационных сетей с многоуровневой структурой, по критерию общесетевых приведенных затрат;

разработан вычислительный программный продукт по расчету среднего времени задержки пакета сетей специального назначения на основе модели М/М/1;

разработан вычислительный программный продукт по расчету средней интенсивности поступления нагрузки на узел сети специального назначения;

разработан вычислительный программный продукт по расчету суммарной интенсивности потоков информации на узел сети;

разработан вычислительный программный продукт по оптимизации структуры сетей специального назначения по критерию среднего времени задержки пакетов;

разработан вычислительный программный продукт по расчету вероятностно-временных характеристик потоков информации в телекоммуникационной сети;

разработан вычислительный программный продукт по алгоритму оптимизации структуры телекоммуникационных сетей по критерию общесетевых кумулятивных затрат.

**Достоверность научных результатов исследования** обеспечивается строгостью использованных математических моделей расчета характеристик разнородных потоков информации, с приоритетным обслуживанием и алгоритмом оптимизации телекоммуникационных сетей с многоуровневой структурой, а также качественной и количественной оценками полученных результатов, которые подтверждаются соответствующими свидетельствами и актами их внедрения.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость результатов исследований заключается в разработке математических моделей, позволяющих определить эффективность приоритетных систем обслуживания, аналитической модели, позволяющей

связать вероятностно-временные характеристики потоков информации со структурными параметрами сети, алгоритмов оптимизации, определяющих оптимальную структуру сетей, критерий оптимального размещения узлов, минимизирующих среднюю задержку и выбрать пропускную способность каналов связи, алгоритма расчета вероятностно-временных характеристик разнородных потоков информации, учитывающих приоритетность и надежность поступающих потоков, методов оптимизации и критерий построения телекоммуникационных сетей связей специального назначения, определяющих оптимальную структуру сетей.

Практическая значимость результатов диссертации выражается в разработке вычислительных программных комплексов расчета среднего времени задержки пакета сетей специального назначения на основе модели M/M/1, оптимизации структуры телекоммуникационных сетей с многоуровневой структурой, по критерию общесетевых приведенных затрат, расчета вероятностно-временных характеристик разнородных потоков информации, позволяющих учитывать приоритетность и надежность поступающих потоков.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных результатов по разработке методов, моделей и алгоритмов исследования телекоммуникационных сетей с многоуровневой структурой:

разработанный алгоритм оптимизации структуры сетей связи и критерий построения телекоммуникационных сетей связи специального назначения, позволяющие определить оптимальную структуру сетей, а также программный комплекс внедрены в Главном управлении связи, информационных технологий и защиты информации Генерального Штаба Вооруженных Сил Республики Узбекистан (Справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций №33-8/7130 от 25 ноября 2020 г.). В результате определена оптимальная структура сети и достигнуты сокращение затрат на их проектирование на 13–17% и улучшение качества принятия решений;

разработанные математические модели расчета характеристик разнородных потоков информации с относительными и абсолютными приоритетами, а также алгоритм расчета вероятностно-временных характеристик разнородных потоков информации, позволяющие учитывать приоритетность и надежность поступающих потоков внедрены в локальной сети Военного института связи и информационно-коммуникационных технологий Министерства обороны Республики Узбекистан (Справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций №33-8/7130 от 25 ноября 2020 г.). В результате достигнуты сокращение время расчета характеристик локальной сети военного института на 15–20% и повышение качества передачи потоков информации;

разработанные методы и алгоритмы оптимизации структуры телекоммуникационных сетей по критерию общесетевых приведенных затрат, позволяющие определить оптимальную структуру телекоммуникационных сетей с многоуровневой структурой, и программный комплекс внедрены в АК

«УЗБЕКТЕЛЕКОМ» (Справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций №33-8/7130 от 25 ноября 2020 г.). В результате, достигнуты сокращение затрат на их проектирование на 3 - 4 % и повышение качества принимаемых решений;

разработанный критерий оптимального размещения узлов, позволяющий минимизировать среднюю задержку и выбрать пропускную способность каналов связи внедрен в научно-исследовательские и производственные процессы государственного унитарного предприятия «UNICON.UZ» (Справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций №33-8/7130 от 25 ноября 2020 г.). В результате достигнута минимизация времени средней задержки потоков информации и повышение пропускной способности каналов в телекоммуникационной сети с многоуровневой структурой.

**Апробация результатов исследования.** Теоретические и прикладные результаты исследования, проведенного в рамках данной диссертации, докладывались и обсуждались на 7 Международных и 6 Республиканских научно-практических конференциях и в научных семинарах.

**Публикации.** По теме диссертации опубликованы 31 научная работа, из них 12 научных статей (3 – в зарубежных и 9 – в республиканских журналах, рекомендованных Высшей Аттестационной Комиссией при Кабинете Министров Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций), а также получены 6 свидетельства о регистрации программных средств для ЭВМ.

**Объем и структура диссертации.** Диссертация содержит 194 страниц и состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложения.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

Во введении обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цели и задачи, выявлены объект и предмет исследования, определено соответствие исследования по приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан. Изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, приведены сведения о внедрении результатов исследования в практику, результатов апробации работы, а также сведения о публикации результатов работы и структуры диссертации.

В первой главе диссертации «Обзор и анализ развития телекоммуникационных сетей с многоуровневой структурой» приведен обзор и анализ литературных источников по исследованию и развитию телекоммуникационных сетей с многоуровневой структурой. Структура телекоммуникационной сети является ее важнейшей конструктивной характеристикой и представляется территориально разнесенным набором программно-аппаратных средств (центров коммутации, каналов связи,

центров управлений и т. д.). Выяснено, что экономично построенная телекоммуникационная сеть связи крупного масштаба является многоуровневой, включающей многократно используемые тракты (Рис.1)

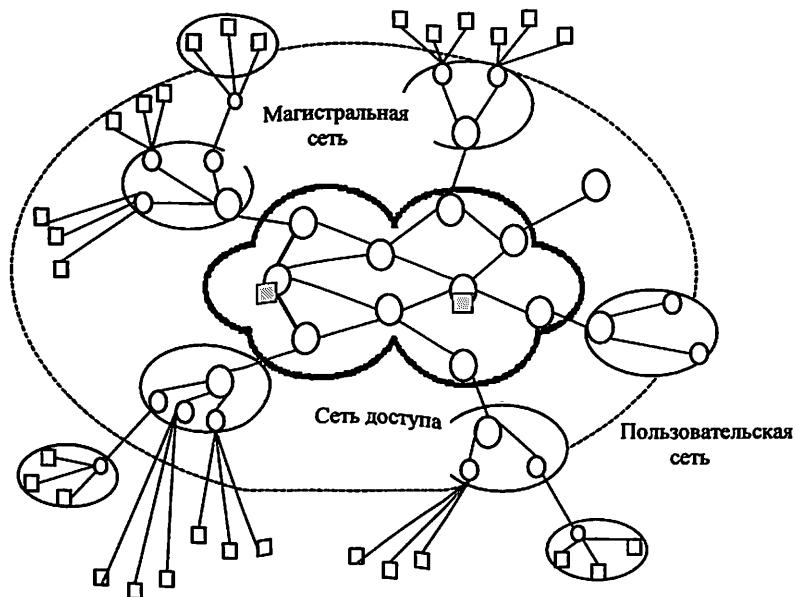


Рис. 1. Структура многоуровневой телекоммуникационной сети.

При проектировании такой сети снижается общая протяженность каналов сети, а следовательно и их стоимость, эффективно используются узловое оборудование и каналы сети, упрощается процедура управления сети и достигается определенная экономия ресурсов сети и т.д.

Выявлено, что многоуровневые телекоммуникационные сети отличаются рядом преимуществ, к которым можно отнести: снижение общей протяженности каналов сети, а следовательно и их стоимости; эффективное использование узлового оборудования и каналов связи; обеспечение максимально возможного замыкания нагрузки на нижних ступенях иерархии; упрощение процедур управления сетью; достижение определенной экономии ресурсов сети; повышение эффективности функционирования телекоммуникационных сетей.

