

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

---

**ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ**

**АМИРСАИДОВ УЛУГБЕК БАБУРОВИЧ**

**ЗАМОНАВИЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯ ТАРМОҚЛАРИ**  
**ФАОЛИЯТИНИНГ САТҲЛАРАРО МОДЕЛЛАРИ ВА**  
**САМАРАДОРЛИГИНИ ОШИРИШ УСУЛЛАРИ**

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  
автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации доктора (DSc)  
по техническим наукам**

**Contents of dissertation abstract of doctor of science (DSc)  
on technical sciences**

**Амирсаидов Улугбек Бабурович**

Замонавий телекоммуникация тармоқлари фаолиятининг сатҳлараро  
моделлари ва самарадорлигини ошириш усуллари ..... 3

**Амирсаидов Улугбек Бабурович**

Межуровневые модели и методы повышения эффективности функционирования  
современных сетей телекоммуникаций..... 27

**Amirsaidov Ulugbek Baburovich**

Cross-layer models and methods of improving the performance efficiency of modern  
telecommunication networks ..... 51

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ

List of published works ..... 56

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

---

**ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ**

**АМИРСАИДОВ УЛУГБЕК БАБУРОВИЧ**

**ЗАМОНАВИЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯ ТАРМОҚЛАРИ**  
**ФАОЛИЯТИНИНГ САТҲЛАРАРО МОДЕЛЛАРИ ВА**  
**САМАРАДОРЛИГИНИ ОШИРИШ УСУЛЛАРИ**

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

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

Тошкент – 2021

Техника фанлари бўйича фан доктори (DSc) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2021.1.DSc/T417. 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 Ziyonet ахборот-таълим порталида ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)) жойлаштирилган.

Илмий маслаҳатчи:	Усманова Наргиза Бахтиёрбековна техника фанлари доктори, доцент
Расмий оponentлар:	Юсулбеков Нодирбек Рустамбекович техника фанлари доктори, профессор, ЎзР ФА академиги Туреунов Бахтиёр Муҳамеджанович техника фанлари доктори, профессор Хамдамов Уткир Раҳматиллаевич техника фанлари доктори, доцент
Етакчи Ташкилот:	«UNICON.UZ» давлат унитар корхонаси

Диссертация ҳимояси Муҳаммад ал-Хоразмий номидаги Тошкент ахборот технологиялари университети ҳузуридаги DSc.13/30.12.2019.T.07.02 рақамли Илмий кенгашнинг 2021 йил 27 август соат 10<sup>00</sup> даги мажлисида ZOOM платформаси орқали on-line шаклда бўлиб ўтди. Zoom идентификатори: 330 044 4963; Код: 1. (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 ( 223 рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100202, Тошкент шаҳри, Амир Темур кўчаси, 108 – уй. Тел: (9971) 238-65-44).

Диссертация автореферати 2021 йил « 17 » август кун тарқатилди.  
(2021 йил « 16 » август даги 6 рақамли реестр баённомаси)



**И. Х. Сиддиқов**  
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) диссертациясини аннотацияси)**

**Диссертация мавзусини долзарблиги ва зарурати.** Жаҳонда телекоммуникация тармоқларининг очик тизимларни ўзаро боғланишининг эталон модели ва TCP/IP протоколлар стекига асосланган архитектураларини такомиллаштириш бўйича илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Очик тизимларни ўзаро боғланиши ва TCP/IP моделларида сатҳлараро келишувнинг (муносабатни) йўқлиги тармоқ самарадорлигини чегаралайди. Ушбу йўналишда, жумладан сатҳлараро лойиҳалашнинг функционал имкониятларини сақлаган ҳолда, сатҳлараро мулоқот механизмларини жорий этиш муҳим масалалардан бири ҳисобланади. Бундай имкониятларни амалга ошириш учун бир сатҳ кўрсаткичларини бошқа сатҳлар кўрсаткичларига таъсири қонуниятларини билиш ҳамда тармоқлар фаолиятининг самарадорлигини таъминлаш мақсадида сатҳлараро моделларни яратиш долзарб ҳисобланмоқда. Бу борада жаҳоннинг ривожланган мамлакатларида, жумладан, АҚШ, Германия, Жанубий Корея, Ҳиндистон, Россия Федерацияси ва бошқа давлатларда тармоқларни сатҳлараро тадқиқ этиш муҳим вазифалардан бири ҳисобланмоқда.

Жаҳонда телекоммуникация тармоғининг самарадорлигини ошириш ва сифат кўрсаткичларини таъминлаш бўйича илмий тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Ушбу йўналишда, жумладан, сатҳлараро мулоқот, тармоқ ресурсларини виртуаллаштирилганлиги ва трафикларни хусусиятларини инобатга олган ҳолда телекоммуникация тармоғининг математик ва имитацион моделларини яратишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Замонавий симли ва симсиз (LTE, 5G) тармоқларни маълумот узатиш звеноларини самарадорлигини ошириш ҳамда тармоқ сатҳлари параметрларини оптималлаштириш бўйича тадқиқотларга катта аҳамият бериб келинмоқда. Ушбу тадқиқотларда қўйилган масалаларни ечиш учун сатҳлараро мулоқот ва сунъий интеллект механизмларини қўллаш ҳамда тармоқнинг функционал сатҳлари кўрсаткичларини ўзаро боғлиқлигини инобатга олиб, сатҳ параметрларини оптимал кўрсаткичларини ўрнатиш асосида телекоммуникация тармоғининг самарадорлигини ошириш модел, алгоритм ва усулларини ишлаб чиқиш долзарб масалалардан ҳисобланади.

Республикамизда телекоммуникация тармоқларини ривожлантириш, тақдим этилаётган хизматларни кўпайтириш, тармоқ ва хизматларни интеграциялаш, тармоқларини модернизация қилиш ва самарадорлигини ошириш бўйича чора-тадбирлар амалга оширилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан “ахборот-коммуникация технологияларини иқтисодиёт, ижтимоий соҳа ва бошқарувда тадбиқ этиш” ва “аҳоли ва тадбиркорлик субъектларига кўрсатилаётган давлат хизматларини самарадорлигини, сифатини ва қулайлигини ошириш”<sup>1</sup> вазифалари белгиланган. Мазкур вазифаларни амалга ошириш мақсадида тармоқ

<sup>1</sup> Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 7 февралдаги ПФ-4947 – сон «Ўзбекистон Республикасининг янада ривожлантириш Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида» ги Фармони.

ресурсларидан самарали фойдаланиш ва телекоммуникация тармоғининг мослашувчанлигини ошириш учун сатҳлараро мулоқатнинг математик ва имитацион моделларни такомиллаштириш ҳамда ишлаб чиқиш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сонли “Ўзбекистон Республикасининг янада ривожлантириш Харакатлар стратегияси тўғрисида” ги Фармони, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2020 йил 5 октябрдаги ПФ-6079-сонли “Рақамли Ўзбекистон – 2030 стратегиясини тасдиқлаш ва уни амалга ошириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги Фармони, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2018 йил 21 ноябрдаги ПҚ-4022-сонли “Рақамли иқтисодиётни ривожлантириш мақсадида рақамли инфратузилмани янада модернизация қилиш чора-тадбирлари тўғрисида”ги Қарори ва Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамасининг 2018 йил 7 мартдаги 185-сонли “Алоқа, ахборотлаштириш ва телекоммуникация хизматлари сифатини янада яхшилашга доир чора-тадбирлар тўғрисида”ги Қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги.** Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг IV. «Ахборотлаштириш ва ахборот-коммуникация технологияларини ривожлантириш» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

**Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий тадқиқотлар шарҳи.**

Телекоммуникация тармоқларининг самарали фаолияти ва хизмат сифатини таъминлашга йўналтирилган математик модел, усул ва ёндашувларни яратишга бағишланган тадқиқотлар халқаро институтлар (ITU-International Telecommunication Union, ETSI-European Telecommunications Standards Institute) компаниялар (Cisco Systems, Huawei, NEC), алоқа операторлари (АТ&Т, China Telecom, Ростелеком), илмий-текширув институтлари ва олий таълим муассасаларининг илмий мактабларида (University of California (АҚШ), University of Alabama (АҚШ) University of Warwick (Буюк Британия), Lübeck University of Applied Sciences (Германия)) олиб борилмоқда.

Телекоммуникация тармоғи ва унинг қурилмаларининг самарадорлигини ошириш бўйича тадқиқотлар Москва техник алоқа ва ахборотлаштириш университети (Россия), М.А.Бонч-Бруевич номидаги Санкт-Петербург телекоммуникация давлат университети (Россия) ва Сибирь телекоммуникация ва информатика давлат университетларида (Россия) ўтказилган.

Телекоммуникация тармоқларининг самарадорлигини ошириш ва сифат кўрсаткичларини таъминлаш бўйича жаҳонда ўтказилган илмий тадқиқотларда қуйидаги натижаларга эришилган: маълумот узатиш тизимларининг шовқинбардошлигини таъминлаш ва оптималлаштириш

усуллари яратилган (Москва техник алоқа ва ахборотлаштириш университети); тармоқ трафикларига хизмат кўрсатиш сифатини баҳолаш моделлари ишлаб чиқилган (М.А.Бонч-Бруевич номидаги Санкт-Петербург телекоммуникация давлат университети); дискрет алоқа каналларини моделлари, маълумотларни мобил тармоқлардан узатиш сифатини таъминлаш усуллари ва маълумотларни радиоканалдан узатишни оптималлаштириш алгоритмлари яратилган (Сибирь телекоммуникация ва информатика давлат университетлари); телекоммуникация тармоқларни марков жанжирлари асосида моделлаштириш усуллари ишлаб чиқилган (Калифорния университети); симсиз ва интеллектуал тизимларни лойиҳалаш асослари яратилган (Алабама университети).

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Сатҳлараро коммуникацияни чегараланганлиги билан боғлиқ муаммоларни ечиш мақсадида алоқа тармоғи ва тизимлари учун сатҳлараро усуларни яратиш ва такомиллаштириш таниқли тадқиқотчи ва етук мутахассислар томонидан амалга оширилган. Масалан А. Cattoni, Bo Fu, Yang Xiao, F.Zhai, Long Zhang, A.Cnelli, M.Chen, Yang Xiao, A.M.Law, F.Kelly, K.W.Ross, L. Kleinrock, В.М.Вишневский, Б.С. Гольдштейн, А.Е.Кучерявый, А.В.Росляков, Н.А.Соколов, Г.Г. Яновский, О.С.Чугреев ва бошқа чет эл олимларини келтириш мумкин.

Тармоқларни қуриш ва уларнинг сифат кўрсаткичларини таҳлил этиш масалалари жуда кўп олимлар томонидан амалга оширилган. Ушбу масала бўйича Ўзбекистонда қўйидаги олимлар шуғулланганлар: Д.А. Абдуллаев, М.Н. Арипов, Р.И. Исаев, Т.Н. Нишанбаев, Н.Б. Усманова, Р.П. Абдурахманов, С.С. Парсиев ва бошқа олимлар.

Ушбу мавзудаги илмий ишларнинг таҳлили шуни кўрсатдики, тармоқларни моделлаштириш ва кўрсаткичларини баҳолаш физик, канал ва тармоқ сатҳларининг ўзаро боғланишларини инобатга олмасдан амалга оширилган. Тармоқ сатҳлари параметрларини келишилган ҳолда танлаш асосида телекоммуникация тармоғи фаолиятининг самарадорлигини ошириш масалалари етарли даражада тадқиқ этилмаган. Тармоқ фаолиятининг самарадорлик кўрсаткичлари оммавий хизмат кўрсатиш назарияси моделлари асосида аниқланган, лекин пакетларнинг орасидаги интервални пакетлар узунлигига боғлиқлиги инобатга олинмаган. Яратилган моделларни номувофиқлиги тармоқни қуриш, лойиҳалаштириш ва эксплуатация қилиш жараёнларида нооптимал қарорларни қабул қилишга олиб келади. Бундан ташқари, симсиз технология ва коммуникациялар бўйича тадқиқотлар шуни кўрсатадики, турли сатҳ протоколларини яратишда симсиз муҳитдаги мулоқот хусусиятларини инобатга олиш керак. Юқоридагилардан келиб чиқадики, тармоққа боғлиқ сатҳлар вазифаларини комплекс ва келишилган ҳолда бажариш асосида симли ва симсиз тармоқлар фаолиятининг сатҳлараро моделлари ва самарадорлигини ошириш усулларини яратиш ҳамда такомиллаштиришни талаб этмоқда.

**Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Муҳаммад ал-Хоразмий номидаги Тошкент ахборот

технологиялари университети илмий тадқиқот режасининг Ф - 393-12 «Кейинги авлод тармоқларини тадқиқ этиш ва хизмат кўрсатиш сифати кўрсаткичларини баҳолаш учун математик ва имитацияли моделларни яратиш» (2012-2014), Ф-553-15 «IMS платформаси асосида қурилган телекоммуникация тармоқларида оқимларни тақсимлаш модел ва усулларини яратиш» (2015-2016) ва Ф-707-17 «Виртуал сервис тармоқларни (SON -Service Overlay Networks) қуришда телекоммуникация операторларининг тармоқ ресурсларини оптимал тақсимлаш» (2017-2018) мавзуларидаги илмий лойиҳалари доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** телекоммуникация тармоғининг функционал сатҳлари кўрсаткичларини ўзаро боғлиқлигини яхшилайдиган, самарадорлигини оширадиган ахборотларни сатҳлараро алмашиш моделлари ва усулларини ишлаб чиқишдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

телекоммуникация тармоқлари фаолияти жараёнларини тадқиқ этиш усулларини таҳлил қилиш;

тармоқ сатҳларининг сифат кўрсаткичларининг ўзаро боғлиқлиги ва параметрларини ўзаро мослашувини инобатга олган ҳолда замонавий симли ва симсиз тармоқларнинг маълумотларни узатиш звеноларини сатҳлараро моделларини ишлаб чиқиш;

маълумотларни узатиш звеносининг параметрларини инобатга олган ҳолда телекоммуникация тармоқлари фаолиятининг сатҳлараро моделини яратиш;

оқимларни маршрутлаш ва тармоқ тугунларида навбатларга хизмат кўрсатишнинг сатҳлараро моделини ишлаб чиқиш;

сатҳлараро боғланишга асосланган телекоммуникация тармоқлари фаолиятининг самарадорлигини ошириш усулларини ишлаб чиқиш;

трафик хусусиятлари ва тармоқ ресурсларининг виртуаллаштирилганини инобатга олиб телекоммуникация тармоғи самарадорлигини баҳолаш моделларини ишлаб чиқиш.

**Тадқиқот объекти** сифатида телекоммуникация тармоқларининг кўпсатҳли функционал архитектураси олинган.

**Тадқиқот предметини** телекоммуникация тармоқларининг моделлари ва самарадорлигини ошириш усуллари ташкил этади.

**Тадқиқот усуллари.** Қўйилган масалаларни ечиш учун эҳтимоллар назарияси, математик статистика ва оммавий хизмат кўрсатиш назариялари усулларидан фойдаланилди.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

телекоммуникация тармоқларининг ахборот узатиш самарадорлигини оширишни сатҳлараро муносабатларида навбатларга динамик хизмат кўрсатиш усуллари ва методологияси ишлаб чиқилган;

симли ҳамда симсиз телекоммуникация тармоқларнинг маълумот узатиш звеноларининг физик ва канал сатҳлари самарадорлик кўрсаткичларининг моделлари яратилган;



телекоммуникация тармоқлари ресурсларидан фойдаланиш ва самарадорлик кўрсаткичларининг ўзаро боғлиқлик даражаларини баҳолашнинг сатҳлараро моделлари яратилган;

телекоммуникация тармоқ сатҳларининг маълумотлар оқимини маршрутлаш ва тармоқ тугунларида навбатларга хизмат кўрсатишнинг сатҳлараро модели яратилган;

телекоммуникация тармоқларининг сатҳлараро самадорлигини оширишнинг мулоқатли ва сунъий интеллектли усуллари яратилган;

трафиклари ўз-ўзига ўхшаш ва тармоқ ресурслари виртуаллашган телекоммуникация тармоқларининг самарадорлик кўрсаткичларини баҳолаш моделлари яратилган.

#### **Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:**

гильберт дискрет канали орқали маълумотларни узатиш учун уларни оптимал узунликликларини аниқлаш дастури яратилган;

турли вариантларни саралаш асосида виртуал тармоқларни физик тармоқда акс эттириш дастури яратилган;

маршрутизаторлар боғланганлик даражасини инобатга олиб виртуал тармоқларни физик тармоқда акс эттириш дастури яратилган;

телекоммуникация операторлари учун тармоқнинг самарадорлик кўрсаткичларни аниқлаш бўйича тавсиялар ишлаб чиқилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги.** Диссертациянинг асосий натижаларининг аниқлиги оммавий хизмат кўрсатиш назарияси усуллари тўғри ишлатилганлиги ҳамда AnyLogic ва GPSS World дастурий таъминотлар ёрдамида ўтказилган имитацион моделлаштириш натижалари билан изоҳланади.