Во второй главе диссертации «Модели приоритетного обслуживания потоков информации в телекоммуникационной сети с многоуровневой структурой» разработан алгоритм расчета характеристик разнородных потоков информации с относительным и абсолютным приоритетами на основе преобразования Лапласа-Стилтьеса (ПЛС). Для расчета характеристик разнородных потоков информации используются математический аппарат

(ПЛС) и системы массового обслуживания (СМО) типа  $M_k/G_k/1/\infty$  (экспоненциальный закон поступления заявок, случайный закон обслуживания заявок в системе массового обслуживания с одним прибором и бесконечной очередью) с относительными и абсолютными приоритетами обслуживания разнородных потоков информации. Пусть пакеты с  $P$  приоритетами поступают в однолинейную СМО и образуют пуассоновский поток с интенсивностью  $\lambda_k, k = \overline{1, P}$ . Суммарный поток является пуассоновским с интенсивностью  $\sigma = \sum_{k=1}^P \lambda_k$ . В СМО типа  $M_k/G_k/1/\infty$  протекают два основных процесса:

процесс ожидания, характеризуемый случайным временем  $t_{\text{ож}}$  с функцией распределения (ФР)  $W_k(t)$ ;

процесс обслуживания, характеризуемый случайным временем  $t_{\text{об}}$  с ФР  $H_k(t)$ . Тогда случайное время доставки пакета с  $k$ -м приоритетом будет определяться как:

$$t_{\text{дк}} = t_{\text{ож}} + t_{\text{об}}, k = \overline{1, P}, \quad (1)$$

где:  $t_{\text{ож}}$  – время ожидания начала обслуживания пакетов  $k$ -го приоритета;  $t_{\text{об}}$  – время обслуживания пакетов  $k$ -го приоритета;  $P$  – число приоритетов. Тогда функция распределения (ФР) времени пребывания пакета в системе:

$$V_k(t) = W_k(t) * H_k(t), \quad (2)$$

где \* - стилтьевсовская свертка.

Из выражения (2) получается среднее время пребывания пакета  $k$ -го приоритета в звене передачи:

$$T_k = \int_0^{\infty} t \cdot dV_k(t), \quad (3)$$

Для нахождения времени обслуживания  $t_{\text{об}}$  пакетов  $k$ -го приоритета в звене передачи воспользуемся преобразованием (ПЛС) с ФР  $H_k(t)$  времени обслуживания пакетов  $k$ -го приоритета в момент времени  $t$ .

$$Q_k(v) = \int_0^{\infty} e^{-vt} dV_k(t) = w_k(v) \cdot h_k(v), \quad (4)$$

где:  $v$  - интенсивность старения информации  $v = 1/T_s$ , где  $T_s$  – среднее время старения;  $w_k(v)$  - ПЛС от ФР  $W_k(t)$  времени ожидания начала обслуживания пакетов  $k$ -го приоритета в момент времени  $t$ ;  $h_k(v)$  - ПЛС от ФР  $H_k(t)$  времени обслуживания пакетов  $k$ -го приоритета в момент времени  $t$ . Среднее время доставки пакета для многоуровневой сети  $T$  вычисляется по различным маршрутам относительно доли протекающего по ним потока. Исходя из двух возможных способов установления тракта (виртуального канала) для многоуровневой структуры через узлы  $g$ -й ступени и подсеть  $g$ -й ступени, общесетевое время доставки можно представить в виде:

$$T = \frac{1}{\Lambda} \sum_{r=2}^R [2(\lambda_{r-1,r} m_{r-1,r} T_{r-1,r}) + 2(\lambda_{r,r} m_{r,r} T_{r,r}) + (\lambda_r n_r T_r)], \quad (5)$$

где:  $\Lambda$  - суммарная интенсивность входящего потока в сеть;  $R$  - число ступеней иерархии;  $\lambda$  - интенсивность поступления потоков информации;  $n_r$  - число узлов коммутации на  $r$ -ой ступени;  $m_r$  - число каналов связи  $r$ -ой ступени;  $m_{r-1,r}$  - число каналов связи в межуровневой подсети с индексом  $(r-1, r)$ .

$$m_{r,r} = \frac{n_r k_r}{2}, \quad m_{r-1,r} = n_{r-1}, \quad (6)$$

В результате проведенных исследований, на основании разработанных алгоритма и математических моделей приоритетного обслуживания потоков информации с относительными и абсолютными приоритетами, получены численные результаты Рис.2. Результаты показывают, что абсолютный приоритет для старших приоритетов обеспечивает меньшее время передачи по сравнению с относительным приоритетом для старших приоритетов, т. е. абсолютный приоритет 1 обеспечивает меньшую задержку в 1,75 раз чем относительный приоритет 2, в отношении относительного приоритета 1 в 0,8 раза меньше.

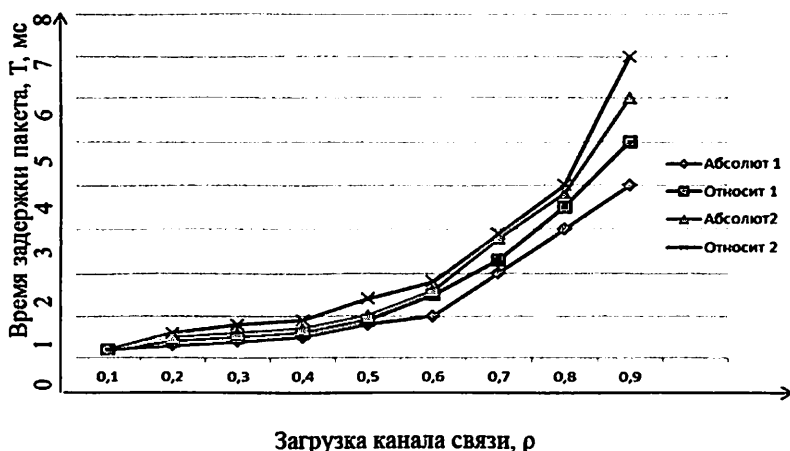


Рис.2. График зависимости средней задержки пакетов от загрузки каналов связи с относительными и абсолютными приоритетами.

В третьей главе диссертации «Исследования телекоммуникационных сетей с многоуровневой структурой» предложены алгоритмы оптимизации ТС с МС по критерию общесетевых приведенных затрат и методика оптимального размещения узлов сети по критерию средней задержки пакетов. Общая задача оптимизации структуры ТС с МС сводится к поиску,

компонентов вектора  $X$ , доставляющего минимум функции общесетевых приведенных затрат и включающего в свой состав:

$$X = [R, W_r, W_{r-1}, n_r, m_r, m_{r-1}], \quad (7)$$

где:  $R$  – число ступеней, топологию  $W_r$ ,  $r = \overline{1, R}$ , подсетей  $r$ -ой ступени, топологию  $W_{r-1}$ ,  $r = \overline{2, R}$  межуровневых подсетей,  $n_r$  – число узлов коммутации (концентраторов и центров узлов коммутации)  $i$ -го типа по  $r$ -ой ступени,  $m_r$  – число каналов связи (КС)  $j$ -го типа по  $r$ -ой ступени,  $m_{r-1,r}$  – число каналов связи (КС)  $j$ -го типа в межуровневой подсети с индексом  $(r-1, r)$ . Общая задача оптимизации структуры ТС с МС имеет следующий вид: минимизировать общесетевые приведенные затраты

$$\Pi(X) \rightarrow \min. \quad (8)$$

При выполнении норм по качеству обслуживания пользователей ТС с МС, т.е. нормы на среднее время  $T_i$  доставки пакета данных  $k$ -го приоритета и вероятность  $P_i\{T \leq t\}$  доставки пакета речи за случайное время  $T$ , не должна превышать заданного  $t$ . Для многоуровневой телекоммуникационной сети общесетевые приведенные затраты  $\Pi(X)$  имеет вид:

$$\Pi(X) = \sum_{r=2}^R \left[ E_H \sum_{i=1}^I W_{ri} * C_i^y * n_{ri} + \sum_{j=1}^J W_{rj} * C_j^k * m_{rj} + \sum_{j=1}^J W_{r-1,r} * C_{j,r-1,r}^k * m_{j,r-1,r} \right] + \sum_{r=1}^R e_r s_r, \quad (9)$$