#### **Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.**

Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти, телекоммуникация тармоқлари фаолиятининг сатҳлараро моделлари ва самарадорлигини ошириш усуллари, маълумот оқимларини маршрутлаш ва навбатларга динамик хизмат кўрсатиш усуллари яратилган. Тадқиқот натижасида сатҳлараро боғланиш, трафик хусусиятлари ва сатҳларни қуриш механизмларини инобатга олиб замонавий симли ва симсиз тармоқлар фаолиятининг самарадорлигини тадқиқ этиш учун мультисервис тармоқлари телетрафика назариясининг модел ва усуллари токомиллаштирилган ҳамда янги услубиёт ва усуллари яратилган.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти, янги интерфейс ва қўшни интерфейсларни бирлаштириш учун тармоқ ва технологияларга бўлган талабни таҳлил этиш услубиёти яратилган. Симли ва симсиз алоқа протоколларини яратишда узатиш муҳити хусусиятлари, яъни умумий канал, ўтказувчанлик қобилиятининг чегараланганлиги, хатоларни пайдо бўлиш жадаллигининг юқорилиги ва ушланишларни юқорилиги инобатга олинган. Ўтказилган тадқиқот иш натижаларининг Ўзбекистон Республикаси ахборот технология ва коммуникациялари соҳаси учун амалий аҳамияти шундаки, замонавий тармоқ кўрсаткичлари бўйича талаб ва кўрсатмаларни яратишга

асос яратади ҳамда виртуал тармоқларни физик тармоқда акс эттириш (ўрнатиш) дастурлари яратилган.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Замонавий телекоммуникация тармоқлари фаолиятининг сатҳлараро моделлари ва самарадорлигини ошириш усуллари бўйича олинган натижалар асосида:

симли ҳамда симсиз телекоммуникация тармоқларнинг маълумот узатиш звеноларининг физик ва канал сатҳлари самарадорлик кўрсаткичларининг моделлари ҳамда телекоммуникация тармоқларининг сатҳлараро самарадорлигини оширишнинг мулоқатли усуллари Ўзбекистон Республикаси ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлиги ҳузуридаги корхоналарга, жумладан «COSCOM» МЧЖ да жорий қилинган (Ўзбекистон Республикаси Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2021 йил 15 январдаги № 33-8/319 – сон маълумотномаси). Натижада канал сатҳининг самарадорлигини 23% га оширишга эришилган;

телекоммуникация тармоқларининг сатҳлараро самарадорлигини оширишнинг мулоқатли усуллари ҳамда телекоммуникация тармоқларининг ахборот узатиш самарадорлигини оширишни сатҳлараро муносабатларида навбатларга динамик хизмат кўрсатиш усуллари ва методологияси Ўзбекистон Республикаси ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлиги ҳузуридаги корхоналарга, жумладан «UMS» МЧЖ да жорий қилинган (Ўзбекистон Республикаси Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2021 йил 15 январдаги № 33-8/319 – сон маълумотномаси). Натижада канал сатҳининг самарадорлигини 20% га оширишга эришилган;

телекоммуникация тармоқлари ресурсларидан фойдаланиш ва самарадорлик кўрсаткичларининг ўзаро боғлиқлик даражаларини баҳолашнинг сатҳлараро моделлари ҳамда трафиклари ўз-ўзига ўхшаш ва тармоқ ресурслари виртуаллашган телекоммуникация тармоқларининг самарадорлик кўрсаткичларини баҳолаш моделлари Ўзбекистон Республикаси ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлиги ҳузуридаги корхоналарга, жумладан «Ўзбектелеком» АК нинг лойиҳалаштириш жараёнларида татбиқ этилган (Ўзбекистон Республикаси Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2021 йил 15 январдаги № 33-8/319 – сон маълумотномаси). Натижада трафикларга хизмат кўрсатиш сифатини 5-7 % га оширишга эришилган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Диссертация ишининг натижалари 7 та халқаро, 6 та республика илмий-амалий конференцияларида ҳамда илмий семинарларда муҳокама қилинган.

**Тадқиқот натижаларини эълон қилинганлиги.** Диссертация мавзуси бўйича 35 та илмий иш, шу жумладан 2 та монография, 17 та илмий мақола, улардан 12 таси ЎзР ОАК тавсия этган журналларда, шу жумладан 3 таси хорижий, 9 таси республика миқёсидаги журналларда чоп этилган ҳамда 3 та

ЭХМ учун яратилган дастурий воситаларни қайд қилиш гувоҳномалари олинган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация иши кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 193 бетни ташкил этади.

## ДИССЕРТАЦИЯНИ АСОСИЙ МАЗМУНИ

**Кириш** қисмида диссертация мавзусини долзарблиги ва зарурати асосланган, мавзу бўйича хорижий илмий-тадқиқотларнинг шарҳи ва муаммонинг ўрганилганлик даражаси келтирилган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари шакллантирилган, Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларни илмий ва амалий аҳамияти кўрсатилган, тадқиқот натижаларни амалиётга жорий қилиш, ишнинг апробацияси, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг биринчи **“Замонавий телекоммуникация тармоқлари фаолиятининг самарадорлигини ошириш масаласини тизимли формаллаштириш”** бобида тармоқдаги мулоқотларни кўпсатхли моделлари, сатҳлараро мулоқот механизмлари ва тармоқ фаолиятининг самарадорлигини баҳолаш масалалари келтирилган. Телекоммуникация тармоғи мураккаб тизим сифатида формал ифодаланган ва тармоқда кечаётган сатҳлараро мулоқотларни тадқиқ этиш услуги таклиф этилган. Телекоммуникация тармоғи фаолиятининг самарадорлик кўрсаткичларини тадқиқ этишнинг мавжуд моделларининг таҳлили асосида тармоқдаги мулоқотларнинг сатҳлараро моделларини яратиш лозимлиги кўрсатилган ва уларни такомиллаштириш асослари шакллантирилган.

Самарадорлик барча тизимларни фундаментал хусусияти бўлиб, уларни фаолиятини ифодалайди. Самарадорлик тизимлар фаолиятининг сифатини белгилайди ва уларга юклатилган вазифани қандай бажарилганлигини кўрсатади.

Телекоммуникация тармоқлари фаолиятининг самарадорлиги (Network performance - NP) бу тажриба ва ўлчашлар асосида аниқланган тармоқ кўрсаткичлари ва параметрлар ҳисобланади. Ушбу кўрсаткич ва параметрлар тармоқ технологияларига боғлиқ бўлиб, терминал қурилмалари самарадорлиги ва фойдаланувчилар ҳаракатини инобатга олмаган ҳолда аниқланади. Лойиҳалаштиралаётган тармоқни самарадорлиги математик моделлар асосида аниқланади. Халқаро электралоқа иттифоқининг (ITU - International Telecommunication Union) ITU-T Y.1540 тавсиясига биноан тармоқ фаолияти самарадорлиги кўрсаткичи этиб қуйидагилар белгиланган: пакетларни етказиш вақти, пакетларни етказиш вақти вариацияси (джиттер), пакетларни йўқолиш ва хато бўлиш коэффицентлари.

Тармоқдаги мулоқотларни кўпсатхли моделларининг асосий афзаллиги шундан иборатки, ҳар бир сатҳ бошқа сатҳга боғлиқ бўлмаган ҳолда

яратилиши ва ўзгартирилиши мумкин. Ҳар бир сатҳдаги интерфейс ёрдамида турли ишлаб чиқарувчилар томонидан яратилган қурилмалар ўзаро мулоқот қиладилар. Лекин сатҳлар бир - биридан ажратилганлиги сабабли ўзаро мулоқот қилиш чекланган.

OSI ва TCP/IP сатҳ протоколларининг модулли тузилиши ва бир-бирига боғлиқ эмаслиги тармоқ самарадорлигини пасайишига олиб келади. Ҳар бир сатҳ фаолиятини бошқа сатҳлардан ажратилган ҳолда оптималлаштириш тармоқни фаолиятини оптималлаштиришга олиб келмайди. Тармоқ самарадорлигини ошириш учун турли сатҳлар орасида координация ва параметрлар бўйича келишув учун сатҳлараро боғланиш керак. Мавжуд кўпсатҳли тармоқ архитектураларини такомиллаштириш мақсадида тадқиқотчилар томонидан сатҳлараро лойиҳалаш (дизайн) (CLD –Cross-Layer Designs) бўйича турли ёндашувлар таклиф этилмоқда.

Сатҳлараро мулоқот механизми ва оптималлаштиришни амалга оширишда телекоммуникация тармоқларини сатҳлараро моделларини яратиш масалалари катта аҳамиятга эга, чунки ушбу моделлар асосида тармоқнинг турли функционал сатҳларининг кўрсаткичлари орасидаги қонуниятлар тадқиқ этилади. Сатҳлараро моделлар асосида турли сатҳ протоколлари ва алоқа канали параметрларини инобатга олиб тармоқ самарадорлигининг кўрсаткичларини аниқлаш учун аналитик формулалар аниқланади. Шунинг учун сатҳлараро аналитик ва имитацияли моделлар тармоқни сатҳлараро оптималлаштириш масалаларини ечиш учун пойдевор ҳисобланади.

Мавжуд моделларнинг таҳлили натижасида телекоммуникация тармоқларини лойиҳалаш аниқлигини ва самарадорлигини ошириш бўйича қуйидаги масалалар ҳал этилиши кераклиги аниқланди:

тармоқ сатҳлари кўрсаткичларининг ўзаро боғлиқликларини тадқиқ этиш учун сатҳлараро моделларни яратиш;

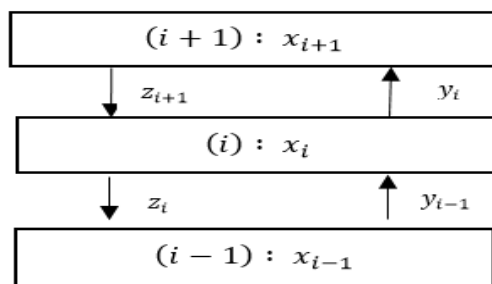
маълумотлар оқимини маршрутлаш ва тармоқ тугунларида навбатларга хизмат кўсатишнинг сатҳлараро моделини яратиш;

тармоқ сатҳлари параметрларни келишилган ҳолда ўрнатиш асосида тармоқ фаолияти самарадорлигини ошириш усулларини яратиш.

Кўрсатилган масалалар ўзаро боғлангандир. Шунинг учун яратилаётган моделлар ҳам ўзаро боғланган бўлиши керак. Қуйида телекоммуникация тармоқлари фаолиятининг сатҳлараро тадқиқ этиш методологияси шакллантирилган.

Тизимни  $(S)$  сатҳлараро ифодалаш учун шундай тахмин қабул қилинадики, унга кўра тизимнинг кириш тўплами  $X$  ва кўрсаткичлар тўплами  $Y$  декарт кўпайтмаси сифатида тасвирланади  $X = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$ ,  $Y = Y_1 \times Y_2 \times \dots \times Y_n$ . Ҳар бир жуфтлик  $(X_i, Y_i)$ ,  $1 \leq i \leq n$  маълум сатҳни  $(S_i)$  ифодалайди.  $S_i$  қуйидагича аниқланади  $S_i \subseteq X_i \times Y_i$ , бу ерда  $X_i \times Y_i = \{(x, y) | x \in X_i \wedge y \in Y_i\}$ . Функционал тизим учун  $S_i$  функция деб аталади ва қуйидагича белгиланади:  $F_i : X_i \rightarrow Y_i$  ёки  $y = F_i(x)$ .

Тармоқни қўшни сатҳларини боғлиқлиги 1- расмда келтирилган.



1-расм. Тармоқни қўшни сатҳларини боғланиши

Тармоқнинг  $i$  - сатҳини биринчи киришига  $(i+1)$  - сатҳдан  $i$  -хизматни тақдим этиш учун буюртма ( $z_{i+1} \in Z_{i+1}$ ) тушади.  $i$  - сатҳ ўз хизматини тақдим этиш учун  $(i-1)$  - сатҳнинг хизматидан фойдаланади. Кўрсатилган  $(i-1)$  - хизмат кўрсаткичлари ( $y_{i-1} \in Y_{i-1}$ )  $i$  - сатҳнинг иккинчи киришига тушади.  $i$  - сатҳ учун  $Z_{i+1}$  ва  $Y_{i-1}$  тўпلام элементлар ташқи параметрлар ҳисобланади,  $x_i \in X_i$  ички параметрларга киради. Биринчи сатҳ учун пастдан келадиган ташқи параметр бўлиб маълумот узатиш муҳити параметри ҳисобланади ( $x_0 \in X_0$ ).

Сатҳлар кўрсаткичларини функцияларини топиш керак

$$\begin{aligned}
 y_n &= F_n(x_n, y_{n-1}), \\
 y_i &= F_i(x_i, z_{i+1}, y_{i-1}), \quad 2 \leq i \leq (n-1), \\
 y_1 &= F_1(x_1, z_2, x_0)
 \end{aligned} \tag{1}$$

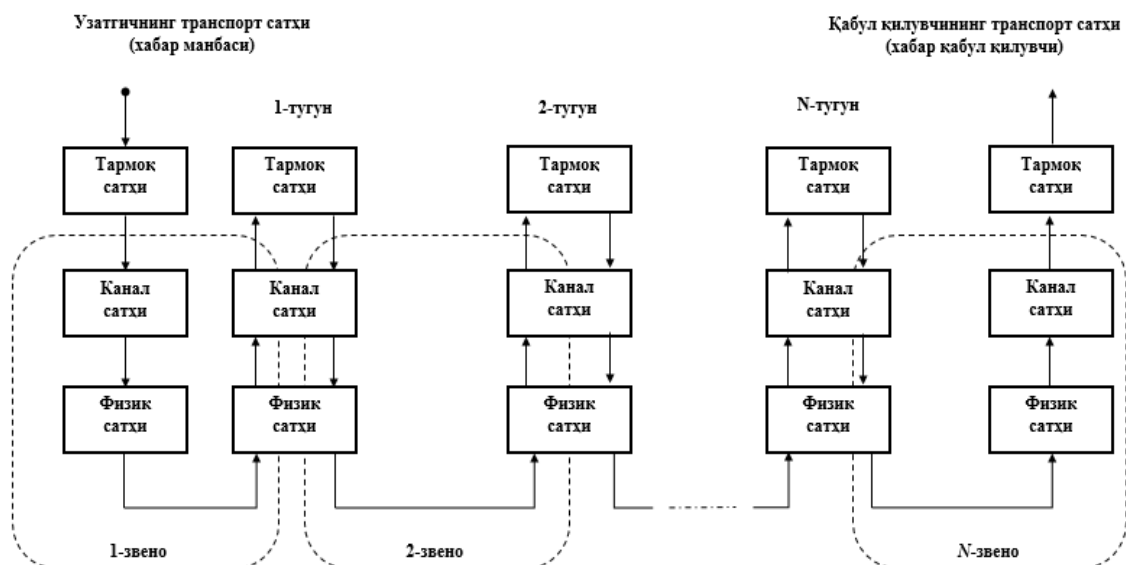
ва сатҳлар параметлари тўпلامлари элементларини шундай қийматларини топиш керакки, сатҳлар кўрсаткичларининг функциялари оптималга (максимум ёки минимум) эришсин

$$\begin{aligned}
 y_{n \text{ opt}} &= \text{opt } F_n(x_n, y_{n-1}), \\
 y_{i \text{ opt}} &= \text{opt } F_i(x_i, z_{i+1}, y_{i-1}), \quad 2 \leq i \leq (n-1), \\
 y_{1 \text{ opt}} &= \text{opt } F_1(x_1, z_2, x_0).
 \end{aligned} \tag{2}$$

(1) – масала сатҳлараро моделлаштириш вазифасидир, (2)- масала эса тармоқларни сатҳлараро оптималлаштириш вазифасига киради.

Телекоммуникация тармоғининг функционал архитектурасига биноан (2-расм) сатҳ функцияларининг боғликлиги қўшни тугунлар (физик ва канал сатҳлари учун) орасида маълумот алмашуви орқали амалга оширилади, тармоққа боғлиқ сатҳларнинг фаолияти эса кўп сонли кўрсаткичлар ва

параметрлар ёрдамида шакллантирилади. Ушбу жиҳатларни инобатга олиб турли масалалар ечилади.



2-расм. Телекоммуникация тармоғининг функционал сатҳлари

ITU-T Y.1540 тавсиясига биноан тармоқ кўрсаткичлари тўплами  $NP$  (*Network performance*) киритилади.  $NP$  тўплами элементлари этиб  $IPTD$  (*IP packet transfer delay*),  $IPDV$  (*IP packet delay variation*),  $IPLR$  (*IP packet loss ratio*) ва  $IPER$  (*IP packet error ratio*) белгиланади:

$$NP = \{IPTD, IPDV, IPLR, IPER\}. \quad (3)$$

ITU-T X.144 тавсиясига биноан маълумот узатиш звеноси кўрсаткичлари тўплами  $LP$  (*Link performance*) ҳамда уни  $FLR$  (*Frame Loss Ratio*) ва  $FTD$  (*Frame Transfer Delay*) элементлари киритилади:

$$LP = \{FLR, FTD\}. \quad (4)$$

$LP$  тўплам элементлари қийматлари физик  $FLP$  (*Fisik layer performance*) ва канал сатҳлари  $ChLP$  (*Chanel layer performance*) кўрсаткичлари боғлиқ функция сифатида топилади:

$$LP = f(FLP, ChLP). \quad (5)$$

Физик сатҳ кўрсаткичлари алоқа канали сифати, модуляция ва шовкинбардош кодларга боғлиқ функция сифатида топилади:

$$FLP = f(\text{канал сифати, модуляция усули ва шовкинбардош код}). \quad (6)$$

Канал сатҳ кўрсаткичлари физик сатҳ кўрсаткичлари  $FLP$  ва маълумот узатиш усулларига боғлиқ функция сифатида топилади:

$$ChLP = f(FLP, \text{маълумот узатиши усули}). \quad (7)$$

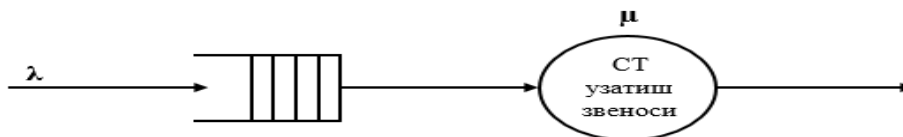
Тармоқ кўрсаткичлари тўплами  $NP$  элементларининг қийматлари, пакетларни тушиш жадаллиги  $\lambda$ , тармоқ тугунларининг сони  $N$ , маълумот узатиш звеносининг кўрсаткичлари  $LP$ , пакетларни маршрутлаш ва хизмат кўрсатиш усулларига боғлиқ функция сифатида топилади:

$$NP = f(\lambda, N, LP, \text{маршрутлаш, хизмат кўрсатиш}). \quad (8)$$

Ушбу методология асосида диссертация ишида кўпсатхли архитектура асослари шакллантирилди, у турли сатҳ объектлари орасида бошқарув маълумотларини алмашишни тامينлайди ва тармоқ фаолиятининг самарадорлигини аниқлаш бўйича тадқиқот ўтказиш ва моделларини яратишда турли сатҳ параметр ва кўрсаткичларини ўзаро таъсирини инобатга олади.