где:  $R$  – число уровней телекоммуникационной сети;  $E_H$  – нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных затрат,  $E_H = 0,15$ ;  $I$  – число типов узлов (шлюзы, коммутаторы, серверы, рабочие станции), различающихся функцией стоимости  $C_i = \{G_i^y(K_i^y, d_i^y)\}$ , где  $G_i^y$  – производительность УК с коэффициентом готовности  $K_{ГТ}^y$ , интенсивностью восстановления  $d_i^y$ , где  $i = \overline{1, I}$ ;  $n_{ri}$  – число УК  $i$ -го типа на  $r$ -уровне;

$$W_{ri} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й УК помещен в } r\text{-ю ступень иерархии;} \\ 0, & \text{в противоположном случае;} \end{cases}$$

$$W_{rj} = \begin{cases} 1, & \text{если } j\text{-й КС помещен в } r\text{-ю ступень иерархии;} \\ 0, & \text{в противоположном случае;} \end{cases}$$

$$W_{r-1,r} = \begin{cases} 1, & \text{если } j\text{-й КС помещен между } (r-1)\text{-й и} \\ & r\text{-й ступенями иерархии;} \\ 0, & \text{в противоположном случае;} \end{cases}$$

$J$  – число типов каналов связи (КС), различающихся функцией стоимости  $C_j = \{V_j, l_j\}$ , где  $V_j$  – скорость в канале связи,  $l_j$  – длина канала связи с коэффициентом готовности  $K_{ГТ}^k$  и с интенсивностью восстановления  $d_j^k, j = \overline{1, J}$ ;  $m_{rj}$  – число каналов связи  $j$ -го типа на  $r$ -й ступени уровня;  $J$  – число типов

межуровневых КС, различающихся функцией стоимости  $C_{j,r-1,r}^k = \{V_{j,r-1,r}, l_{j,r-1,r}\}$ , где  $V_{j,r-1,r}$  – скорость в межуровневых КС,  $l_{j,r-1,r}$  – длина каналов связи межуровневой ступени с коэффициентом готовности  $K_{j,r-1,r}^k$  и с интенсивностью восстановления КС межуровневой ступени  $d_{j,r-1,r}^k$ , где  $j = \overline{1, J}$ ;  $m_{j,r-1,r}$  – число каналов связи  $j$ -го типа на  $(r-1)$ -й и  $r$ -й межуровневой ступени;

Первая компонента в (9) представляет собой капитальные затраты на узловое оборудование, вторая и третья – на линейное оборудование внутризоновых и межступенчатых подсетей соответственно, а последняя – эксплуатационные расходы. Решение задачи оптимизации структуры телекоммуникационных сетей осуществляется методом штрафных функций. Метод штрафных функций удобен тем, что структура ограничений, их нелинейность или линейность, гладкость или негладкость, не играют принципиальной роли при решении задачи минимизации. Кроме того, метод штрафных функций не требует, чтобы начальная точка принадлежала допустимой области. Упрощение задачи, решаемой методом штрафных функций, достигается за счет усложнения исходной целевой функции, которая заменяется обобщенной целевой функцией  $F(X, h)$ , учитывающей критерий исследования и функции ограничения:

$$F(X, h) = \Pi(X) + P(h)\Psi(X) \rightarrow \min, \quad (10)$$

где:  $\Psi(X)$  – функция вектора « $X$ », причем при  $\Psi(X) = 0$ , если ограничение выполнено (т.е. искомая точка находится внутри допустимой области или на ее границе) и  $\Psi(X) \neq 0$  – в противоположном случае;  $P(h)$  – монотонно возрастающая функция переменной  $h$ .

Значение  $F(X, h)$  в допустимой области совпадает с  $\Pi(X)$ , а вне допустимой – определяется штрафным членом  $P(h)\Psi(X)$ . Данная функция быстро возрастает с удалением точки  $X$  от допустимой области. При решении задачи оптимизации структуры телекоммуникационной сети принята штрафная функция следующего вида:

$$F(X, h) = \Pi(X) + \frac{h}{2} \sum_{i=1}^{m_0} \left\{ \left[ \varphi_i(X) + \frac{\lambda_i}{h} \right]^2 \right\}, \quad (11)$$

где:  $m_0$  – число ограничений;  $h, \lambda_i$  – параметры алгоритма  $h > 0, \lambda_i > 0, i = \overline{1, m_0}$ ;  $[\cdot]^2$  – функция  $\Psi(X)$ ;  $\varphi_i(X)$  – функция ограничения. Численное исследование ТС с МС проводилось путем многократного решения задач оптимизации по критерию общесетевых приведенных затрат с учетом ограничений на ВВХ. На основании выше изложенного были получены результаты, представленные на Рис.3. и 4. Из рисунка видно, что значения общесетевых приведенных затрат возрастает при увеличении размеров территории сети, при различных топологиях, где: ПСС-полносвязная структура, КСС-кольцевая структура сети, РШС-решетчатая структура, Рс-радиальная структура.



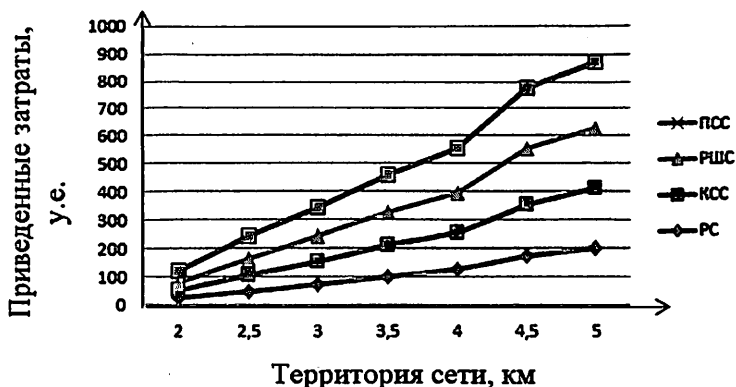


Рис.3. График зависимости общесетевых кумулятивных затрат от территории сети.

В области малых размеров территории 3x3, 4x4 и 5x5 км приведенные затраты мало изменяются, что объясняется тем, что на ограниченной территории основную часть затрат составляют стоимость узлов, количество которых не зависит от размеров территории, а определяется только емкостью сети. График (Рис.4) получен для уровней R=2, 3, 4, 5 и на различных емкостях сети.

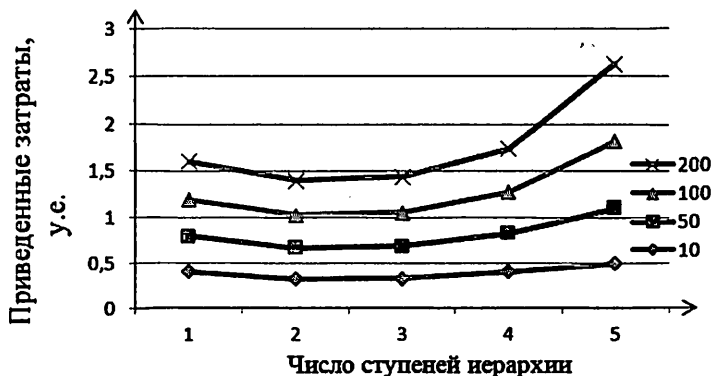


Рис.4. График зависимости общесетевых кумулятивных затрат от числа уровней сети.