Диссертацияни иккинчи «**Замонавий симли в симсиз тармоқларнинг маълумотларни узатиш звеноларининг сатҳлараро моделларини яратиш**» бобида сатҳлараро моделлаштириш ва оптималлаштириш ҳамда физик ва канал сатҳлари фаолияти самарадорлигини ошириш масалалари кўрилган. Симли ва симсиз тармоқларнинг тармоққа боғлиқ сатҳларини қуриш механизмларини таснифлаш асосида маълумотларни узатиш звеноларининг сатҳлараро моделлари яратилган ва улар фаолиятининг самарадорлигини ошириш усуллари таклиф этилган.

Симли тармоқларнинг (СТ) маълумот узатиш звеноси оммавий хизмат кўрсатиш тизими (ОХКТ) сифатида тасвирланади (3-расм).



3-расм. Симли тармоқнинг маълумот узатиш звеносини модели

ОХКТ киришига  $\lambda$  жадаллик билан кадрлар оқими келиб тушади. Кадрларга хизмат кўрсатиш жадаллиги:  $\mu = 1/\bar{T}_{обс}$ . Кадрларга хизмат кўрсатишнинг ўртача вақти ( $\bar{T}_{обс}$ ) маълумот узатиш звеносининг архитектураси ва алоқа канали параметрлари асосида аниқланади (4-расм).



4-расм. Симли тармоқнинг маълумот узатиш звеносининг функционал архитектураси

Кадрларга хизмат кўрсатиш вақтининг ҳосил қилувчи функцияси топилган:

$$F_{обс}(z) = \frac{(1 - P_{oo})f_k(z)f_{кв}(z)[1 - (P_{oo}f_k(z)f_{кв}(z))^{N_n}]}{1 - P_{oo}f_k(z)f_{кв}(z)}, \quad (9)$$

бу ерда  $f_k(z)$  ва  $f_{кв}(z)$  - мос равишда маълумотлар кадри ва квитанция кадрларини узатиш вақтларини ҳосил қилувчи функциялари;  $P_{oo}$  - маълумотлар кадрида хатоларни топиш эҳтимоллиги ва  $N_n$  - маълумот кадрларини қайта узатишлар сонининг максимал қиймати.

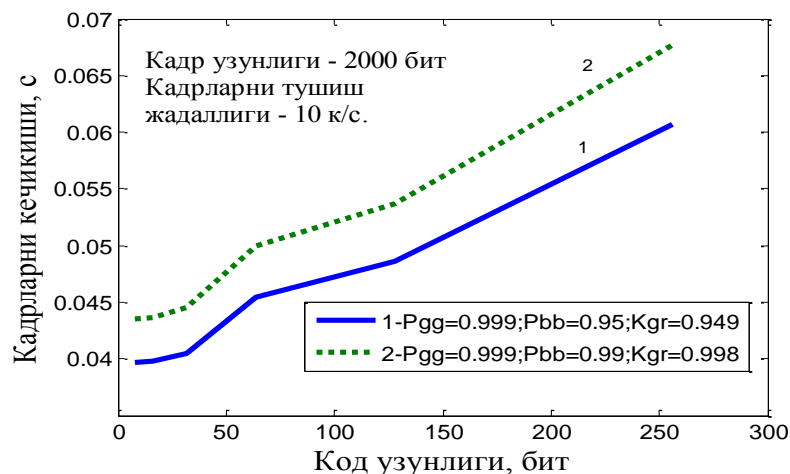
Ҳосил қилувчи функция (1) ёрдамида кадрларни кечикишининг ўртача қиймати ( $\bar{T}_{обс}$ ), дисперсияси ( $D_{обс}$ ), ўртача квадрат оғиш ( $\sigma_{обс}$ ) ва вариация коэффицентлари ( $v_{обс}$ ) аниқланган.

Олинган натижалар шуни кўрсатадики, кадрларга хизмат кўрсатиш вақтининг тақсимот қонунияти экспоненциал тақсимотга тўғри келмайди, чунки хизмат кўрсатиш вақтининг вариация коэффиценти тизим юкласига боғлиқ ҳолда 0 дан 1 гача ўзгаради. Шунинг учун, 3-расмда келтирилган ОХКТ ни хизмат кўрсатиш вақтини ихтиёрий тақсимотга (G) эга деб M/G/1 модели сифатида тасвирлаш мумкин. Ушбу ҳолда кадрларни маълумот узатиш звеносида ушланиб қолишининг (кечкишининг) ўртача вақти қуйидаги формула билан аниқланади:

$$T_{зад} = W + \bar{T}_{обс} = \frac{\lambda \bar{T}_{обс}^2 (1 + v_{обс}^2)}{2(1 - \rho)} + \bar{T}_{обс}, \quad (10)$$

бу ерда  $\rho = \lambda / \mu = \lambda \bar{T}_{обс} < 1$  – тизим юкласи.

5 – расмда кадрларни ўртача кечикиш вақтининг код узунлигига боғлиқлик графиги келтирилган.



5-расм. Гильберт каналининг турли параметрлари учун кадрларни ўртача кечикиш вақтининг код узунлигига боғлиқлик графиги



5-расмдан кўринадикки, код узунлиги ва хатоларни гуруҳланган коэффицентини ( $K_{gr}$ ) ошиши билан кадрларни ўртача кечикиш вақти ортиб боради.

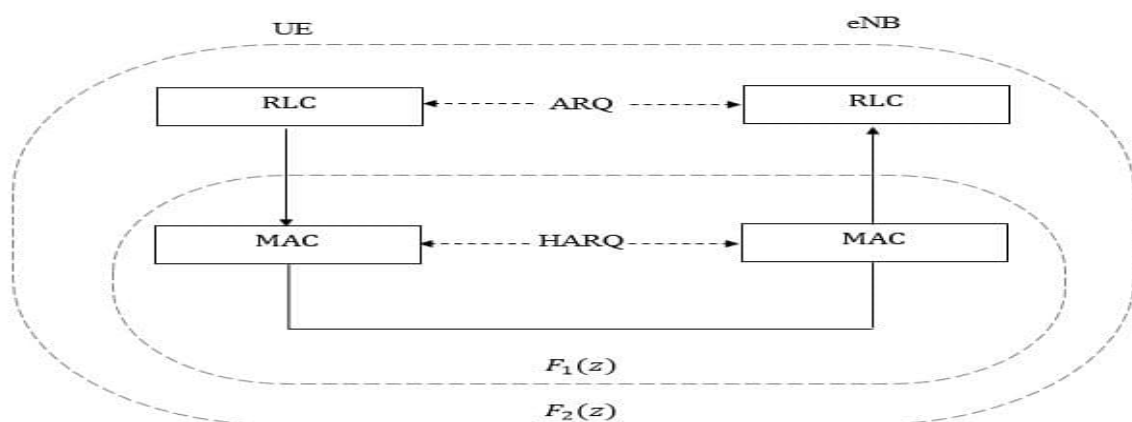
Кадрларни узатиш протоколи жараёнлари амалга оширилгандан сўнг кадрда қолдиқ хато бўлиш эҳтимоллиги куйидагича топилади:

$$P_{oik} = \sum_{k_n=1}^{N_n} P_{no} P_{oo}^{k_n-1} = \frac{P_{no}(1 - P_{oo}^{N_n+1})}{1 - P_{oo}}, \quad (11)$$

бу ерда  $P_{no}$  - кадрдаги хатони топа олмаслик эҳтимоли.

Аниқланган аналитик ифодалар симли тармоқларнинг маълумот узатиш звеноси фаолиятини самарадорлигини таъминлаш мақсадида физик ва канал сатҳларнинг оптимал параметрларини аниқлаш масалаларини ечишга хизмат қилади.

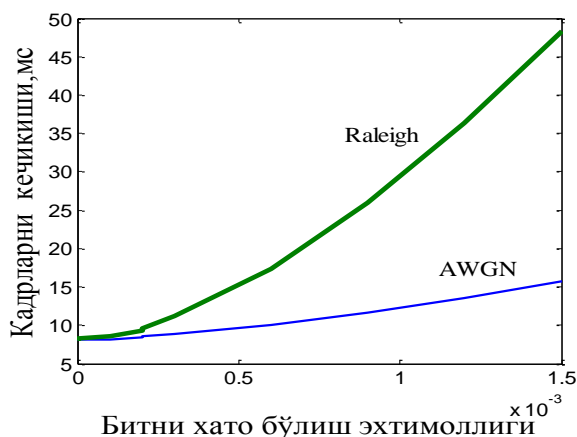
**LTE тармоғининг** маълумот узатиш звеноси MAC (Media Access Control) ва RLC (Radio Link Control) сатҳларидан иборат. MAC сатҳида HARQ (Hybrid Automatic Repeat Reques) протоколи, RLC сатҳида эса ARQ (Automatic Repeat Reques) протоколи ишлатилади. 6-расмда кадрни фойдалувчи қурилмасининг UE (User Equipment) RLC сатҳидан базавий станциянинг eNB (eNodeB) RLC сатҳигача узатишнинг умумлашган функционал тузилиши келтирилган.



6 - расм. LTE тармоғи маълумот узатиш звеносининг функционал тузилиши

Кадрларни узатиш жараёнларини ифодалаш учун эҳтимолий-вақт графлар назарияси ва ҳосил қилувчи функция усулларида фойдаланамиз. Маълумот узатишни MAC UE сатҳдан MAC eNB сатҳгача бўлган жараённи  $F_1(z)$  функцияси билан ифодалаймиз. Маълумот узатишни RLC UE сатҳдан RLC eNB сатҳгача бўлган жараённи  $F_2(z)$  функцияси билан ифодалаймиз. Кўриниб турибдики,  $F_2(z)$  функцияси  $F_1(z)$  функцияни ўз ичига олган. HARQ ва ARQ кадрларига ўртача хизмат кўрсатиш вақтлари ( $\bar{T}_{o6c1}$  ва  $\bar{T}_{o6c2}$ )  $F_1(z)$  ва  $F_2(z)$  функциялардан ҳосила олиб топилади.

7 – расмда турли радиоканал моделлари учун кадрларни маълумот узатиш звеносида ўртача кечикиш вақтини ҳар бир битни хато бўлиш эҳтимоллигига боғлиқлик графиги келтирилган.



7-расм. AWGN ва Raleigh канали учун кадрларни кечикиш вақтини ҳар бир битни хато бўлиш эҳтимоллигига боғлиқлик графиги.

7-расмдан кўриниб турибдики, симсиз узатиш муҳотида сигналларни котиши (Raleigh канали) кадрларни кечикиш вақтини ошишига олиб келади. Бунинг сабаби шундаки, Raleigh каналида кадрларни хато қабул қилиш эҳтимоллиги AWGN (Additive White Gaussian Noise) каналига нисбатан катта бўлади ва кадрларни қайта узатишлар сони кўп бўлади.

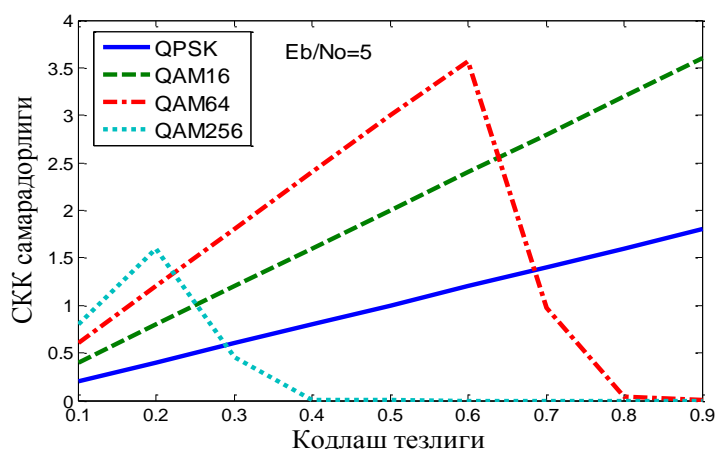
**5G тармоқларида**, LTE тармоқларидек, HARQ ва ARQ протоколлари ишлатилган. 5G тармоқларинг физик сатҳида фойдаланувчининг маълумотларини кодлаш учун LDPC (Low density parity check codes) коди ва кўпсатҳли модуляция (QPSK, QAM16, QAM64 ва QAM256) усуллари ишлатилади.

LDPC коди учун хатони тўғирлаш қобилиятини  $t$  код узунлиги  $n$  ва кодлаш тезлиги  $r_k$  орқали аниқловчи аналитик формула мавжуд эмас. Мавжуд экспериментал тадқиқотларнинг натижаларини таҳлили шуни кўрсатдики, код узунлигидан  $n$  қатъий назар LDPC кодини тўғирлаш қобилиятини  $t$  кодлаш тезлигига  $r_k$  боғлиқлик қонуниятини топилди. Код узунлигига нисбатан фоиз ҳисобида тўғирланадиган битлар сони турли кодлаш тезликларида бир хиллиги аниқланди.

Сигнал-код конструкциялари (СКК) кўрсаткичларига қуйидаги талаблар қўйилади: катта кодлаш тезлиги  $r_k$ , кодларни тўғри қабул қилиш эҳтимолининг  $Q_c$  юқорилиги ва модуляция усулини спектрал самарадорлигининг  $\log_2 M$  юқорилиги. Барча кўрсатилган талаблар бири-бирига зид ҳисобланади, яъни самарадорликни бир кўрсаткичи яхшиланса иккинчи кўрсаткичи ёмонлашади. Шунинг учун, СКК самарадорлиги барча кўрсаткичларни кўпайтмаси билан ифодаляимиз:

$$E = r_k Q_c \log_2 M . \quad (12)$$

СКК самарадорликни барча кўрсаткичларга боғлиқлик графиги 8- расмда келтирилган.



8 - расм. СКК самарадорлигини кодлаш тезлигига боғлиқлик графиги

Олинган натижалар радиоканал сифат кўрсаткичига ( $E_b/N_o$ ) боғлиқ ҳолда максимал самарадорликка эга СКК ни танлаш имконини беради.

Юқоридагилардан ташқари, маълумот узатиш звенолари фаолиятининг самарадорлигини ошириш бўйича қуйидаги усуллар яратилган:

маълумот узатиш звеносини самарадорлиги мезони бўйича физик ва канал сатҳлари блоklarини, яъни кадр ( $n_2$ ) ва код узунлигини ( $n_1$ ) оптимал қийматини аниқлаш мақсадида сатҳлараро келишув ва оптималлаштириш амалга оширилган. Маълумот узатиш звеноси самарадорлигини максималлаштириш мақсадида алоқа каналини турли параметлари учун физик ва канал сатҳлари блоklarининг оптимал узунликлари топилган;

Сунъий интеллект механизми (Reinforcement Learning) асосида кадрни оптимал узунлигини танлаш ва умумий радиоканалга кириш усуллари яратилган ҳамда маълумот узатиш звеноси кўрсаткичлари (кадрни оптимал узунлигини тўғри танлаш эҳтимоли ва уланиш вақти) мавжуд усулларга нисбатан 1.5 бараваргача яхшиланган;

дастурий конфигурацияланадиган тармоқнинг OpenFlow-коммутаторида кадрларни қайта ишлашнинг конвейер усули яратилган ва коммутаторни фаолиятининг нормал юклама оралиғини, конвейердаги оқимлар жадвали сонига қараб, 1.7 бараваргача оширилган.

Диссертациянинг учинчи «Телекоммуникация тармоқларида пакетларни узатиш, хизмат кўрсатиш ва маршрутлашнинг сатҳлараро моделларини яратиш» бобида маълумот бирликларини (пакет, сегмент) узатиш ва қайта ишлаш жараёнларида физик, канал ва тармоқ сатҳлари кўрсаткичларининг ўзаро боғланганлиги тадқиқ этилган ва қуйидаги сатҳлараро моделлар яратилган: тармоқ сатҳи пакетини узатиш, оқимларни

маршрутлаш ва уларга тугунларда хизмат кўрсатиш, ҳамда тармоқ тугунларида имтиёзли динамик хизмат кўрсатиш модели ва усули.