Полученные результаты показали, что в экономическом отношении 2-3 уровневые сети намного предпочтительнее чем 4-5 уровневые сети.

Предложенный в главе подход к оптимизации структуры многоуровневых телекоммуникационных сетей позволяет рассчитать

общесетевые приведенные затраты, определить оптимальную структуру, а также учитывать надежность и пропускную способность каналов связи.

В сетях телекоммуникации с увеличением нагрузки на узлы появляется необходимость наращивать мощность узлов или балансировать нагрузку для обслуживания поступающих потоков информации. Методика оптимального размещения узлов коммутации в телекоммуникационной сети представляет собой нелинейную задачу дискретного математического программирования. Среднюю интенсивность поступающей нагрузки на узел  $i$  за определенный интервал времени можно найти по формуле:

$$\gamma_i = \lambda_i - \sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot x_{ij} + \sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot x_{ji} . \quad (12)$$

Первая сумма определяет ту часть необслуженной нагрузки, которую узел  $i$  перенаправил на другие узлы, тогда как последняя сумма определяет нагрузку, поступившую из других узлов сети. Если рассматривать каждый узел как СМО типа М/М/1, то выбор потоков для балансировки нагрузки между узлами можно произвести при минимизации времени средней задержки по формуле:

$$\bar{T} = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n (\gamma_i \cdot T_i) = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \left( \frac{\gamma_i}{\mu_i - \gamma_i} \right) . \quad (13)$$

Математическая постановка задачи балансировки нагрузки путем перераспределения потоков имеет вид:

$$\bar{T} = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left( w_i \cdot \frac{f_{ij}}{\mu_i - f_{ij}} + w_z \cdot f_{ij} \cdot T_{ij} \right) \longrightarrow \min , \quad (14)$$

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

Предполагаем, что нагрузки на узлы поступают в виде беспriorитетных потоков информации. Модифицируем критерий (14) для решения задачи оптимизации структуры узлов. Введем переменную  $Z_i$ , обозначающую стоимости обслуживания потоков в узлах  $i$ . Переменная  $Z_i$  отражает затраты на аренду или добавление узла  $i$ . Включив в критерий (14) стоимость обслуживания в узлах, получим:

$$\bar{T} = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left( w_1 \cdot \frac{f_{ij}}{\mu_i - f_{ij}} + w_2 \cdot f_{ij} \cdot T_{ij} + w_3 \cdot f_{ij} \cdot Z_i \right) \rightarrow \min . \quad (15)$$

Рассчитаем среднюю временную задержку пакетов, учитывая, что средняя задержка является основным параметром телекоммуникационной сети при определении оптимального количества узлов в сетях с различной топологией. В результате получим зависимость средней задержки пакетов от количества

узлов (Рис.5.). График зависимости среднего времени задержки пакета от количества узлов связи при различных структурных топологиях показывает, что с увеличением количества узлов время задержки постепенно увеличивается. При некоторых значениях количество узлов связи величина средней задержки пакета распределена неравномерно. Это вызвано тем, что в сети возникают «скачки» разнородных потоков, связанные с большой скоростью передачи информации в узлах связи и их прозрачностью.

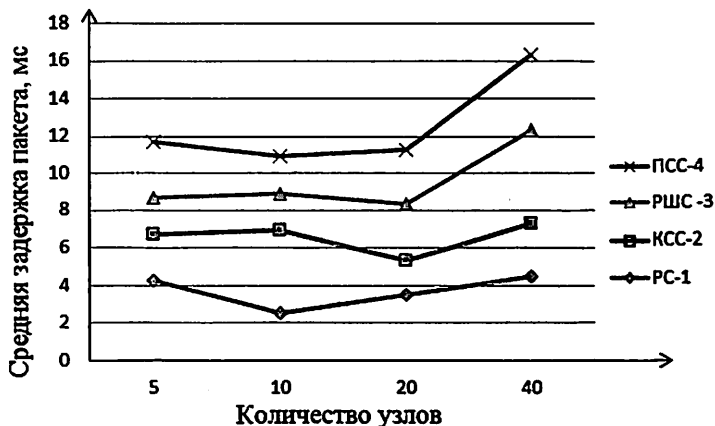


Рис.5. График зависимости средней задержки информации от количества узлов сети.

Скачкообразные значения средней задержки пакета показывают, что узлы связи имеют разные пропускные способности и в них поступают разнородные потоки с различными скоростями. РС (радиальная структура) обеспечивает наименьшее время задержки по сравнению с другими видами топологии сетей. При количестве узлов сети, равном 10, во всех топологиях имеется оптимум наименьшего значения средней задержки пакета. Минимальное время средней задержки пакета наблюдается при использовании РС: оно составляет 4 мс для 40 узлов связи, что в четыре раза меньше в случае ПСС (16 мс), и в три раза меньше в случае РШС (12 мс) для того же количества узлов связи.

В четвертой главе диссертации «Разработка алгоритмов исследования телекоммуникационных сетей с многоуровневой структурой» разработан алгоритм оптимизации структуры ТС с МС (Рис.6). Алгоритм оптимизации структуры ТС с МС представляет собой процедуру комплексной задачи, ориентированный на применение топологического проектирования и прогнозирования их технико-экономических показателей.

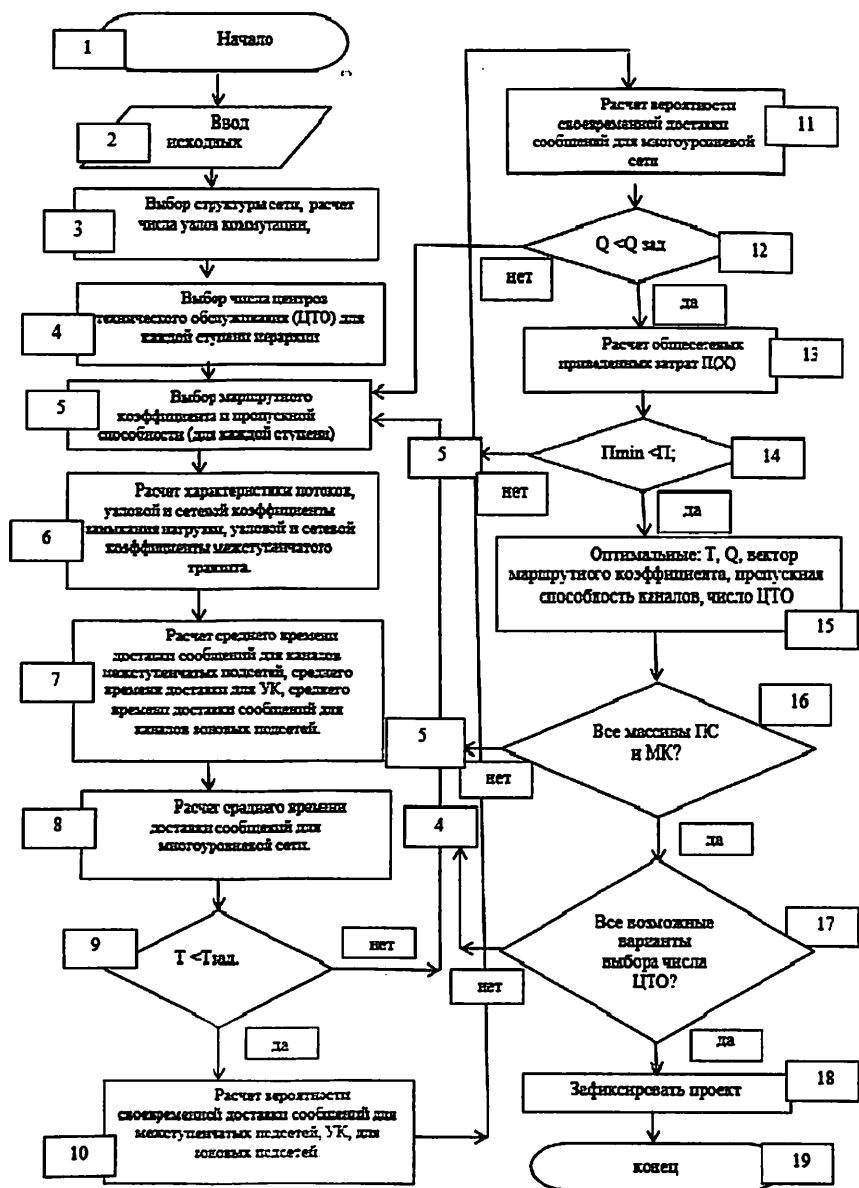


Рис. 6. Алгоритм оптимизации структуры сетей по критерию общесетевых кумулятивных затрат.