Тармоқ тугунларида пакетларни узатиш ва қайта ишлашда содир бўлиши мумкин бўлган ҳодисаларни тадқиқ этиш натижаларига асосланиб пакетларни узатиш жараёнини сатҳлараро модели яратилган. Маълумот пакети манбадан қабул қилувчига етиб боргунча бир неча маълумот узатиш звеносидан ўтади (2-расм). Ҳар бир звенода пакетларни қайта ишлаш ва кейинги звенога узатиш жараёнлари эҳтимолий графлар асосида ифодаланган. Тармоқ сатҳида қабул қилинган  $n_c$  битдан иборат пакетни ҳар бир битини хато бўлиши эҳтимолиги  $p_c = P_{oik} / n_c$  га тенг, бу ерда  $P_{oik}$  - маълумот узатиш звеносида кадрда қолдиқ хато бўлиш эҳтимолиги (11- формула).

Ҳар бир звенода (транзит тугунда) маълумот пакети  $P_{nn}$  эҳтимолилик билан тўғри қабул қилинади,  $P_{но}$  эҳтимолилик билан пакетдаги хато аниқлана олмайди ва  $P_{оо}$  эҳтимолилик билан пакетда хато топиллади. Пакетда хато топилган тақдирда пакет ташлаб юборилади. Транзит тугунлар сони  $N$  га тенг бўлган тармоқда пакетларни тўғри қабул қилиш, хато қабул қилиш ва ташлаб юбориш ( $P_{yc}$ ) эҳтимолиликлари аниқланган:

$$P_{nn} = P_{nn1} \cdot P_{nn2} \cdot P_{nn3} \cdots P_{nnN} = \prod_{i=1}^N P_{nni}, \quad (13)$$

$$P_{иск} = P_{но} \cdot \sum_{k=1}^{N-1} P_{nn}^{k-1} \cdot (P_{nn} + P_{но})^{N-k}, \quad (14)$$

$$P_{yc} = P_{оо} \cdot \sum_{k=1}^N (P_{nn} + P_{но})^{k-1}. \quad (15)$$

Транспорт сатҳи маълумотлар бирлиги сегментни узатиш жараёнининг сатҳлараро модели яратилган. Транспорт сатҳида амалий сатҳнинг  $n_c$  битли маълумотлари  $n_s$  битли блокларга бўлинади, маълумотлар сегменти  $n_4$  шакллантирилади ва тармоқ сатҳига узатилади. Транспорт сатҳ сегменти тармоқ сатҳи пакетини ичига жойлаштирилади. Кейинчалик юқорида кўрсатилгандек пакетларни узатиш жараёни бошланади.

Маълумотларни узатишнинг максимал тезлиги мезони бўйича физик сатҳнинг шовқинбордош кодининг турли параметлари ва каналда битларни хато бўлиш эҳтимолиликларини турли қийматлари учун транспорт сатҳ сегментининг оптимал узунлиги аниқланган.

Тармоқ тугунларида навбатларга хизмат кўрсатишнинг мавжуд усуллари статистик характерга эга бўлиб администратор томонидан соланади. Ушбу камчиликни йўқотиш мақсадида навбатларга динамик хизмат кўрсатиш усули таклиф этилган ва уни амалга ошириш босқичлари қуйидагича:

1. Оқимларни умумий интенсивлиги аниқланади: -  $D = \sum_{i=1}^N d_i$ .

2. Умумий оқимда  $i$  – трафигини улуши аниқланади: -  $\gamma_i = \frac{d_i}{D}$ .

3.  $i$  – навбатга ажратиладиган буфер ҳажми аниқланади: -  $l_i = \gamma_i L$ .

4.  $x_i$  бошқариладиган ўзгарувчи киритилади ва у канални ўтказувчанлик қобилятининг қанча қисми  $i$  - навбат учун ажратилишини кўрсатади, бунда  $\sum_{i=1}^N x_i = 1, 0 \leq x_i \leq 1$ .

5. Навбатни юқори юкланганликка тушмаслик шарти киритилади:  $d_i < x_i c$ .

6. Оқимларни афзаллик коэффициентларини ( $g_i$ ) инобатга олиб барча навбат узунликларини йиғиндиси минималлаштирилади: -  $\min \sum_{i=1}^N g_i Q_i$ .

Таклиф этилган усул канал ўтказувчанлик қобилятини тақсимлашдан ташқари умумий буфер ҳажмини навбатлар орасида ҳам тақсимлайди ва паст имтиёзли оқимларга кафолатли хизмат кўрсатишни тامينлайди.

Мавжуд маршрутлаш протоколлари сифатли хизмат кўрсатиш (Quality of Service, QoS) ва трафиклар инжиниринги (Traffic Engineering) механизмларини тўлиқ таъминламайдилар. Замонавий тармоқларда трафик оқимли хусусиятга эга бўлганлиги сабабли графга асосланган маршрутлаш усулидан оқимга асосланган маршрутлашга ўтишни талаб қилади. Оқимли маршрутлаш узатиш йўллари топишдан ташқари оқимларни қанча улуши ушбу йўллардан узатилишини аниқлайди.

Мавжуд ишларни таҳлили шуни кўрсатадики, оқимларни маршрутлаш ва тармоқ тугунларида навбатларга хизмат кўрсатиш масалалари алоҳида бирига боғланмаган ҳолда ечилган. Ушбу камчиликни йўқотиш мақсадида оқимларни маршрутлаш ва навбатларга хизмат кўрсатишнинг сатҳлараро модели яратилган. Тармоқ тузилиши  $G = (V, E)$  граф асосида тасвирланади, бу ерда  $V$  - тугунлар (маршрутизаторлар) тўплами,  $E$  - тугунларни бирлаштирувчи маълумот узатиш звенолари тўплами. Ҳар бир синфга мансуб трафикка имтиёз даражаси  $k$  кўрсатилади.  $k$  қанча кичик бўлса, имтиёз шунча катта бўлади. Ҳар бир  $k$  – имтиёзли трафик қуйидаги параметрларга эга:  $d_k, s_k, t_k$  – мос равишда  $k$  - имтиёзга эга трафик интенсивлиги, манба-маршрутизатор ва қабул қилувчи маршрутизатор. Тармоқ тугунларида ҳар бир  $k$  – имтиёзли трафикка алоҳида навбат ташкил қилинади. Шунинг учун, ҳар бир тугунда навбатлар сони  $K$  га тенг. Маршрутлаш усулини бошқариладиган ўзгарувчиси этиб  $x_{ij}^k$  белгиланади ва у ўтказувчанлик қобиляти  $c_{ij}$  бўлган  $(i, j) \in E$  каналдан узатилаётган  $k$  - имтиёзга эга оқимнинг улушини кўрсатади. Тармоқ тугунларида канални ўтказувчанлик қобилятини тақсимлаш усулини бошқариладиган ўзгарувчиси этиб  $y_{ij}^k$  белгилади ва у  $i$  - тугуннинг  $j$  - интерфейсидаги  $k$  - навбат учун каналнинг ўтказувчанлик қобилятидан қанча

қисми ажратилганлигини кўрсатади. Тармоқ ва маршрутизаторларни юқори юкламага тушмаслик шартлари киритилади.

Ушбу масалани қўйилишида оқимларни маршрутлаш усулига қўйиладиган асосий талаб турли имтиёзли трафикларни тармоқ тугунларига мувозанатли тақсимлашдир. Каналларни ўтказувчанлик қобилитини тақсимлаш усули эса трафикларга имтиёзини инобатга олиб кафолатланган дифференциал хизматни таъминлаш керак.

Тармоқнинг  $i$ - тугунининг  $j$ - интерфейси навбатларининг мувозанат индекси аниқланади:

$$\sigma_{ij} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^K (\rho_{ij}^{k*} - \bar{\rho}_{ij}^*)^2}{K-1}}, \quad (i, j) \in E, \quad (16)$$

бу ерда  $\rho_{ij}^{k*}$  ва  $\bar{\rho}_{ij}^*$  - мос равишда  $i$ - тугунининг  $j$ - интерфейсининг  $k$ -навбатининг юкласи ва ушбу тугундаги барча навбатларнинг ўртача юкласи

$$\rho_{ij}^{k*} = \frac{d_k x_{ij}^k}{c_{ij}}, \quad \bar{\rho}_{ij}^* = \frac{\sum_{k=1}^K \rho_{ij}^{k*}}{K}. \quad (17)$$

Оқимларни маршрутлаш усулининг бошқариладиган ўзгарувчилари  $x_{ij}^k$  тармоқ тугунлари навбатларини мувозанат индексларининг йиғиндисини минималлаштиш асосида топилади:  $\min \sum_{(i,j) \in E} \sigma_{ij}$ .

Навбатларга хизмат кўрсатиш усулининг бошқариладиган ўзгарувчилари  $u_{ij}^k$  тармоқ тугунларидаги навбатлар узунликликларини йиғиндисини трафикларни афзаллик коэффициентларини инобатга олиб минималлаштириш асосида топилади:

$$\min \sum_{(i,j) \in E} \sum_{k=1}^k v_k Q_{ij}^k, \quad (18)$$

бу ерда  $Q_{ij}^k$  - тармоқнинг  $i$ - тугунининг  $j$ - интерфейсини  $k$ - навбатининг ўртача узунлиги.

$k$  имтиёзли трафикни тармоқда кўп йўллик ўртача кечикиш вақти ва манзилга етказиш эҳтимоли аниқланган. Олинган натижалар шуни кўрсатадики, маршрутлаш усули тармоқ тугунларини мувозанатли юклайди, хизмат кўрсатиш усули эса имтиёзли трафикларга кафолатланган дифференциал хизмат кўрсатишни таъминлайди.

Диссертациянининг тўртинчи «Телекоммуникация тармоқларини самарадорлик кўрсаткичларини трафик хусусиятлари ва тармоқ ресурсларини виртуаллаштирилганлигини инобатга олиб баҳолаш моделларини яратиш» бобида ўз-ўзига ўхшаш (фрактал) ва пакетларни тушиш оралиғи уларнинг узунликларига боғлиқ бўлган трафикларни инобатга олиб тармоқ кўрсаткичлари тадқиқ этилган ҳамда виртуал тармоқларни физик

тармоқда акс эттириш масалалари кўрилган. Тармоқ кўрсаткичларини трафикни фракталлиги ва пакетлар орасидаги интервални уларни узунликларига боғликлигини инобатга олиб баҳолаш моделлари яратилган ҳамда тармоқ ресурсларини виртуаллаштиришни самарадорлиги баҳоланган ва ҳисоблаш экспериментлари ўтказилган. Тармоқ фаолиятининг самарадорлик кўрсаткичларини баҳолаш бўйича алоқа операторларига тавсиялар ишлаб чиқилган.

Ҳозирги кунда фрактал трафики тизимлар кўрсаткичларини аниқлаш учун Норрос ва G/G/1 модели формулалари ишлатилмоқда. Ўтказилган имитацияли моделлаштириш натижалари шуни кўрсатдики, ушбу формулар бир хил бирламчи параметрлар учун турлича натижаларни бермоқда. Имитацияли моделлаштириш натижаларини аппроксимациялаш асосида навбатларни ўртача узунлиги ва пакетларни йўқолиш эҳтимолини ҳисоблаш учун қуйидаги формулар таклиф этилди:

$$Q = \frac{\rho \cdot P_{ож}}{1 - P_{ож}} ; \quad P_{loss} = \frac{(1 - P_{ож})}{1 - P_{ож}^{(L+2)}} P_{ож}^{(L+1)}, \quad (19)$$

бу ерда  $\rho$  - тизим юкламаси;  $P_{ож} = a\rho^2 + b\rho + c$  - пакетни навбатда кутиш эҳтимоли,  $a, b$  ва  $c$  - аппроксимация коэффициентлари турли Херст коэффициентлари учун аниқланган ва  $L$  - буфер хотира қурилмасининг ҳажми.

Херст коэффициентининг турли қийматларида ўтказилган ҳисоблашлар шуни кўрсатдики, таклиф этилган формулалар (19) мавжуд формулаларга нисбатан аниқ натижаларни беради.

Ҳозирги кунда пакетлар орасидаги ораликни пакет узунлигига боғликлигини инобатга олиб тамоқларни тадқиқ этиш масалалари аниқ аналитик равишда ечилмаган. Диссертация ишида ушбу боғликликни инобатга олиб имитацияли моделлаштириш ёрдамида пакетларни тармоқда кечикиш вақтининг тақсимот гистограммалари аниқланган ва аппроксимациялаш асосида пакетларни ўртача кечикиш вақти, кечикиш вақти вариацияси ва ўз вақтида етказиш эҳтимолиликларини ҳисоблаш формулалари таклиф этилган.

Future Networks концепцияси асосида яратилган виртуал тармоқларни моделлаштириш ва самарадорлигини баҳолаш масалалари кўрилган. Виртуал тармоқларни ўрнатиш (Virtual Network Embedding) тармоқ тугунлари ва каналларидаги виртуал ресурсларни тақсимлаш масалаларидан иборат.

Диссертация ишида виртуал тармоқларни физик тармоқда маршрутизаторларни боғланганлик даражасини инобатга олиб акс эттириш (ўрнатиш) алгоритми яратилган. Виртуал тармоқларни акс эттириш алгоритмларининг самарадорлигини баҳолаш учун яратилган дастурлар асосида ҳисоблаш тажрибалари утказилган.

Виртуал тармоқларни физик тармоқда акс эттириш ( $k_{cv}$ ) ва тармоқни физик ресурсларидан самарали фойдаланиш коэффициентлари ( $k_{ef}$ ) қуйидаги

формулар билан аниқланган:

$$k_{cv} = \frac{N_{vc}}{N_{\max vc}}, \quad k_{ef} = \frac{V_{\min fc}}{V_{fc}}, \quad (20)$$

бу ерда  $N_{\max vc}$  - берилган физик тармоқда виртуал тармоқларни акс эттириш мумкин бўлган максимал сони;  $N_{vc}$  кўрилатган алгоритм асосида акс эттирилган виртуал тармоқларни сони;  $V_{\min fc} - N_{\max vc}$  виртуал тармоқларни акс эттириш учун сарфланган физик ресурсларни минимал ҳажми;  $V_{fc}$  - кўрилатган алгоритмда виртуал тармоқларни акс эттириш учун ишлатилган физик ресурсларни ҳажми.

$N_{\max vc}$  ва  $V_{\min vc}$  қийматлари барча вариантларни кўриш (перебор) усули асосида виртуал тармоқларни акс эттириш асосида аниқланади.

Ўтказилган ҳисоблаш тажрибалари таклиф этилган алгоритм мавжуд алгоритмларга нисбатан виртуал тармоқларни энг юқори акс эттириш коэффициенти ва физик ресурслардан самарали фойдаланиш коэффициентига эга эканлигини кўрсатди.

Диссертация ишида олинган натижалар асосида телекоммуникация операторлари учун тармоқ самарадорлиги кўрсаткичларини баҳолаш бўйича тавсиялар ишлаб чиқилди.

## ХУЛОСА

Замонавий телекоммуникация тармоқлари фаолиятининг сатҳлараро моделлари ва самарадорлигини ошириш усуллари бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида:

1. Тармоқдаги мулоқотлар бўйича мавжуд моделлар телекоммуникация тармоғининг самарадорлигини чегаралайди, чунки ушбу моделларда кўшни бўлмаган протоколлар орасида ўзаро мулоқот ва келишув йўқ. Ҳозирги кунда сатҳлараро мулоқот учун турли механизмлар ишлаб чиқилмоқда. Телекоммуникация тармоқларининг сатҳлараро моделлари сатҳлараро оптималлаштириш масалаларини ечиш учун асос ҳисобланган.

2. Замонавий симли ва симсиз тармоқлари фаолиятининг тамойиллари ва хусусиятларини инобатга олиб, тармоқ кўрсаткичларини сатҳлараро тадқиқ этиш учун методология ишлаб чиқилди, унга кўра пастки сатҳ кўрсаткичлари юқори сатҳ учун параметр ҳисобланади. Ушбу методология очик тизимларнинг ўзаро боғлиқлигининг эталон моделини инобатга олиб тармоқ кўрсаткичларини тадқиқ этишнинг бир-бирига боғланган моделларини ишлаб чиқишга имкон берган.

3. Замонавий симли ва симсиз тармоқларнинг физик ва канал сатҳларидан ташкил топган маълумот узатиш звеноларининг сатҳлараро моделлари яратилди. Алоқа каналида хатолар оқимини, физик ва канал сатҳлари механизмларини ўзаро боғлиқликларини инобатга олиш натижасида



яратилган моделларни реал жараёнларга мослиги ва тармоқнинг пастки сатҳларни самарадорлик кўрсаткичларини аниқ ҳисоблаш таъминланди. Тармоқнинг физик ва канал сатҳлари фаолиятининг самарадорлигини ошириш мақсадида қуйидагилар ишлаб чиқилган:

узатиш звеноси маълумот блокларининг сатҳлараро оптималлаштириш модели;

сунъий интеллект механизмларидан бири бўлган такомиллаштириб бориладиган ўрганиш асосида маълумотлар кадрини оптимал танлаш усули яратилди ва у канални сифатига боғлиқ ҳолда кадрни оптимал узунлигини тўғри танлаш эҳтимолини 1.54 бараварга оширган;

сунъий интеллект механизми асосида LTE радиоканалига тасодифий кириш усули яратилди ва у ўртача уланиш вақтини 1.57 бараварга камайтирган;

дастурий-конфигурацияланадиган тармоқларнинг OpenFlow коммутаторида пакетларни қайта ишлашнинг конвейер усули яратилган ва коммутаторни юқори юкламасиз ишлаш оралиғини 1.7 бараварга оширган.

4. Тармоқ сатҳи пакети узатиш жараёнининг сатҳлараро модели яратилган. Пакетларга хизмат кўрсатишнинг вақт-эҳтимолий кўрсаткичлари маълумот узатиш звеноси механизм ва кўрсаткичларини инобатга олиб аниқланган. Тармоқ сатҳи кўрсаткичларини инобатга олиб транспорт сатҳи маълумот сегментини узатиш жараёнининг сатҳлараро модели яратилган ва маълумот сегментини оптимал узунлиги физик сатҳда битларни хато бўлиш эҳтимолликларига боғлиқ ҳолда аниқланган.

5. Тармоқ тугунларида навбатларга (оқимларга) динамик хизмат кўрсатиш усули яратилган ва у оқимларни афзалликларини инобатга олиб кафолатланган дифференциал хизматни таъминлаган ҳамда нисбий имтиёзли хизмат кўрсатиш усулига нисбатан паст имтиёзли оқимларни кечикиш вақтини 1.8 бараваргача камайтирган. Оқимларни маршрутлаш ва хизмат кўрсатишнинг сатҳлараро модели яратилган ва у тармоқ ресурсларидан мувозанатли фойдаланишни таъминлаган.

6. Трафикларни ўз-ўзига ўхшашлик хусусиятини инобатга олиб, имитацияли модел ва тармоқ фаолиятининг самарадорлик кўрсаткичларини ҳисоблаш формулалари таклиф этилган. Канал сатҳи механизми ва трафикни ўз-ўзига ўхшашлик хусусиятлари оқимларни маршрутлаш натижаларига таъсири кўрсатилган.

7. Пакетларни тушиш интервалларини унинг узунликларига боғлиқлигини инобатга олиб, тармоқ самарадорлиги кўрсаткичларининг баҳолаш моделлари яратилган. Пакетларни кечикиш вақти тақсимотлари гистограммаларини аппроксимациялаш натижасида пакетларни ўртача кечикиш вақти, кечикиш вақти вариацияси ва ўз вақтида етказиш эҳтимоллигини ҳисоблаш формулалари таклиф этилган.

8. Виртуал тармоқларни физик тармоқда акс эттириш (ўрнатиш) алгоритми яратилган ва у виртуал тармоқларни жойлаштириш коэффициентини 1.65 баравар ҳамда тармоқ физик ресурсларидан фойдаланиш коэффициентини 1.44 баравар оширган.

9. Диссертация натижалари асосида тармоқ фаолияти самарадорлик кўрсаткичларини баҳолаш бўйича алоқа операторлари учун тавсиялар ишлаб чиқилган.

10. Ўтказилган тадқиқотларнинг натижасида телекоммуникация тармоқларини тадқиқ этишнинг янги методологияси, усул ва моделлари яратилган ҳамда мавжуд моделлари такомиллаштирилган. Олиб борилган тадқиқот методологияси, модели, усули ва дастурий таъминотлар мажмуаси замонавий тармоқларни қуришда (лойиҳалашда) ва эксплуатация қилишда тармоқ кўрсаткичларни аниқлаш, ҳисоблаш ва баҳолаш бўйича керакли норматив базани яратиш учун асос бўлади.

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

---

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ**  
**ТЕХНОЛОГИЙ**

**АМИРСАИДОВ УЛУГБЕК БАБУРОВИЧ**

**МЕЖУРОВНЕВЫЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ**  
**ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ**  
**СЕТЕЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ**

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

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

**Ташкент – 2021**

Тема докторской диссертации (DSc) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № В2021.1.DSc/T417.

Диссертация выполнена в Ташкентском университете информационных технологий. Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице научного совета ([www.tuit.uz](http://www.tuit.uz)) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

Научный консультант:	Усманова Наргиза Бахтиёрбековна доктор технических наук, доцент
Официальные оппоненты:	Юсуббеков Нодирбек Рустамбекович доктор технических наук, профессор, академик АН РУз Гурсунов Бахтиёр Мухамеджанович доктор технических наук, профессор Хамдамов Уткир Рахматиллаевич доктор технических наук, доцент
Ведущая организация:	Государственное унитарное предприятие «UNICON.UZ»

Защита диссертации состоится 27 августа 2021 г. в 10<sup>00</sup> часов на заседании Научного Совета DSc.13/30.12.2019.T.07.02 при Ташкентском университете информационных технологий в режиме on-line на платформе Zoom. Идентификатор Zooma: 330 044 4963. Код доступа 1. (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 № 223). (Адрес: 100202, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-65-44).

Автореферат диссертации разослан «12» августа 2021 года.  
(протокол рассылки № 6 от «16» август 2021 года.)



**И.Х. Сидников**  
Председатель научного совета по присуждению  
ученых степеней, д.т.н., профессор

**Х.Э. Хужаматов**  
Ученый секретарь научного совета по присуждению  
ученых степеней, доктор философии (PhD)  
по техническим наукам, доцент

**Д.А. Давронбеков**  
Председатель научного семинара при Научном  
совете по присуждению ученых степеней, д.т.н.(DSc), доцент

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

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире проводятся научно-исследовательские работы, направленные на совершенствование многоуровневой архитектуры построения сетей телекоммуникации на основе эталонной модели взаимодействия открытых систем (ЭМ ВОС) и стека протоколов TCP/IP. Отсутствие координации между уровнями в моделях ЭМВОС и TCP/IP ограничивает производительность сетей. Задача межуровневой разработки, позволяющая сохранить функциональные возможности, связанные с исходными уровнями, но, с учетом пересечения различных уровней, обеспечить координацию и взаимодействие между уровнями, является актуальной. Чтобы добиться этого, необходимо знать закономерности влияния характеристик одного уровня на характеристики других уровней сети, с должной проработкой межуровневых моделей для исследования взаимозависимостей характеристик уровней в целях эффективного функционирования сетей. Эти проблемы являются актуальной областью научных исследований в таких странах, как США, Германия, Сингапур, Южная Корея, Индия, Российская Федерация и других.

В мире научно-исследовательские работы, направленные на повышение производительности и обеспечение показателей качества обслуживания сетей телекоммуникации являются актуальными. В этом направлении особое внимание уделяется вопросам разработки математических и имитационных моделей сетей телекоммуникаций с учетом межуровневого взаимодействия, виртуализации сетевых ресурсов и свойств трафика. Проводятся исследования по повышению эффективности функционирования звена передачи данных современных проводных и беспроводных сетей (LTE, 5G), а также по оптимизации параметров уровней сети. Задачи разработки моделей, алгоритмов и методов повышения эффективности функционирования сети телекоммуникации на основе механизмов межуровневого взаимодействия и искусственного интеллекта являются актуальными.

В нашей Республике принимаются меры в направлении развития и повышения эффективности функционирования сетей телекоммуникации, интеграции сетей и услуг, а также увеличения спектра услуг населению. 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» и «повышение эффективности, качества оказания и доступности государственных услуг для населения и субъектов предпринимательства»<sup>1</sup>. Важной задачей при реализации этих целей является разработка и совершенствование математических и имитационных моделей межуровневого взаимодействия при обмене информацией между

---

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

функциональными сетевыми компонентами для эффективного использования сетевых ресурсов и достижения высокой адаптивности сети телекоммуникаций.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных Указом Президента Республики Узбекистан УП-6079 от 5 октября 2020 года «Об Утверждении Стратегии «Цифровой Узбекистан-2030» и мерах по ее эффективной реализации», Указом Президента Республики Узбекистан УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», постановлением Президента Республики Узбекистан ПП-4022 от 21 ноября 2018 года «О мерах по дальнейшей модернизации цифровой инфраструктуры в целях развития цифровой экономики», постановлением Кабинета Министров Республики Узбекистан №185 от 7 марта 2018 года «О мерах по дальнейшему улучшению качества услуг связи, информатизации и телекоммуникаций» и рядом других нормативно-правовых актов в данной сфере.

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

#### **Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации.**

Исследования, направленные на разработку математических моделей, методов и подходов для улучшения эффективности функционирования и обеспечения качества обслуживания в телекоммуникациях являются приоритетными для международных институтов (ITU-International Telecommunication Union, ETSI-European Telecommunications Standards Institute), компаний (Cisco Systems, Huawei, NEC), зарубежных операторов связи (AT&T, China Telecom, Ростелеком), научных школ ведущих научно-исследовательских институтов и высших образовательных учреждений (State University of New York (США), University of Warwick (Великобритания), Lübeck University of Applied Sciences (Германия)).

Исследование моделей и методов повышения эффективности функционирования сетей телекоммуникации проводились в Московском техническом университете связи и информатизации (Россия), Санкт-Петербургском государственном университете телекоммуникаций им. проф. М.А.Бонч-Бруевича (Россия) и Сибирском государственном университете телекоммуникаций и информатики (Россия).

В результате исследований, проведенных в ведущих странах мира в области разработки моделей и методов повышения эффективности функционирования сетей телекоммуникации, были получены следующие результаты: разработаны методы обеспечения помехоустойчивости и оптимизации систем передачи данных (Московский технический университет связи и информатизации); разработаны модели трафика, методы обеспечения качества обслуживания и модели сетей следующего поколения (Санкт-Петербургский государственнқй университет телекоммуникаций им. проф.

М.А.Бонч-Бруевича); разработаны модели дискретных каналов связи и методы обеспечения качества обслуживания трафика в беспроводных сетях (Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики); разработаны модели сетей телекоммуникации на основе марковских процессов (Калифорнийский университет); разработаны основы проектирования беспроводных и интеллектуальных сетей (Алабамский университет).

**Степень изученности проблемы.** Использование межуровневых методов для систем и сетей связи, разработка и усовершенствование моделей и приложений для преодоления проблем, связанных с ограничениями коммуникаций между уровнями рассмотрены известными исследователями и профессиональными инженерами, такими, как Cattoni, Bo Fu, Yang Xiao, F.Zhai, Long Zhang, A.Cnelli, M.Chen, Yang Xiao, A.M. Law, F. Kelly, K.W. Ross, L. Kleinrock, В.М.Вишнеvский, Б.С. Гольдштейн, А.Е.Кучеряvый, А.В. Росляков, Н.А.Соколов, Г.Г. Яновский, О.С.Чугреев и рядом других ученых.

Задачи построения сетей и анализ характеристик качества обслуживания исследовались в многочисленных работах ученых по данной проблеме и в Узбекистане, среди которых следует отметить Д.А. Абдуллаева, М.Н. Арипова, Р.И. Исаева, Т.Н. Нишанбаева, Н.Б. Усманову, Р.П. Абдурахманова, С.С. Парсиева и других.

Анализ работ в этой области показал, что задачи моделирования и оценки характеристик сети решаются без учета особенностей взаимовлияния физического, канального и сетевого уровней эталонной модели взаимодействия открытых систем. Недостаточно исследованы вопросы повышения эффективности функционирования сети на основе согласованного выбора параметров уровней сети, а показатели эффективности функционирования сети определяются на основе моделей систем массового обслуживания без учета зависимости интервалов поступления пакетов от их длин; кроме того, неадекватность моделей приводит к принятию неоптимальных решений в процессе разработки, проектирования и эксплуатации сетей, поскольку возникает несоответствие между проектными и реальными показателями сети. Наряду с этим, современные исследования в области беспроводных технологий и коммуникаций показывают, что при обособленной разработке протоколов разных уровней и при их применении на практике следует учитывать особенности и функциональные возможности взаимодействия в беспроводной среде. В связи с вышеизложенным следует, что необходимо совершенствовать и разрабатывать новые модели и методы повышения эффективности функционирования современных проводных и беспроводных сетей на основе комплексной и согласованной реализации функций сетезависимых уровней.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, в котором выполнена диссертация.** Диссертационная работа выполнена в соответствии с планами научно-исследовательских работ Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий

№393-12 «Разработка математических и имитационных моделей для исследования сетевых характеристик и оценки показателей качества обслуживания в сетях следующего поколения» (2012-2014), №553-15 «Разработка моделей и методов распределения потоков в телекоммуникационных сетях, построенных на основе платформы IMS» (2015-2016) и №707-17 «Оптимальное распределение сетевых ресурсов оператора телекоммуникаций для реализации виртуальных наложенных сервисных сетей SON (Service Overlay Networks)» (2017-2018).

**Целью исследования** является разработка межуровневых моделей и методов обмена информацией, обеспечивающих улучшение взаимозависимости характеристик функциональных уровней сети телекоммуникаций и повышение эффективности использования сетевых ресурсов.

**Задачи исследования:**

анализ методов исследования процессов функционирования сетей телекоммуникации;

разработка межуровневых моделей звена передачи данных современных проводных и беспроводных сетей с учетом взаимосвязи качественных характеристик и согласования параметров уровней;

разработка межуровневой модели функционирования сети телекоммуникаций с учетом параметров звена передачи данных;

разработка межуровневой модели маршрутизации потоков данных и обслуживания очередей в узлах сети;

разработка основанных на межуровневом взаимодействии методов повышения эффективности функционирования сети телекоммуникаций;

разработка моделей оценки эффективности функционирования сети телекоммуникаций с учетом свойств трафика и виртуализации сетевых ресурсов.

**Объектом исследования** является многоуровневая функциональная архитектура сети телекоммуникаций.

**Предметом исследования** являются математические модели и методы повышения качества функционирования сетей телекоммуникаций.

**Методы исследования.** Для решения поставленных задач использовались методы теории вероятности и математической статистики, теории массового обслуживания и теории моделирования случайных процессов.

**Научная новизна исследования** состоит в следующем:

разработаны методология исследования межуровневого взаимодействия и метод динамического обслуживания очередей в сетях телекоммуникации, позволяющие повысить эффективность передачи информации;

разработаны межуровневые модели звена передачи данных проводных и беспроводных сетей, позволяющие повысить эффективность физического и канального уровней;



разработана межуровневая модель сети телекоммуникации, позволяющая оценить эффективность использования сетевых ресурсов и степень взаимосвязи показателей эффективности сети;

разработана межуровневая модель маршрутизации потоков данных и обслуживания очередей на узлах сети телекоммуникации;

разработаны методы межуровневого взаимодействия и искусственного интеллекта, позволяющие повысить эффективность сетей телекоммуникаций;

разработаны модели оценки показателей эффективности сети телекоммуникаций, позволяющие учитывать самоподобность трафика и виртуализацию сетевых ресурсов

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработана программа для выбора оптимальной длины кадра данных при передаче по гильбертовскому каналу связи;

разработана программа для встраивания виртуальной сети в физической сети на основе метода перебора;

разработана программа для встраивания виртуальной сети в физической сети с учетом связности маршрутизаторов;

сформулированы рекомендации для операторов связи на основе результатов разработанных моделей оценки показателей эффективности функционирования сетей телекоммуникаций.

**Достоверность результатов исследования.** Достоверность основных результатов диссертации подтверждается корректным применением методов теории массового обслуживания, программных средств оптимизации Matlab и результатами имитационного моделирования с использованием программных средств AniLogic и GPSS World.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость результатов исследования заключается в разработке межуровневых моделей и методов повышения качества функционирования сетей телекоммуникаций, моделей маршрутизации потоков и динамического обслуживания очередей. Важным следствием проведенных исследований являются новые подходы и методы, как усовершенствование существующих теорий, и развитие положений новой на сегодняшний день области исследования - теории телетрафика мультисервисных сетей, для построения новых моделей, учитывающих межуровневые взаимодействия, свойства трафика и механизмы реализации уровней для анализа эффективности функционирования современных проводных и беспроводных сетей.

Практическая значимость результатов диссертационной работы выражается в разработке методологии анализа требований к сетям и технологиям для создания новых интерфейсов и объединения смежных уровней, а также реализации возможностей коммуникаций в проблемных областях при разработке протоколов связи, и адаптируемости к новым функциям (проводной и беспроводной) сетевой среды, таким, как общие каналы, ограниченная пропускная способность, высокая частота ошибок, увеличенная задержка и мобильность. Наряду с этим, важным результатом проведенных исследований, имеющим практическое значение для отрасли

информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан является возможность формирования необходимых требований и разработки инструкций по сетевым показателям и характеристикам для современных сетей, а также разработанные алгоритмы и программы отображения виртуальных сетей в физической сети.

**Внедрение результатов исследования.** На основе полученных результатов по межуровневым моделям и методам повышения эффективности функционирования современных сетей телекоммуникаций:

межуровневые модели звена передачи данных проводных и беспроводных сетей, позволяющие повысить эффективность физического и канального уровней, а также методы межуровневого взаимодействия, позволяющие повысить эффективность сетей внедрены на предприятиях Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан, в том числе в ООО «COSCOM» (Справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан № 33-8/319 от 15 января 2021). В результате производительность канального уровня сети увеличилась на 23%.

методы межуровневого взаимодействия, позволяющие повысить эффективность сетей, а также методология исследования межуровневого взаимодействия, позволяющая повысить эффективность передачи информации внедрены на предприятиях Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан, в том числе в ООО «UMS» (Справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан № 33-8/319 от 15 января 2021). В результате производительность канального уровня сети увеличилась на 20%.

межуровневая модель сети телекоммуникаций, позволяющая оценить эффективность использования сетевых ресурсов и степень взаимосвязи показателей эффективности сети, а также модели оценки показателей эффективности сети телекоммуникаций, позволяющие учитывать самоподобность трафика и виртуализацию сетевых ресурсов внедрены на предприятиях Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан, в том числе в процесс проектирования сетей телекоммуникаций АК «Узбектелеком» (Справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан № 33-8/319 от 15 января 2021). В результате показатели качества обслуживания трафика улучшились на 5-7 %.