Приведем основные допущения: однородность и регулярность топологий отдельных подсетей; однотипность технических средств связи внутри отдельных ступеней иерархии; равномерное размещение оконечных пунктов на территории; аппроксимация территории сети правильной геометрической фигурой (прямоугольник). Данный алгоритм позволяет рассчитать общесетевые кумулятивные затраты, определить оптимальную структуру сетей, адаптироваться на новые технические и структурные изменения телекоммуникационных сетей.

Сущность алгоритма оптимизации структуры ТС с МС в построении штрафных функций и реализации осуществляется следующей пошаговой процедурой (рис.5). Приведенный алгоритм оптимизации структуры ТС с МС включен в состав вычислительного программного комплекса оптимизации структуры крупномасштабных сетей и учитывает надежность, пропускную способность каналов связи и приоритетности поступающих потоков информации. Предложенный алгоритм позволяет решать задачи оптимизации физической структуры сетей и определяет оптимальную структуру телекоммуникационной сети по критерию общесетевых приведенных затрат.

В пятой главе диссертации «Исследование принципов построения телекоммуникационных сетей связи специального назначения» исследованы принципы проектирования телекоммуникационных сетей связи специального назначения (ТС ССН). Описание любой системы и условий ее функционирования характеризуется определенной совокупностью параметров и представляется системой массового обслуживания ТС ССН (Рис.7).

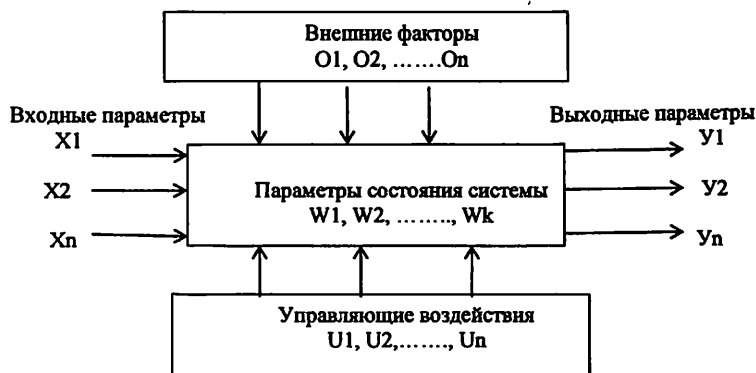


Рис.7. Система массового обслуживания телекоммуникационных сетей связи специального назначения.

В соответствии с СМО ССН, представим общую математическую модель ССН в следующем виде:

$$Y^k = F(X^k(t), W^k(t), U^k(t), O_s(t)), \quad (16)$$

где:  $Y^k$  – некоторый выходной (целевой) количественный показатель эффективности системы связи специального назначения;  $X^k(t)$  – входные параметры;  $W^k(t)$  – параметры внутреннего состояния системы;  $O_c(t)$  – неуправляемое внешнее воздействие;  $U^k(t)$  – параметры управляющих воздействий системы связи. Входные параметры задаются вектором  $X^k$ , который может быть представлен набором параметров

$$X^k = (Q^{k,q}, Y_{ij}^m), \quad (17)$$

где:  $Q^{k,q}$  – количество оконечных устройств  $k$ -го класса трафика  $q$ -го типа;  $Y_{ij}^m$  – интенсивность вызовов между узлами сети  $i$  и  $j$ , вызов/час.

Параметры состояния системы связи могут быть представлены вектором

$$W^k = (G, Z, H_k^t, V_q, P_{ij}^{sum}) \quad (18)$$

Параметры управляющих воздействий могут быть представлены вектором  $U^k$ :

$$U^k = [A^k, S_h^k(M_h)] \quad (19)$$

где:  $A^k$  характеризует систему управления;  $S_h^k(M_h)$  – базовые  $S$ -услуги безопасности, реализуемые  $M$ -механизмами защиты на  $h$ -уровне логической структуры.

Соотношения (16-19) позволяют усовершенствовать математический аппарат, с помощью которого можно будет детально исследовать организационные и технические аспекты построения и применения военных систем связи, с целью обеспечения боевой готовности системы связи. Проектирование телекоммуникационных сетей связи специального назначения требует решения инженерных задач, позволяющих произвести расчет ее параметров на основании исходных данных всех вариантов физической структуры.

Спектр возможных топологий характеризуется набором базовых структур, включающих «полносвязанную сеть» (ПСС), «радиальную сеть» (РС), «кольцевую сеть» (КСС) и «решетчатую сеть» (РШС). Для базовых структур приводятся аналитические соотношения, связывающие основные структурные параметры: диаметр  $d$ , среднюю степень вершины  $k$ , среднюю длину маршрута  $\lambda$ , число ребер  $m$  и число вершин  $n$  (таблица 1). Такие структурные топологические варианты ТС часто оказываются менее дорогостоящими. Поэтому, при проектировании больших территориально рассредоточенных телекоммуникационных сетей специального назначения целесообразно исследовать вопросы определения оптимальной физической

структуры сетей по общесетевым приведенным затратам, т. е. стоимостным критериям.

Переменной  $n_x$  обозначено число окончных пунктов в одном горизонтальном ряду, а  $m_x$  - в вертикальном.  $Z_1, Z_2$  - стороны прямоугольника в км.

Для определения оптимальной структуры ТС ССН используем следующую формулу общесетевых приведенных затрат:

$$П(X) = \sum_{r=2}^R \left[ E_n \sum_{i=1}^i W_{ir} * C_i^y * n_{ir} + \sum_{j=1}^j W_{jr} * C_j^k * m_{jr} + \sum_{j=1}^j W_{j,r-1} * C_{j,r-1}^k * m_{j,r-1} \right]. \quad (20)$$

Аналитическое соотношение для базовых структур ТС ССН

Таблица 1.

Типы сетей	Число ребер, m	Средняя длина канала, l	Примечание
РС	$n-1$	$\frac{0,24Z_1(np-1)\sqrt{\frac{n}{p}} + Z_2(n-p)(0,1\sqrt{np} + 0,15)}{\sqrt{np} \quad (n-1)}$	$p = \frac{n_x}{n_x}$ $Z_1 \geq Z_2$
КСС	$n-1$	$\sqrt{\frac{Z_1 Z_2}{n}}$	
РШС	$m = (n_x - 1) \cdot n_y + (n_y - 1) \cdot n_x$	$\sqrt{\frac{Z_1 Z_2}{n}}$	
ПСС	$\frac{n(n-1)}{2}$	$\frac{(0,32Z_1 + 0,13Z_2)n - (0,32Z_2 + 0,13Z_1)}{n-1}$	$Z_1 \geq Z_2$

Переменные данной формулы соответствуют переменным в ранее приведенной формуле (9). Для минимизации функции (20) будем использовать эффективные методы оптимизации структуры ССН такие как: локальный и глобальный поиск, например, шаговый алгоритм парных проб (ШАП) и случайный поиск с уменьшением интервала поиска (СПСУИП). Согласно методу ШАП, из произвольной точки  $X_j$  делается шаг по  $i$ -й координате  $X_{j+1}^{(i)} = X_j^{(i)} + \Delta X^{(i)}$ . Он засчитывается, если  $F(X_{j+1}) < F(X_j)$ . После неудачного шага делается двойной в противоположном направлении, и он засчитывается, если  $F(X_{j+1}) < F(X_j)$ . В противном случае система возвращается в исходную точку  $X_j$  и производится смещение по другим координатам. После остановки ШАП, что соответствует нахождению

локального экстремума, производится уменьшение шага поиска  $\Delta X$ . По достижению минимального значения шага поиска  $\Delta X_{\min}=1$  производится передача управления СГСУИП. В рекуррентной форме СПСУИП записывается следующим образом:

$$\Delta X_j = \left\{ \begin{array}{l} \Delta X[*], F(X_j) \leq F(X_{j-1}) \\ -\Delta X_{j-1}, F(X_j) \geq F(X_{j-1}) \end{array} \right\}, \quad (21)$$

где:  $[*]= (\zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_s)$  - единичный случайный вектор, равномерно распределенный по всем направлениям пространства оптимизируемых структурных параметров сети. Согласно (21), шаг в случайном направлении  $[*]$  считается неудачным, если значение  $F(X_j)$  не уменьшается. В противном случае система смещается в точку  $X_j$  и управление передается ШАП. По достижению заданного объема выборки производится уменьшение параметра  $\Delta X$ , что соответствует уменьшению области поиска, т. е. происходит локализация экстремума. Таким образом, методом ШАП непосредственно осуществляется поиск локального минимума, а методом СПСУИП – «выпрыгивание» из локального минимума в зону притяжения другого минимума. На основании вышеприведенных принципов проектирования сетей была разработана вычислительная программа на языке Python, с помощью которой был произведен численный анализ структурных параметров ТС ССН и получены результаты оптимизации физической структуры сетей с различной топологией.



Рис.8. График зависимости общесетевых кумулятивных затрат от числа ступеней.

По результатам многовариантных расчетов, проведенных с помощью вычислительного программного комплекса получен график зависимости



общесетевых приведенных затрат от числа ступеней иерархии при различных топологиях сети (Рис.8).

Полученные результаты подтверждают, что для сетей с уровнями  $R = 2, 3, 4, 5$  наиболее оптимальными, независимо от топологии, являются сети с уровнями 2 и 3 по сравнению с сетями с уровнями 4 и 5. Графики показывают, что РС оказалась в 5 (пять) раз экономичнее по сравнению с ПСС, в 3 (три) раза по сравнению с КСС и в 2 (два) раза по сравнению с РШС.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам проведенных исследований “Методы, модели и алгоритмы исследования телекоммуникационных сетей с многоуровневой структурой”:

1. Разработаны математические модели расчета характеристик разнородных потоков информации с относительными и абсолютными приоритетами, на основе математического аппарата преобразования Лапласа-Стилтьеса, позволяющие учитывать надёжность, приоритетность и рассчитать вероятностно-временные характеристики потоков.

2. Разработаны алгоритмы оптимизации структуры многоуровневой телекоммуникационной сети по критерию общесетевых кумулятивных затрат, с использованием метода штрафных функций, позволяющие определить оптимальную структуру сетей, при ограничениях на вероятностно-временные характеристики, с учетом ступеней иерархии и географического расположения сети.

3. Разработан критерий оптимального размещения узлов позволяющий минимизировать среднюю задержку потоков информации и выбрать пропускную способность каналов связи и определить оптимальную топологию телекоммуникационных сетей.

4. Разработана аналитическая модель, позволяющая связать основные вероятностно-временные характеристики потоков информации (интенсивность поступления потоков информации) со структурными параметрами сети (число каналов связи, число ступеней иерархии, число узлов коммутации).

5. Разработан алгоритм расчета вероятностно-временных характеристик разнородных потоков информации, позволяющий учитывать приоритетность и надежность поступающих потоков.

6. Усовершенствованы методы оптимизации структуры телекоммуникационных сетей с многоуровневой структурой.

7. Разработанные алгоритм оптимизации структуры сетей связи и вычислительный программный комплекс внедрены в процесс проектирования сетей связи специального назначения и позволили сократить затраты на проектирование на 13-17% и повысить качество принимаемых решений.

8. Разработанные математические модели расчета характеристик разнородных потоков информации и вычислительный программный комплекс внедрены в процесс расчета параметров локальной сети и достигнуто сокращение времени расчета характеристик локальных сетей на 15-20 % .

9. Теоретические и практические результаты диссертационного исследования внедрены в научно-исследовательские и производственные процессы Государственного унитарного предприятия «UNICON.UZ». Разработанные алгоритм и модели позволили минимизировать среднего времени задержки потоков информации и повысить пропускную способность каналов в телекоммуникационной сети с многоуровневой структурой.

10. Разработанные алгоритм оптимизации телекоммуникационной сети с многоуровневой структурой и вычислительный программный комплекс были внедрены в процесс проектирования телекоммуникационных сетей АК «УЗБЕКТЕЛЕКОМ» и позволили сократить затраты на проектирование на 3 - 4 % .

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

---

**TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES**

**PARSIEV SAYDIAKHAT SOLIKHODJAEVICH**

**METHODS, MODELS AND ALGORITHMS FOR STUDYING  
TELECOMMUNICATIONS NETWORKS WITH A MULTI-LEVEL  
STRUCTURE**

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

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE  
DOCTORS OF TECHNICAL SCIENCES (DSc)**

**Tashkent – 2021**

The topic of doctoral dissertation in technical sciences (DSc) is registered with the Higher Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under the number B2020.4.DSc / T399.

\*\*\*

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

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian and English (resume) on the website of the Scientific Council ([www.tuit.uz](http://www.tuit.uz)) and on the website of "Ziyonet" information and educational portal ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)).

**Scientific advisor:**

**Nishanbaev Tuigun Nishanbaevich**  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Official opponents:**

**Gulyamov Shukhrat Mannapovich**  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Tursunov Bakhtiyar Mukhammedzhanovich**  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Davronbekov Dilmurod Abdujalilovich**  
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

**Leading organization:**

**Tashkent State Transport Institute**

The defense of the dissertation will be held on 16 07 2021 at 14:00 hours at the meeting of Scientific Council No. DSc. 13/30.12.2019.T.07.02 at the Tashkent University of Information Technologies (Address: 100202, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Ph.: (99871) 238-64-43; fax: (99871) 238-65-52, e-mail: [tuit@tuit.uz](mailto:tuit@tuit.uz)).

The dissertation can be reviewed at the Information Resource Center of the Tashkent University of Information Technologies (is registered under No. 216). (Address: 100202, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Ph.: (99871) 238-65-44, fax: (99871) 238-65-52)

The abstract of the dissertation was sent out on 06 07 2021 y.  
(mailing protocol No. 1 on 05 07 2021 y).



**L.Kh. Siddikov**  
Chairman of the Scientific Council  
awarding scientific degrees,  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Kh.E. Khujamatov**  
Scientific Secretary of the Scientific Council  
awarding academic degrees, PhD, Docent

**D.A. Davronbekov**  
Chairman of the Academic Seminar at the  
Scientific Council awarding academic degrees,  
Doctor of Technical Sciences, Docent

## INTRODUCTION (abstract of DSc dissertation)

**The aim of the study** is to develop algorithms and models for calculating the characteristics of information flows, to improve methods for optimizing the topological structure of telecommunication networks with a multi-level structure, ensuring an increase in the efficiency of their functioning.

### **Research objectives:**

analysis of mathematical models with relative and absolute priorities on individual phases and paths of the network, taking into account the heterogeneity and reliability of incoming information flows;

development of algorithms for optimizing the structure of a telecommunications network according to the criterion of general network reduced costs;

development of a criterion for the optimal placement of nodes in a telecommunication network according to the criterion of the average delay of information flows;

development of an analytical model that allows linking the probabilistic-temporal characteristics of information flows with the structural parameters of the network;

development of an analytical model that allows linking the probabilistic and temporal characteristics of information flows with the structural parameters of the network;

development of an algorithm for calculating the probabilistic-temporal characteristics of priority flows of information in telecommunication networks with a multi-level structure;

improvement of optimization methods for telecommunication networks with a multi-level structure;

development of a criterion for building special-purpose communication networks with a multi-level structure.