**Апробация результатов.** Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 7 международных, 6 республиканских научно-практических конференциях и научных семинарах.

**Публикации.** По теме исследования опубликовано 35 научных работ, в том числе 2 монографии, 17 научных статей, из них 12 в журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, в том числе 3 в зарубежных и 9 в республиканских журналах, а

также получено 3 свидетельства о регистрации программных средств для ЭВМ.

**Объем и структура диссертации.** Диссертация содержит 193 страниц и состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложения.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Во введении** обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, приведен краткий обзор зарубежных работ и степень изученности проблемы, сформулированы цель и задачи исследования, выявлены объект и предмет исследований, указано их соответствие приоритетным направлениям развития науки и технологий в республике, излагается научная новизна и практические результаты исследования, раскрыто научное и практическое значение полученных результатов, приведены сведения о внедрении в практику результатов исследования, об изданных работах, структуре и объеме диссертации.

**В первой главе «Системная формализация задачи повышения эффективности функционирования современных сетей телекоммуникаций»** рассматриваются многоуровневые модели сетевого взаимодействия, механизмы межуровневого взаимодействия и вопросы оценки эффективности функционирования сетей. Приведена формализация телекоммуникационной сети как сложной системы и предложена методология исследования межуровневого взаимодействия в сети телекоммуникаций. На основе анализа существующих моделей исследования показателей эффективности функционирования сети телекоммуникаций обоснована необходимость разработки межуровневых моделей сетевого взаимодействия и сформулированы принципы их совершенствования.

Эффективность является одним из фундаментальных свойств любой системы, характеризующих результат ее применения или функционирования. Эффективность – это свойство (качество) процесса функционирования системы, определяемое как ее приспособленность к решению поставленных перед системой задач.

Эффективность функционирования сети телекоммуникаций (Network performance - NP) определяется через количественные характеристики сети, технические показатели и параметры, полученные в результате испытаний и измерений параметров сети. Эти характеристики и параметры определяются независимо от производительности терминального (оконечного) оборудования и действий пользователя, но зависят от используемой сетевой технологии. Эффективность функционирования проектируемой сети определяется с помощью математических моделей. Основными показателями эффективности функционирования сети в соответствии с Рекомендацией Y.1540 являются: задержка доставки пакетов; вариация задержки (джиттер) пакетов; коэффициент потери пакетов и коэффициент ошибок пакетов.

Основным преимуществом многоуровневых моделей сетевого взаимодействия является то, что каждый из уровней разрабатывается независимо и может быть изменен или расширен без влияния на компоненты других уровней. Благодаря определенным на каждом уровне интерфейсам, оборудование различных производителей может взаимодействовать друг с другом, но по причине изолированности уровней, взаимодействие между уровнями ограничено.

Строгая модульная организация и независимость протоколов уровней OSI (TCP/IP) приводят к неоптимальной производительности сетей. Оптимизация каждого функционального уровня сети изолированно от остальных уровней не приводит к оптимизации функционирования сети в целом. Для повышения производительности сети необходимы связи между различными уровнями для координации и согласованного выбора параметров протоколов. С целью совершенствования существующих многоуровневых сетевых архитектур исследователями предлагаются различные подходы к межуровневому проектированию (CLD – Cross-Layer Design).

Для реализации межуровневых механизмов взаимодействия и оптимизации важную роль играют вопросы разработки межуровневых моделей сетей телекоммуникаций для исследования закономерностей взаимосвязи характеристик различных функциональных уровней сети. Эти модели позволяют определить математические выражения показателей эффективности сети в зависимости от параметров протоколов различных уровней и каналов связи. В связи с этим, межуровневые аналитические и имитационные модели служат фундаментом для решения задач межуровневой оптимизации сети.

Анализ известных моделей, показал, что существует ряд совокупных для данного исследования задач, решение которых позволяет повысить точность проектирования и улучшить эффективность функционирования сетей телекоммуникаций. Такими задачами являются:

- разработка межуровневых моделей для исследования взаимосвязи характеристик уровней сети;

- разработка межуровневых моделей маршрутизации потоков и обслуживания очередей на узлах сети;

- разработка методов повышения эффективности функционирования сети на основе согласованного установления параметров уровней сети.

Перечисленные задачи являются взаимосвязанными, поэтому разрабатываемые модели также должны быть взаимоувязанными.

На основе обоснованного системного подхода в диссертации разработана методология межуровневого исследования процессов функционирования сетей телекоммуникаций.

Для межуровневого описания системы  $S$  принимается предположение о том, что множество параметров  $X$  и множество характеристик  $Y$  представимы в виде декартовых произведений  $X = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$ ,  $Y = Y_1 \times Y_2 \times \dots \times Y_n$ . Каждая пара  $(X_i, Y_i)$ ,  $1 \leq i \leq n$  приписывается определенному уровню;  $i$  - уровень системы – это подсистема  $S_i$ , определяемая отношением

$S_i \subseteq X_i \times Y_i$ , где  $X_i \times Y_i = \{(x, y) | x \in X_i \wedge y \in Y_i\}$ . Для функциональной системы отношение  $S_i$  называется функцией или отображением из  $X_i$  в  $Y_i$  и обозначается как:  $F_i : X_i \rightarrow Y_i$  или  $y = F_i(x)$ . При этом взаимосвязь смежных уровней сети представляется как показано на рисунке 1.

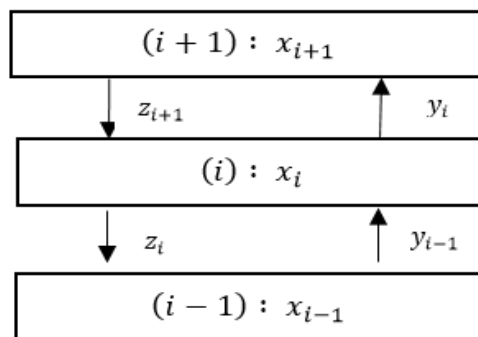


Рис. 1. Взаимосвязь смежных уровней сети

На первый вход  $i$ -го уровня от  $(i+1)$ -го уровня поступает запрос  $(z_{i+1} \in Z_{i+1})$  на предоставление  $i$ -ой услуги.  $i$ -уровень для реализации своей услуги пользуется услугой  $(i-1)$ -го уровня. Характеристики предоставленной  $(i-1)$ -ой услуги  $(y_{i-1} \in Y_{i-1})$  поступают на второй вход  $i$ -го уровня. Для  $i$ -го уровня элементы множества  $Z_{i+1}$  и  $Y_{i-1}$  являются внешними параметрами в отличие от внутренних параметров  $x_i \in X_i$ . Для первого уровня внешними параметрами, поступающими снизу, являются параметры среды передачи данных  $(x_0 \in X_0)$ .

Необходимо определить функции характеристик уровней:

$$\begin{aligned}
 y_n &= F_n(x_n, y_{n-1}), \\
 y_i &= F_i(x_i, z_{i+1}, y_{i-1}), \quad 2 \leq i \leq (n-1), \\
 y_1 &= F_1(x_1, z_2, x_0)
 \end{aligned} \tag{1}$$

и найти значения элементов множества параметров уровней, при которых функции характеристик достигают оптимального (максимального или минимального) значения:

$$\begin{aligned}
 y_{n \text{ opt}} &= \text{opt } F_n(x_n, y_{n-1}), \\
 y_{i \text{ opt}} &= \text{opt } F_i(x_i, z_{i+1}, y_{i-1}), \quad 2 \leq i \leq (n-1), \\
 y_{1 \text{ opt}} &= \text{opt } F_1(x_1, z_2, x_0).
 \end{aligned} \tag{2}$$

Задача (1) является задачей межуровневого моделирования, а задача (2) – межуровневой оптимизации сетей.

Взаимоуязванность функций уровней с точки зрения функциональной архитектуры сети телекоммуникаций (рисунок 2) осуществляется посредством обмена данными между соседними узлами сети (для физического и канального уровней), а функциональность (сетезависимых) уровней отображается многочисленными характеристиками и параметрами, на основе которых исследуются и решаются различные задачи.

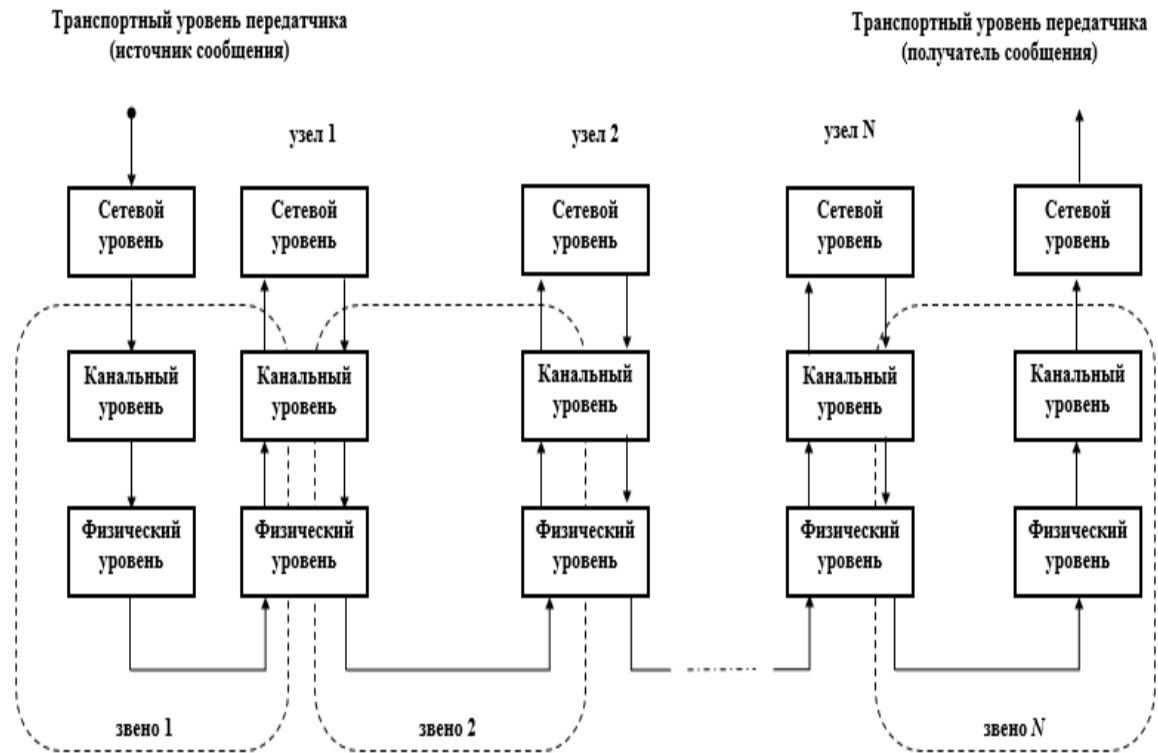


Рис.2. Функциональные уровни сети телекоммуникации

В соответствии с рекомендацией ITU-T Y.1540, вводится множество характеристик сети  $NP$  (*Network performance*). Элементами множества  $NP$  являются  $IPTD$  (*IP packet transfer delay*),  $IPDV$  (*IP packet delay variation*),  $IPLR$  (*IP packet loss ratio*) и  $IPER$  (*IP packet error ratio*):

$$NP = \{IPTD, IPDV, IPLR, IPER\}. \quad (3)$$

В соответствии с рекомендацией ITU-T X.144 вводится множество характеристик звена передачи данных  $LP$  (*Link performance*) с элементами  $FLR$  (*Frame Loss Ratio*) и  $FTD$  (*Frame Transfer Delay*):

$$LP = \{FLR, FTD\}. \quad (4)$$

Значения элементов множества  $LP$  определяются как функция от характеристик физического  $FLP$  (*Fisik layer performance*) и канального уровней  $ChLP$  (*Chanel layer performance*):

$$LP = f(FLP, ChLP). \quad (5)$$

Характеристики физического уровня определяются как функция от качества канала связи, методов модуляции и помехоустойчивого кодирования:

$$FLP = f(\text{качество канала, методы модуляции и кодирования}). \quad (6)$$

Характеристики канального уровня определяются как функция от характеристик физического уровня  $FLP$  и метода передачи данных:

$$ChLP = f(FLP, \text{метод передачи данных}). \quad (7)$$

Значения элементов множества характеристик сети  $N$  определяются как функция от интенсивности поступления пакетов  $\lambda$ , количества узлов  $N$ , характеристик звеньев данных  $LP$ , методов маршрутизации и обслуживания пакетов:

$$NP = f(\lambda, N, LP, \text{методы маршрутизации и обслуживания потоков}). \quad (8)$$

На основе этой методологии и с учетом проведенной систематизации межуровневого взаимодействия в диссертации обоснованы принципы многоуровневых архитектур, обеспечивающие обмен управляющей информацией между объектами различных уровней, и возможность влияния на параметры и характеристики различных уровней при исследовании и разработке моделей для определения эффективности функционирования сети телекоммуникаций.

**Во второй главе «Разработка межуровневых моделей звена передачи данных современных проводных и беспроводных сетей»** исследуются вопросы межуровневого моделирования, оптимизации и повышения эффективности функционирования физического и канального уровней сети. На основе механизмов реализации сетезависимых уровней проводных и беспроводных сетей разработаны межуровневые модели для звена передачи данных и предложены соответствующие методы повышения эффективности ее функционирования.

Звено передачи данных проводных сетей (ПС) представляется как система массового обслуживания (СМО) (рис.3).

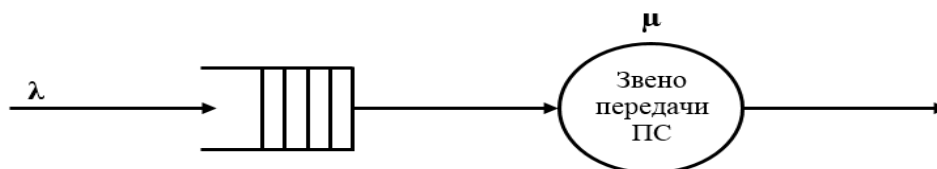


Рис.3. Модель звена передачи данных проводных сетей

На вход СМО поступает поток кадров данных с интенсивностью  $\lambda$ . Интенсивность обслуживания кадров:  $\mu = 1/\bar{T}_{обс}$ . Среднее время обслуживания кадров ( $\bar{T}_{обс}$ ) определяется на основе функциональной архитектуры звена передачи данных и параметров каналов связи (рис.4).



Рис.4. Функциональная архитектура звена передачи проводных сетей

Определена производящая функция времени обслуживания кадров:

$$F_{обс}(z) = \frac{(1 - P_{oo})f_k(z)f_{кв}(z) \left[ 1 - (P_{oo}f_k(z)f_{кв}(z))^{N_n} \right]}{1 - P_{oo}f_k(z)f_{кв}(z)}, \quad (9)$$

где  $f_k(z)$  и  $f_{кв}(z)$  - производящие функции распределения времени передачи кадра данных и кадра с квитанцией соответственно;  $P_{oo}$  - вероятность обнаружения ошибки в кадре данных, и  $N_n$  - максимальное количество повторов передачи кадра.

С помощью (9) определены среднее значение ( $\bar{T}_{обс}$ ) дисперсия ( $D_{обс}$ ), среднеквадратичное отклонение ( $\sigma_{обс}$ ) и коэффициент вариации ( $v_{обс}$ ) времени обслуживания кадров.

Результаты расчетов показывают, что закон распределения времени обслуживания кадров не является экспоненциальным, так как коэффициент вариации времени обслуживания в зависимости от загрузки системы изменяется от 0 до 1. Поэтому СМО, представленная на рисунке 3, описывается с помощью модели с произвольным (G) распределением времени обслуживания M/G/1. При этом среднее время задержки (пребывания) кадров в звене передачи определяется в виде:

$$T_{зад} = \frac{\lambda \bar{T}_{обс}^2 (1 + v_{обс}^2)}{2(1 - \rho)} + \bar{T}_{обс}, \quad (10)$$

где  $\rho = \lambda / \mu = \lambda \bar{T}_{обс} < 1$  - загрузка системы.

На рисунке 5 приведен график зависимости среднего времени задержки кадров от длины кода. Из рисунка 5 следует, что с увеличением длины кода и коэффициента группирования ошибок ( $K_{gr}$ ) в канале связи среднее время задержки кадров повышается.



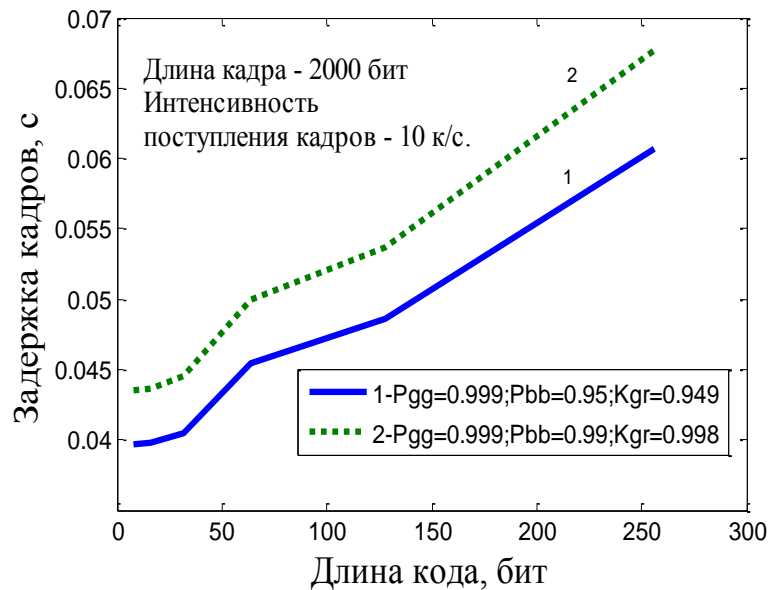


Рис. 5. Зависимость среднего времени задержки кадров от длины кода при различных значениях параметрах канала Гильберта

Вероятность остаточного искажения кадра данных после реализации процедур протоколов передачи кадров определяется в виде:

$$P_{oik} = \sum_{k_n=1}^{N_n} P_{no} P_{00}^{k_n-1} = \frac{P_{no} (1 - P_{oo}^{N_{n+1}})}{1 - P_{oo}}, \quad (11)$$

где  $P_{no}$  - вероятность необнаружения ошибок в кадре данных.