**The object of the research** is telecommunication networks with a multi-level structure and priority systems for servicing heterogeneous information flows.

**The subject of the research** are the models, processes and algorithms for researching telecommunication networks with a multi-level structure.

**Research methods:** In the process of research, the methods of the theory of communication networks, the theory of probability, as well as the methods of discrete and conditional optimization were used.

### **The scientific novelty of the research is as follows:**

mathematical models have been developed for calculating the characteristics of heterogeneous information flows with relative and absolute priorities, which make it possible to determine the effectiveness of telecommunication networks;

an analytical model has been developed that makes it possible to relate the probabilistic and temporal characteristics of information flows with the structural parameters of the network; a criterion for the optimal placement of nodes has been developed, which makes it possible to minimize the average delay and select the bandwidth of the channels;

algorithms for optimization of telecommunication networks with a multi-level structure have been developed according to the criterion of total network cumulative costs, which make it possible to determine the optimal structure of networks;

a criterion for the optimal placement of nodes has been developed, which makes it possible to minimize the average delay and select the bandwidth of the channels;

an algorithm for calculating the probabilistic and temporal characteristics of heterogeneous information flows has been developed, which makes it possible to take into account the priority and reliability of incoming flows;

improved methods for optimizing the structure of telecommunication networks with a multi-level structure;

a criterion for the construction of telecommunication networks for special purposes has been developed, which makes it possible to determine the optimal structure of networks.

**The practical results of the study are as follows:**

a computational software complex has been developed to optimize the structure of telecommunication networks with a multi-level structure, according to the criterion of general network reduced costs;

a computing software product has been developed for calculating the average delay time of a packet of special-purpose networks based on the  $M / M / 1$  model;

a computational software product has been developed for calculating the average intensity of load inflow to a special-purpose network node;

a computing software product has been developed for calculating the total intensity of information flows to a network node;

a computational software product has been developed to optimize the structure of special-purpose networks according to the criterion of the average packet delay time;

a computational software product has been developed for calculating the probabilistic and temporal characteristics of information flows in a telecommunications network;

a computational software product has been developed according to the algorithm for optimizing the structure of telecommunication networks according to the criterion of general network reduced costs.

**The reliability of the research results** is ensured by the rigor of the used mathematical models for calculating the characteristics of heterogeneous information flows, with priority service and an optimization algorithm for telecommunication networks with a multi-level structure, as well as qualitative and quantitative assessments of the results obtained, which are confirmed by the relevant evidence and acts of their implementation.

**Scientific and practical significance of the research results.** The scientific significance of the research results lies in the development of mathematical models that make it possible to determine the effectiveness of priority service systems, an analytical model that allows linking the probabilistic and temporal characteristics of information flows with the structural parameters of the network, optimization algorithms, determining the optimal structure of networks, the criterion for the

optimal placement of nodes, minimizing the average delay and choosing the bandwidth of communication channels, the algorithm for calculating the probabilistic and temporal characteristics of heterogeneous information flows, taking into account the priority and reliability of incoming flows, optimization methods and the criterion for constructing telecommunication networks of special-purpose communications that determine the optimal structure of networks.

The practical significance of the dissertation results is expressed in the development of computer software systems for calculating the average delay time of a packet of special-purpose networks based on the  $M / M / 1$  model, optimizing the structure of telecommunication networks with a multi-level structure, according to the criterion of general network reduced costs, calculating the probabilistic-temporal characteristics of heterogeneous information flows, allowing to take into account the priority and reliability of incoming flows.

**Implementation of research results.** Based on the results obtained on the development of methods, models and algorithms for the study of telecommunication networks with a multi-level structure:

the developed algorithm for optimizing the structure of communication networks and the criterion for the construction of special-purpose telecommunication networks, which make it possible to determine the optimal structure of networks, as well as the software complex, have been introduced in the Main Directorate of Communications, Information Technologies and Information Protection of the General Staff of the Armed Forces of the Republic of Uzbekistan (Reference of the Ministry for the Development of Information Technologies and communications No. 33-8 / 7130 dated November 25, 2020). As a result, the optimal structure of the network was determined and the cost reduction for their design was achieved by 13-17% and the quality of decision-making was improved;

the developed mathematical models for calculating the characteristics of heterogeneous flows of information with relative and absolute priorities, as well as an algorithm for calculating the probabilistic-temporal characteristics of heterogeneous flows of information, allowing to take into account the priority and reliability of incoming flows are introduced in the local network of the Military Institute of Communications and Information and Communication Technologies of the Ministry of Defense of the Republic of Uzbekistan ( Reference from the Ministry for the Development of Information Technologies and Communications No. 33-8 / 7130 dated November 25, 2020). As a result, the optimal structure of the network was determined and the cost reduction for their design was achieved by 13-17% and the quality of decision-making was improved;

the developed methods and algorithms for optimizing the structure of telecommunication networks according to the criterion of network-wide reduced costs, which make it possible to determine the optimal structure of telecommunication networks with a multi-level structure, and the software complex have been introduced into JSC UZBEKTELECOM (Reference of the Ministry for the Development of Information Technologies and Communications No. 33-8 / 7130 of 25 November 2020). As a result, the costs for their design were reduced by 3 - 4% and the quality of the decisions made was improved;

the developed criterion for the optimal placement of nodes, which allows you to minimize the average delay and select the bandwidth of communication channels, was introduced into the research and production processes of the state unitary enterprise "UNICON.UZ" (Reference of the Ministry for the Development of Information Technologies and Communications No. 2020). As a result, the minimization of the average delay time of information flows and an increase in the throughput of channels in a telecommunications network with a multilevel structure have been achieved.

**Approbation of research results.** The theoretical and applied results of the research carried out within the framework of this dissertation were reported and discussed at 7 International and 6 Republican scientific and practical conferences and scientific seminars.

**Publications.** On the topic of the dissertation, 31 scientific works were published, of which 12 scientific articles (3 - in foreign and 9 - in republican journals recommended by the Higher Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan for the publication of the main scientific results of doctoral dissertations), and 6 certificates of registration were received software for electronic computers.

**The volume and structure of the thesis.** The thesis contains 194 pages and consists of an introduction, five chapters, a conclusion, a bibliography and an appendix.



# ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙҲАТИ СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

## LIST OF PUBLICATIONS

### I бўлим (I часть; I part)

1. Парсиев С. С. Приоритетная система обслуживания потоков информации в телекоммуникационной сети // Мухаммад ал-Хоразмий номидаги Тошкент ахборот технологиялари университети “Muhammad al-Xorazmiy avlodlari” илмий-амалий ва ахборот-таҳлилий журнал” № 1(1)/2017. - С. 48-50. (05.00.00; №10).
2. Парсиев С. С., Абдурахмонов А. А., Абдикаюмов Б. Т. Основные характеристики телекоммуникационных сетей // "TATU XABARLARI" Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universitetining ilmiy-texnika va axborot-tahliliy jurnali. № (48)/2018.Tashkent. TUIT. – С. 51-57. (05.00.00; №31).
3. Парсиев С. С., Абилкасимов А. Х, Кудратов С. Г. Расчет основных характеристик широкополосной цифровой сети интегрального обслуживания // “ТАТУ хабарлари” журналі. Тошкент - 2008. №1. – С. 41 – 44. (05.00.00; №2).
4. Парсиев С. С., А. Х. Абилкасимов, С. Г. Кудратов. Оптимизация структуры широкополосной цифровой сети интегрального обслуживания // “ТАТУ хабарлари” журналі. Тошкент - 2008. №2. – С. 26 – 30. (05.00.00; №2).
5. Parsiev S.S., Abdullaev U.M. The Objective of Optimization the Structure of Communications Networks About Cost Criteria // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. Vol. 6, Issue 12, December 2019. –P.12247-12250. ISSN: 2350-0328. (05.00.00; №8).
6. Parsiev S.S., Abdullaev U.M. Evaluation of the Cost-Effectiveness of Telecommunications Network Parameters // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. Vol. 6, Issue 12, December 2019. -P. 12251-12253. ISSN: 2350-0328. (05.00.00; №8).
7. Парсиев С. С., Фахриддинов А. А. Об одной задаче проектирования инфокоммуникационных сетей по экономическим критериям // «Ахбороткоммуникациялар: Тармоқлар, Технологиялар, Ечимлар” Илмий - техник журналі. №2 (38), 2016 й. С. 17-22. (05.00.00; №2).
8. Парсиев С. С., Кудратов С. Г. Задача оптимизации структуры телекоммуникационной транспортной сети по стоимостным критериям // “ТАТУ хабарлари” журналі. Ташкент - 2015. №1(33). - С. 51-55. (05.00.00; №10).
9. Парсиев С.С., Максудов Ж.Ш. Об оптимизации структуры телекоммуникационных сетей // “Ахбороткоммуникациялар: Тармоқлар, Технологиялар, Ечимлар” Илмий - техник журналі. №4 (40). 2016 й. – С.12-15. (05.00.00; №2).