Полученные аналитические выражения служат для решения задач выбора оптимальных параметров физического и канального уровней, обеспечивающих эффективность функционирования звена передачи данных проводных сетей при заданных параметрах канала связи.

**В сетях LTE** звено передачи данных состоит из уровней MAC (Media Access Control) и RLC (Radio Link Control). На уровне MAC реализуется протокол HARQ (Hybrid Automatic Repeat Reques), а на уровне RLC – протокол ARQ (Automatic Repeat Reques). На рисунке 6 приведена обобщенная модель передачи пакета от RLC уровня UE (User Equipment-устройство пользователя) до RLC уровня eNB (eNodeB – базовая станция).

Процесс передачи кадров от уровня MAC UE до уровня MAC eNB описывается производящей функцией  $F_1(z)$ . Процесс передачи кадров от уровня RLC UE до RLC eNB описывается производящей функцией  $F_2(z)$ . Очевидно, что  $F_1(z)$  вложена в  $F_2(z)$ . Среднее время обслуживания кадров HARQ ( $\bar{T}_{обс1}$ ) и ARQ ( $\bar{T}_{обс2}$ ) определяются как производные от  $F_1(z)$  и  $F_2(z)$  соответственно.

На рисунке 7 приведен график зависимости среднего времени задержки кадров от RLC уровня UE до RLC уровня eNB при различных моделях радиоканала.

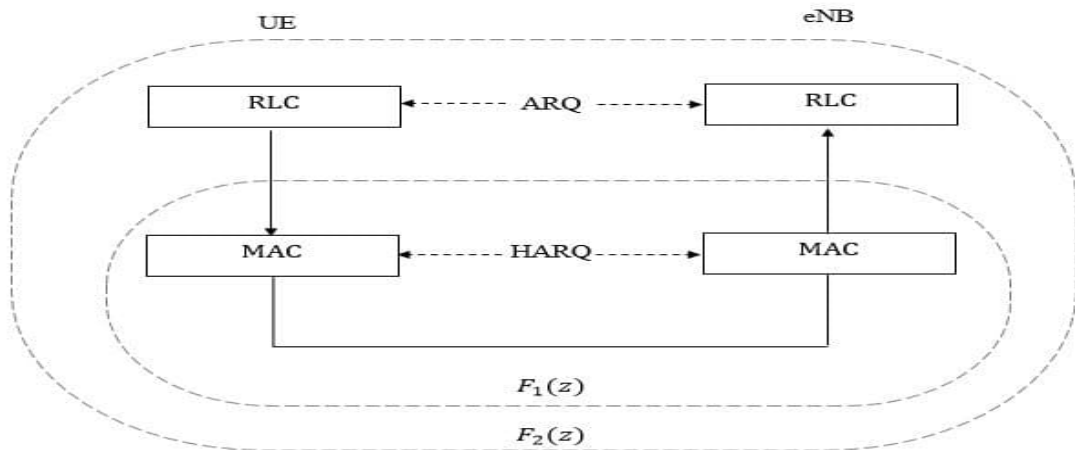


Рис.6. Обобщенная модель звена передачи данных сети LTE

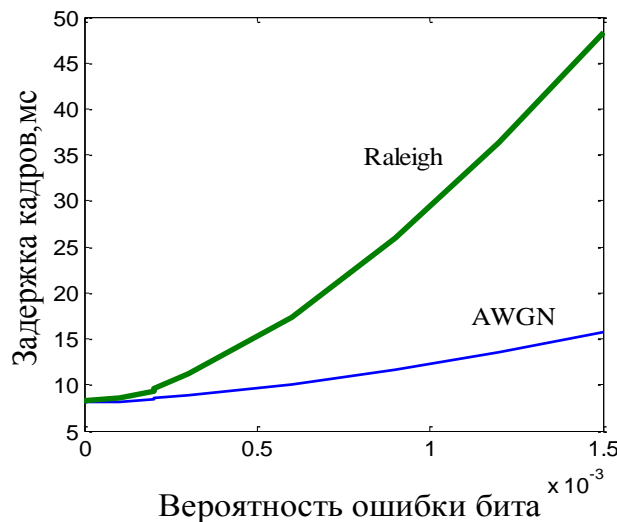


Рис.7. Зависимость среднего времени задержки кадров от вероятности ошибки бита в каналах AWGN и Raleigh

Из рисунка 7 следует, что замирание сигнала в беспроводной среде приводит к увеличению времени задержки кадров данных в звена передачи сети LTE. Это связано с тем, что в канале Raleigh с замираниями вероятности ошибки кадров данных и повторной передачи больше, чем в канале с аддитивным белым гауссовским шумом (AWGN- Additive White Gaussian Noise).

**В сетях 5G**, как и в LTE, реализованы протоколы HARQ и ARQ. На физическом уровне сети 5G для кодирования пользовательской информации используются коды с малой плотностью проверки на четность – LDPC (Low density parity check codes) и методы многопозиционной модуляции (QPSK, QAM16, QAM64 и QAM256).

Для LDPC кодов не существует точного аналитического выражения для определения их исправляющей способности  $t$  как функции длины кодового слова  $n$  и скорости кодирования  $r_k$ . Проведенный анализ известных результатов экспериментальных исследований показывает, что существует

закономерность зависимости исправляющей способности кода  $t$  от скорости кодирования  $r_k$  независимо от длины кода  $n$ . Доля исправленных битов от длины кода при различных скоростях кодирования является постоянной величиной.

В сигнально-кодовой конструкции (СКК), традиционно принимаемой за основу исследования многопозиционных сигналов и помехоустойчивых кодов, предъявляются следующие требования к ее показателям: большая скорость кодирования  $r_k$ , высокая вероятность правильного приема кодового слова  $Q_c$  и высокая спектральная эффективность метода модуляции  $\log_2 M$ . Перечисленные требования являются противоречивыми, т.к. улучшение одного показателя эффективности приводит к ухудшению другого показателя. Поэтому эффективность СКК будем оценивать по следующему критерию, представляющему произведение всех показателей эффективности:

$$E = r_k Q_c \log_2 M . \quad (12)$$

На рисунке 8 приведены примеры полученных в результате исследования графиков зависимости эффективности СКК от скорости кодирования.

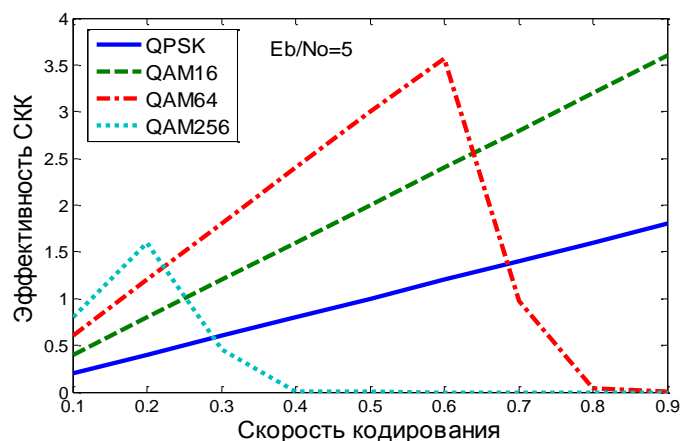


Рис.8. Зависимости эффективности СКК от скорости кодирования

Полученные результаты позволяют выбирать СКК с максимальным значением  $E$  в зависимости от показателя качества радиоканала  $E_b / N_0$ .

На основе вычислительных экспериментов и результатов проведенных исследований разработаны следующие методы, направленные на повышение эффективности функционирования звена передачи данных:

метод межуровневой оптимизация длин блоков физического ( $n_1$ ) и канального ( $n_2$ ) уровней сети по критерию производительности звена передачи данных ( $E$ ). Для различных параметров канала связи определены оптимальные значения длин блоков данных физического и канального уровней, при которых производительность звена передачи достигает максимального значения;

методы выбора оптимальной длины кадра и случайного доступа к общему радиоканалу на основе механизмов искусственного интеллекта (Reinforcement Learning), позволяющие улучшить характеристики (вероятность правильного выбора оптимальной длины кадра и время установления соединения) звена передачи данных до 1.5 раза по сравнению с известными методами;

метод конвейерной обработки кадров в OpenFlow-коммутаторе программно-конфигурируемой сети, позволяющий увеличить диапазон функционирования коммутатора без перегрузки до 1.7 раза в зависимости от количества таблиц потоков в конвейере.

**В третьей главе «Разработка межуровневых моделей передачи, обслуживания и маршрутизации пакетов в сетях телекоммуникаций»** проведено исследование взаимосвязи характеристик физического, канального и сетевого уровней в процессах передачи и обработки информационных единиц (пакетов, сегментов) уровней сети и разработаны межуровневые модели: процесса передачи пакетов данных сетевого уровня, процесса передачи сегмента данных транспортного уровня, маршрутизации и обслуживания потоков на узлах сети, а также модель и метод динамического приоритетного обслуживания очередей на узлах сети.

Основываясь на результатах исследования возможных событий на узлах сети при передаче и обработке пакетов разработана межуровневая модель процесса передачи пакетов данных сетевого уровня. Пакет данных от источника до получателя проходит через несколько звеньев передачи данных (рис.2). Вероятность ошибки каждого бита принятого пакета данных длиной  $n_c$  бит на сетевом уровне узлах сети определяется как  $p_c = P_{oik} / n_c$ , где  $P_{oik}$  - вероятность остаточного искажения кадра данных в звене передачи определяется по формуле (11).

На сетевом уровне каждого транзитного узла сети пакет данных с вероятностью  $P_{пп}$  принимается правильно, с вероятностью  $P_{но}$  обнаруживается ошибка и с вероятностью  $P_{оо}$  обнаруживается ошибка. При обнаружении ошибки пакет устраняется. Вероятности правильного приема, искаженного приема и устранения пакета данных в сети с  $N$  транзитными узлами определяются в виде:

$$P_{пп} = P_{пп1} \cdot P_{пп2} \cdot P_{пп3} \cdots P_{ппN} = \prod_{i=1}^N P_{ппi}, \quad (13)$$

$$P_{иск} = P_{но} \cdot \sum_{k=1}^{N-1} P_{пп}^{k-1} \cdot (P_{пп} + P_{но})^{N-k}, \quad (14)$$

$$P_{ус} = P_{оо} \cdot \sum_{k=1}^N (P_{пп} + P_{но})^{k-1}. \quad (15)$$

Разработана межуровневая модель процесса передачи сегмента данных транспортного уровня сети. На транспортном уровне передатчика сообщение прикладного уровня сети длиной  $n_c$  делится на сегменты длиной  $n_s$ .

Форматированный сегмент длиной  $n_4$  передается сетевому уровню, где сегмент размещается в поле данных пакета. Далее осуществляются процессы передачи пакетов и кадров данных.

По критерию максимальной скорости передачи данных определены оптимальные длины сегмента данных транспортного уровня при различных параметрах помехоустойчивого кода физического уровня и вероятностей ошибки единичного элемента в дискретном канале связи.

В известных методах обслуживания очередей решение задачи распределения пропускной способности между очередями имеет статистический характер, т.е. решается администратором путем настройки.

Для устранения недостатков существующих методов предлагается метод динамического обслуживания очередей. Этапы выполнения предложенного метода:

1. Определяется суммарная интенсивность потоков -  $D = \sum_{i=1}^N d_i$ .
2. Определяется доля  $i$  – го трафика в общем потоке -  $\gamma_i = \frac{d_i}{D}$ .
3. Определяется объем буфера, выделяемого для  $i$  – й очереди  $l_i = \gamma_i L$ .
4. Вводится управляемая переменная  $x_i$ , которая характеризует доля пропускной способности канала выделяемого для обслуживания  $i$  - й очереди, при этом  $\sum_{i=1}^N x_i = 1, 0 \leq x_i \leq 1$ .
5. Вводится условие предотвращения перегрузки очередей -  $d_i < x_i c$ .
6. Минимизируется сумма длин всех очередей с учетом коэффициентов важности ( $g_i$ ) потоков -  $\min \sum_{i=1}^N g_i Q_i$ .

Предложенный метод помимо распределения пропускной способности канала, осуществляет распределение общего объема буферной памяти между буферами очередей и обеспечивает гарантированное обслуживание низкоприоритетных потоков.

Обосновано, что существующие протоколы маршрутизации недостаточно реализуют механизмы качества обслуживания (Quality of Service, QoS) и инжиниринга трафика (Traffic Engineering). Учитывая потоковый характер трафика, циркулирующего в современных сетях, перспективным является переход от графовых к потоковым моделям, которые, наряду с расчетом множества путей, определяют порядок распределения по ним трафика пользователей.

Анализ известных работ показал, что задачи маршрутизации потоков и обслуживания очередей на узлах сети решаются не согласованно. С целью устранения данного недостатка разработана межуровневая модель маршрутизации потоков и динамического обслуживания очередей на узлах сети. Структура сети телекоммуникации описывается с помощью графа  $G = (V, E)$ , где  $V$  - множество узлов (маршрутизаторов) сети,  $E$  - множества

звеньев (каналов) передачи, соединяющие узлы сети. Каждому классу трафика присвоен приоритет  $k$ . Чем меньше  $k$ , тем выше приоритет трафика. Каждому трафику  $k$  – приоритета сопоставлен ряд параметров:  $d_k, s_k, t_k$  – интенсивность трафика  $k$ -го приоритета, маршрутизатор-источник и маршрутизатор-получатель, соответственно. На узлах сети для каждого трафика  $k$  –го приоритета организуется отдельная очередь. Следовательно, количество очередей на каждом узле сети равно  $K$ . Управляющей переменной метода маршрутизации потоков служит величина  $x_{ij}^k$ , которая характеризует долю трафика  $k$ -го приоритета, протекающего в канале  $(i, j) \in E$  с пропускной способностью  $c_{ij}$ . Управляющей переменной метода распределения пропускной способности канала на узлах сети служит величина  $y_{ij}^k$ , которая характеризует долю пропускной способности канала, выделяемого для обслуживания  $k$ -й очереди  $j$ -го интерфейса  $i$ -го узла сети. С целью недопущения перегрузки маршрутизаторов и сети в целом необходимо обеспечить выполнение условий сохранения потока и предотвращения перегрузки каналов.

В данной постановке задачи основным требованием к методу маршрутизации потоков является сбалансированное распределение трафиков различных приоритетов между узлами сети, а метод распределения пропускной способности каналов должен обеспечить дифференцированное обслуживание трафиков с учетом приоритетов.

Определяется индекс сбалансированности очередей  $j$  –го интерфейса  $i$  –го узла сети:

$$\sigma_{ij} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^K (\rho_{ij}^{k*} - \bar{\rho}_{ij}^*)^2}{K-1}}, \quad (i, j) \in E, \quad (16)$$

где  $\rho_{ij}^{k*}$  и  $\bar{\rho}_{ij}^*$  – загрузка  $k$ -й очереди и средняя загрузка  $j$ -го интерфейса  $i$ -го узла относительно к общей пропускной способности канала  $c_{ij}$  соответственно:

$$\rho_{ij}^{k*} = \frac{d_k x_{ij}^k}{c_{ij}}, \quad \bar{\rho}_{ij}^* = \frac{\sum_{k=1}^K \rho_{ij}^{k*}}{K}. \quad (17)$$

Управляющие переменные метода маршрутизации потоков  $x_{ij}^k$  определяются путем решения задачи минимизации суммы индексов сбалансированности очередей узлов сети:  $\min \sum_{(i,j) \in E} \sigma_{ij}$ .

После решения задачи маршрутизации потоков решается задача обслуживания очередей на узлах сети. Управляющие переменные метода обслуживания очередей  $y_{ij}^k$  определяются путем минимизации суммы длин очередей узлов сети с учетом коэффициентов важности трафиков:

$$\min \sum_{(i,j) \in E} \sum_{k=1}^k v_k Q_{ij}^k, \quad (18)$$

где  $Q_{ij}^k$  - средняя длина  $k$ -й очереди  $j$ -го интерфейса  $i$ -го узла сети.

Определяются средняя многопутевая задержка и вероятность доставки пакетов  $k$ -го трафика. Полученные результаты показывают, что метод маршрутизации потоков обеспечивает сбалансированную загрузку узлов сети, а метод обслуживания очередей обеспечивает дифференцированное обслуживание приоритетных трафиков.

**В четвертой главе «Разработка моделей оценки показателей эффективности функционирования сети телекоммуникаций с учетом свойств трафика и виртуализации сетевых ресурсов»** проводится исследование характеристик сети с самоподобным трафиком и зависимым интервалом поступления пакетов от их длин, также вопросы встраивания (отображения) виртуальных сетей в физической сети. Разработаны модели оценки характеристик сети с учетом фрактального (самоподобности) трафика, модели оценки характеристик сети с учетом зависимости интервалов между пакетами от их длин, осуществлена оценка эффективности виртуализации сетевых ресурсов и проведены соответствующие вычислительные эксперименты. Наряду с этим, разработаны рекомендации для операторов сети по оценке показателей эффективности функционирования сети.