10. Нишанбаев Т. Н., Парсиев С. С., Избасаров А. Ф. Оптимизация структуры сетей специального назначения // *Харбий алоқа ва АКТ хабарлари, "Илмий услубий журнал"* №2 (2) / 2020, -С.100-105. (05.00.00; №10).

11. Нишанбаев С. С., Парсиев С. С. Характеристики и математические модели сетей специального назначения // *"Ахбороткоммуникациялар: Тармоқлар, Технологиялар, Ечимлар"* Илмий - техник журнали. №2 (54). 2020 й. – С.18-24. (05.00.00; №2).

12. Parsiyev S.S. Optimization of the structure of communication networks by cost criterion // *International Conference on Information Science and Communications Technologies. Applications, Trends and Opportunites. ICISCT2019. Tashkent Uzbekistan – 2019. 3 p.* (ОАК Раёсатининг 30.09.2019 йилдаги 269/8-сон қарори билан диссертациялар асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий наширлар рўйхатиға киритилган хорижий илмий нашрларда чоп этилган илмий мақолаларға тенглаштирилган).

## II бўлим (II часть; II part)

13. Парсиев С. С., Кудратов С. Г. Математическая модель сетей NGN // *«Информатика: проблемы, методология, технологии»*. Материалы XVI Международной научно - методической конференции. г. Воронеж. 2016 г. - С. 203-208

14. Парсиев С.С., Кудратов С. Г. The objective of optimization the structure of communications networks about cost criteria // *«Информатика: проблемы, методология, технологии»*. Материалы XVI Международной научно - методической конференции. г. Воронеж. 2016 г. - С. 208-213.

15. Парсиев С.С., Кудратов С. Г., Абдикаюмов Б.Т. Задача планирования транспортных телекоммуникационных сетей связи // *International Conference on Importance of Information - Communication Technologies in Innovative Development of Sectors of Economy dedicated to the 1235 th anniversary of the Muhammad al-Khwarizmi. Tashkent 2018.* -Р. 636 – 638.

16. 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.

17. Парсиев С.С. Телекоммуникационные сети с приоритетным обслуживанием // *"Иқтисодийнинг реал тармоқларини инновацион ривожланишида ахборот-коммуникация технологияларининг аҳамияти"*. Республика илмий-техник анжуманининг маърузалар тўплами, 3 –қисм, Тошкент -2017. - Б. 409-411.

18. Парсиев С. С. Анализ параметров структуры телекоммуникационной сети // *"Иқтисодийнинг тармоқларини инновацион ривожланишида ахборот-коммуникация технологияларининг аҳамияти"* Республика илмий-техник анжуманининг маърузалар тўплами. Тошкент- 2019. -Б. 411- 413.

19. Парсиев С.С., Бадалов Ж.И. Модель транспортной телекоммуникационной сети с приоритетным обслуживанием // “Radiotexnika, telekommunikatsiya va axborot texnologiyalari: muammolari va kelajak rivoji” Xalqaro ilmiy – texnik konferensiya maqolalar to’plami. 1 - Tom. Toshkent – 2015 – С.441-443.

20. Парсиев С.С., Парсиев С.С. Задача оптимизации структуры телекоммуникационных сетей связи // “Ахборот технологиялари ва телекоммуникация тизимларини самарали ривожлантириш истиқболлари” Республика илмий –техник конференцияси Маърузалар тўплами, 2 – ҚИСМ. Тошкент - 2014 й. – С. 205-207.

21. 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 й. – С. 207-208.

22. Парсиев С.С. Design methods of info communication networks // Материалы III Международной научно-практической конференции «Наука и образование: проблемы и тенденция развития». г. УФА - 2015 г. - Р. 95-97.

23. Парсиев С.С., Абдуллаев У.М. Методы расчета параметров надежности и живучести сетей связи // “Ахборот ва телекоммуникация технологиялари муаммолари” Илмий-техник конференциясининг маърузалар тўплами, 3-қисм. Тошкент – 2015. – С. 82 – 85.

24. Парсиев С.С., Суннатуллаев Э.Г., Юсуфходжаев Ф.М. Анализ телекоммуникационной сети с разнородным трафиком // “Ахборот коммуникация технологиялари ва дастурий таъминот яратиш” Профессор-ўқитувчилар ва талабаларнинг XIV илмий-амалий конференцияси материаллари тўплами. Самарқанд - 2019. С. 120-123.

25. Парсиев С.С., Эркинов Ф. К., Кучкаров Ш.Х. Методика оптимизации телекоммуникационной сети с многоуровневой структурой по критерию общесетевых приведенных затрат // XXV Международная научно-техническая конференция «Современные средства связи» учреждения образования «Белорусская государственная академия связи», 22-23 октября 2020 г., С.25-26.

26. Парсиев С.С., Хамдамов У.Р., Акмуратов Б.У. Расчет средней интенсивности поступления нагрузки на узел сети специального назначения // Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. Свидетельство № DGU 07593, 22.01.2020 г.

27. Парсиев С.С., Хамдамов У.Р., Зармасов Э.М. Расчет среднего времени задержки пакета сети специального назначения на основе модели М/М/1 // Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. Свидетельство № DGU 07592, 22.01.2020 г.

28. Парсиев С.С. Расчет суммарной интенсивности потоков информации поступающих на узел сети // Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан Свидетельство № DGU 07980, 27.03.2020 г.

29. Парсиев С.С. Оптимизация структуры сетей специального назначения по критерию среднего времени задержки // Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. Свидетельство № DGU 07981, 27.03.2020 г.

30. Парсиев С. С., Кудратова С. М., Эркинов Ф.К. Расчет вероятностно-временных характеристик потоков информации в телекоммуникационной сети // Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. Свидетельство № DGU 10967, 29.04.21 г.

31. Парсиев С. С., Абдуллаев И.М., Миржалолова Н. А., Ахмаджонов С. М. Алгоритм оптимизации структуры телекоммуникационных сетей по критерию общесетевых приведенных затрат // Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. Свидетельство № DGU 11006, 12.05.21 г.

Автореферат «Муҳаммад ал-Хоразмий авлодлари» илмий журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус, инглиз тиллари матнларни мослиги текширилди (02.07.2021 й.).

Бичими: 84x60 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. «Times New Roman» гарнитураси.  
Рақамли босма усулда босилди.  
Шартли босма табоғи: 3,75. Адади 100. Буюртма № 20/21.

Гувоҳнома № 851684.  
«Тірограф» МЧЖ босмахонасида чоп этилган.  
Босмахона манзили: 100011, Тошкент ш., Беруний кўчаси, 83-уй.