В настоящее время для расчета показателей систем с фрактальным трафиком используется формула Норроса или формулы, полученные для системы G/G/1. Путем имитационного моделирования показано, что эти формулы при одинаковых исходных данных дают разные результаты. На основе аппроксимации результатов имитационного моделирования предложены следующие формулы для расчета средней длины очереди и вероятности потери пакетов:

$$Q = \frac{\rho \cdot P_{ож}}{1 - P_{ож}}; \quad P_{loss} = \frac{(1 - P_{ож})}{1 - P_{ож}^{(L+2)}} P_{ож}^{(L+1)}, \quad (19)$$

где  $\rho$  - загрузка системы;  $P_{ож} = a\rho^2 + b\rho + c$  - вероятность ожидания пакета в очереди,  $a, b$  и  $c$  - коэффициенты аппроксимации, которые определены для различных значениях показателя Херста и  $L$  - емкость буферного запоминающего устройства, измеряемая в пакетах.

Проведенные расчеты при различных значениях показателя Херста показывают, что предложенные формулы (19) обеспечивают наиболее точные результаты по сравнению с известными формулами.

В настоящее время не существует точного аналитического решения задачи исследования последовательных сетей с зависимым интервалом поступления пакетов от их длин (зависимый поток). В диссертационной работе путем имитационного моделирования определены гистограммы распределения времени задержки пакетов и на основе аппроксимации

предложены выражения для расчета средней задержки, вариации задержки и вероятности своевременной доставки пакетов с зависимым потоком.

Рассматриваются задачи моделирования и оценки эффективности функционирования виртуальных сетей, построенных на основе концепции сетей будущего (Future Networks).

В диссертационной работе разработан алгоритм встраивания (отображения) виртуальных сетей с учетом связности маршрутизаторов. С целью оценки эффективности алгоритмов встраивания виртуальных сетей проведены вычислительные эксперименты с помощью разработанных алгоритмов и программ.

Определены коэффициенты встраивания виртуальной сети ( $k_{cv}$ ) и эффективного использования ресурсов физической сети ( $k_{ef}$ ) по формулам:

$$k_{cv} = \frac{N_{vc}}{N_{\max vc}}, \quad k_{ef} = \frac{V_{\min fc}}{V_{fc}} \quad (20)$$

где  $N_{\max vc}$  - максимально возможное количество встраиваемых виртуальных сетей в заданную физическую сеть;  $N_{vc}$  - количество встроенных виртуальных сетей при реализованном алгоритме встраивания;  $V_{\min fc}$  - минимальный объем физических сетевых ресурсов для встраивания  $N_{\max vc}$  виртуальных сетей;  $V_{fc}$  - объем физических сетевых ресурсов, используемых для встраивания виртуальных сетей при реализованном алгоритме встраивания.

Значения  $N_{\max vc}$  и  $V_{\min vc}$  определяются с помощью алгоритма встраивания виртуальных сетей на основе перебора.

Предложенный алгоритм встраивания виртуальных сетей с учетом связности маршрутизаторов обеспечивает наибольшие коэффициенты встраивания виртуальных сетей и эффективного использования физических сетевых ресурсов по сравнению с известными алгоритмами.

На основе результатов, полученных в диссертационной работе, сформулированы рекомендации операторам телекоммуникации по оценке показателей эффективности функционирования сетей телекоммуникаций.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты, полученные в диссертационной работе, сводятся к следующему выводу.

1. Существующие модели сетевого взаимодействия ограничивают производительность сети, так как в этих моделях отсутствуют координация и взаимодействие протоколов несмежных уровней. В настоящее время разрабатываются различные механизмы межуровневого взаимодействия. Межуровневые модели сети телекоммуникации являются основой для решения задач межуровневой оптимизации.



2. Учитывая принципы и особенности организации и функционирования современных проводных и беспроводных сетей, разработана методология межуровневого исследования характеристик сетей телекоммуникации, заключающийся в том, что характеристики нижнего уровня сети используются в качестве параметров вышестоящего уровня. Данная методология позволила разработать взаимоувязанные модели исследования характеристик уровней сетей в соответствии с эталонной моделью взаимосвязи открытых систем.

3. Разработаны межуровневые модели звена передачи (состоящего из физического и канального уровней) современных проводных и беспроводных сетей (LTE и 5G). Учет характеристик потока ошибок в канале связи и взаимодействия механизмов физического и канального уровней современных сетей позволил повысить адекватность разработанных моделей и точность расчета показателей эффективности функционирования нижних уровней сети телекоммуникации. С целью улучшения показателей эффективности функционирования физического и канального уровней сети разработаны:

межуровневая модель оптимизации длин блоков данных звена передачи данных;

метод выбора длины кадра данных на основе обучения с подкреплением, позволяющий в зависимости от качества канала связи увеличить вероятность правильного выбора оптимальной длины кадра в 1.54 раза;

метод случайного доступа к общему радиоканалу LTE на основе обучения с подкреплением, позволяющий уменьшить среднее время установления соединения 1.57 раза;

метод конвейерной обработки пакетов в OpenFlow коммутаторе программно-конфигурируемой сети, позволяющий увеличить диапазон функционирования коммутатора без перегрузки до 1.7 раза по сравнению с известными методами.

4. Разработана межуровневая модель процесса передачи пакета сетевого уровня. Вероятностно-временные характеристики обслуживания пакета определены с учетом механизмов и характеристик звена передачи данных. Разработана межуровневая модель процесса передачи сегмента данных транспортного уровня с учетом показателей сетевого уровня и определены оптимальные длины сегмента данных при различных значениях вероятности битовой ошибки на физическом уровне.

5. Разработан метод динамического обслуживания очередей (потоков) на узлах сети, обеспечивающий дифференцированное и гарантированное обслуживание потоков с учетом важности (класса) потоков, позволяющий уменьшить среднюю задержку низкоприоритетных пакетов до 1.8 раза по сравнению с методом обслуживания с относительным приоритетом. Разработана межуровневая модель маршрутизации и динамического обслуживания потоков на узлах сети, обеспечивающая сбалансированное использование сетевых ресурсов сети.

6. Разработаны имитационные модели и предложены формулы для расчета показателей эффективности функционирования сети с учетом

самоподобности трафика. Показана степень влияния механизмов канального уровня и самоподобности трафика на результаты маршрутизации потоков.

7. Разработаны имитационные модели оценки показателей эффективности функционирования сети с учетом зависимости интервалов поступления от их длин. На основе аппроксимации полученных гистограмм распределения времени доставки пакетов в сети предложены аналитические выражения для расчета средней задержки, вероятности своевременной доставки и вариации задержки пакетов с учетом зависимости потока.

8. Разработан алгоритм отображения виртуальных сетей, позволяющий увеличить коэффициент встраивания виртуальных сетей в 1.65 раза, а коэффициент эффективного использования ресурсов физической сети в 1.44 раза по сравнению с известными алгоритмами.

9. На основе результатов диссертации сформулированы рекомендации операторам сети по оценке показателей эффективности функционирования сети телекоммуникации.

10. Важным следствием проведенных исследований являются новые подходы и методы, как изменение и усовершенствование существующих теорий и развитие положений по исследованию сетей телекоммуникации. Методология проведенного исследования, комплекс моделей, методов и инструментальных программных средств, охватывающих процессы аналитического и имитационного моделирования, являются основой совершенствования или целесообразности разработки необходимой нормативной базы для определения, расчета и оценки сетевых характеристик при создании (проектировании) и эксплуатации современных сетей.

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

---

**TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES**

**AMIRSAIDOV ULUGBEK BABUROVICH**

**CROSS-LAYER MODELS AND METHODS TO IMPROVING THE  
PERFORMANCE EFFICIENCY OF MODERN TELECOMMUNICATION  
NETWORKS**

05.04.01 – Telecommunication and Computer Systems,  
Telecommunication Networks and Devices. Distribution of Information

**ABSTRACT FOR THE DOCTORAL (DSc)  
DISSERTATION OF TECHNICAL SCIENCES**

**Tashkent – 2021**

The theme of doctoral (DSc) dissertation was registered with the number of B2021.1.DSc/T417 at the Supreme Attestation Commission of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan.

The dissertation has been prepared at Tashkent University of Information Technologies. The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, and English (abstract)) on the Scientific Council website ([www.tuit.uz](http://www.tuit.uz)) and on the website of «ZiyoNet» Information and Educational portal ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

<b>Scientific adviser:</b>	<b>Usmanova Nargiza Bakhtiyorbekovna</b> Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
<b>Official opponents:</b>	<b>Yusupbekov Nodirbek Rustambekovich</b> Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician AS RUz  <b>Tursunov Bakhtiyar Mukhamedzhanovich</b> Doctor of Technical Sciences, Professor  <b>Khamdamov Utkir Rakhmatillaevich</b> Doctor of Technical Sciences, Professor
<b>Leading organization:</b>	<b>State Unitary Enterprise «UNICON.UZ»</b>

The defense of the thesis will held on August 27, 2021 year at 10<sup>00</sup> hours at the meeting of the Scientific Council DSc.13/30.12.2019.T.07.02 at the Tashkent University of Information Technologies in **on-line** mode on the Zoom platform. **Zoom ID: 330 044 4963, Access code 1.** (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 Centre of Tashkent University of Information Technologies. (registration number 223 ). (address: 100202, Tashkent, Amir Temur str., 108. Tel: (99871) 238-64-44).

The abstract of dissertation is distributed on: « 12 » of August 2021.  
(Protocol at the register No. 6 on « 16 » of August 2021).



**I.X. Siddikov**

Chairman of The Scientific Council Awarding Scientific Degrees, Doctor of Technical Sciences, Professor

**X.E. Xujamatov**

Scientific Secretary of the Scientific Council awarding Scientific Degrees, Doctor of Philosophy (Phd) on Technical Sciences, Associate Professor

**D.A. Davronbekov**

Chairman of the Academic Seminar Under the Scientific Council Awarding Scientific Degrees, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

## INRODUCTION (abstract of DSc thesis)

**The aim of the research** is to develop cross-layer models and methods of information exchange that improve the interdependence of the characteristics of the functional levels of the telecommunications network and increase the efficiency of using network resources.

**The tasks of the research work:**

analysis of methods for researching the processes of functioning of telecommunication networks;

development of cross-layer models of the data transmission link of modern wired and wireless networks, taking into account the relationship of quality characteristics and coordination of the parameters of the layers;

development of a cross-layer model of the functioning of a telecommunications network, taking into account the parameters of the data transmission link;

development of an cross-layer model for routing data flows and servicing queues at network nodes;

development of methods based on cross-layer interaction to improve the performance efficiency of the telecommunications network;

development of models for assessing the performance efficiency of a telecommunications network, taking into account the properties of traffic and virtualization of network resources.

**The object of the research work** is the multi-layer functional architecture of the telecommunications network.

**The subject of the research work** is mathematical models and methods of improving the quality of performance of telecommunication networks.

**The methods of the research work.** To solve the set tasks, the methods of the theory of probability and mathematical statistics, the queuing theory and the theory of modeling of random processes were used.

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

a methodology for researching cross-layer interaction and a method for dynamic queuing in telecommunication networks have been developed, which allow to improve the efficiency of information transmission;

cross-layer models of the data transmission link of wired and wireless networks have been developed, which allow to improve the efficiency of the physical and the data link layers;

a cross-layer model of a telecommunication network has been developed, which allows to evaluate the efficiency of using network resources and the degree of interconnection of indicators of network efficiency;

a cross-layer model of routing data flows and queuing at the nodes of the telecommunications network has been developed;

methods of cross-layer interaction and artificial intelligence have been developed, which allow to improve the efficiency of telecommunication networks;

models for evaluating the efficiency indicators of a telecommunications network have been developed, which allow to take into account the self-similarity of traffic and virtualization of network resources.

**The practical results of the research work** are as follows:

a program has been developed to select the optimal length of a data frame when transmitting over a Hilbert communication channel;

a program for embedding a virtual network in a physical network based on the enumeration method has been developed;

a program has been developed for embedding a virtual network in a physical network, taking into account the connectivity of routers;

formulated recommendations for telecom operators based on the results of the developed models for assessing the performance efficiency indicators of telecommunication networks

**The reliability of the research results.** The reliability of the main results of the dissertation is confirmed by the correct application of the methods of queuing theory, MatLab optimization software and the results of simulation modeling using AnyLogic and GPSS World software.

**The scientific and practical significance of the research results.** The scientific significance of the research results lies in the development of cross-layer models and methods for improving the quality of the performance of telecommunication networks, models for routing flows and dynamic queuing. An important consequence of the research is new approaches and methods, such as the improvement of existing theories, and the development of the provisions of a new area of research - the theory of teletraffic of multiservice networks, to build new models that take into account cross-layer interactions, traffic properties and mechanisms for implementing layers to analyze the performance efficiency of modern wired and wireless networks.

The practical significance of the results of the dissertation work is expressed in the development of a methodology for analyzing the requirements for networks and technologies for creating new interfaces and combining adjacent layers, as well as the implementation of communication capabilities in problem areas in the development of communication protocols, and adaptability to new functions (wired and wireless) network environment, such as common channels, limited bandwidth, high error rates, increased latency and mobility.

Along with this, an important result of the research, which is of practical importance for the information technology and communications industry of the Republic of Uzbekistan, is the possibility of forming the necessary requirements and developing instructions for network indicators and characteristics for modern networks, as well as the developed algorithms and programs for displaying virtual networks in a physical network.

**The implementation of the research results.** Based on the results obtained on cross-layer models and methods of improving the performance efficiency of modern telecommunications networks:

Models of data transmission links of interconnected wireless networks of physical and data link layers and cross-layer communication methods to increase the efficiency of telecommunication networks were introduced to enterprises under the Ministry for Development of Information Technologies and Communications, including «COSCOM» LLC (Reference of the Ministry for Development of

Information Technologies and Communications of the Republic of dated January 15, 2021 № 33-8 / 319). As a result, the efficiency of the data link layer was increased by 23%;

cross-layer communication methods of improving the efficiency of the telecommunications network and the conceptual approach to cross-layer relationship of processes of telecommunications networks improving the interaction of indicators and the interdependence of the functional layers of the network were introduced to enterprises under the Ministry for Development of Information Technologies and Communications, including «UMS» LLC (Reference of the Ministry for Development of Information Technologies and Communications of the Republic of Uzbekistan dated January 15, 2021 №33-8 / 319). As a result, the efficiency of the data link layer was increased by 20%;

a cross-layer model of a telecommunication network providing efficient use of network resources, interconnection of parameters and indicators of information exchange and models of assessment of efficiency of telecommunication network with virtualization of network resources, characteristics of similarity and interdependence of traffic were introduced into the design process of telecommunication networks of « Uzbektelecom » JSC (Reference of the Ministry for Development of Information Technologies and Communications of the Republic of Uzbekistan dated January 15, 2021 № 33-8/319). As a result, traffic quality of service indicators improved by 5-7%.

**Approbation of the results.** The main results of the dissertation work were reported and discussed at 7 international, 6 republican scientific and practical conferences and scientific seminars.

**Publications.** 35 scientific papers have been published on the topic of the research, including 2 monographs, 17 scientific articles, of which 12 are recommended by the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for the publication of the main scientific results of doctoral dissertations, including 3 in foreign and 9 in republican journals, as well as 3 certificates of registration of computer software were received.

**The volume and structure of the dissertation.** The dissertation contains 194 pages and consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a bibliography and appendices.

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLICATIONS**

**I бўлим (I часть; I part)**

1. Амирсайдов У.Б., Усманова Н.Б. Моделирование и реализация виртуальных наложенных сервисных сетей. Монография.- Ташкент: “Алоқачи”. 2019. – 180 с.

2. Амирсайдов У.Б. Модели оценки качества обслуживания в сетях телекоммуникаций. Монография.–Ташкент: “Алоқачи”. 2020. – 172 с.

3. Абдуллаев Д.А., Амирсайдов У.Б. Комплексная модель физического и канального уровней сети передачи данных. // Журнал «Вестник ТУИТ». – Ташкент, 2007. - №4. - С.19 -23 (05.00.00; №31).

4. Амирсайдов У.Б. Оценка достоверности и потери пакетов в сетях передачи данных. // Журнал «Вестник ТУИТ». – Ташкент, 2009. - №2. - С.73-77(05.00.00; №31).

5. Амирсайдов У.Б. Оптимизация параметров систем передачи данных средствами MATLAB. // Журнал «Вестник ТУИТ». – Ташкент, 2010. - №2. - С.50-54 (05.00.00; №31).

6. Амирсайдов У.Б., Косимова Н.А. Имитационное моделирование систем массового обслуживания с самоподобным трафиком. // Журнал «Инфокоммуникации: сети-технологии – решения». – Ташкент, 2012. -№3. – С.33-37 (05.00.00; №2).

7. Амирсайдов У.Б. Метод расчета характеристик систем массового обслуживания с самоподобным трафиком. // Журнал «Вестник ТУИТ». - Ташкент, 2013.- №4. - С.12-22. (05.00.00; №31).

8. Амирсайдов У.Б., Махмудов С.О., Мусаходжаева И.А. Метод расчета характеристик сети массового обслуживания с зависимым потоком. // Журнал «Вестник ТУИТ». – Ташкент, 2014. - №3. – С.63-69 (05.00.00; №31).

9. Амирсайдов У.Б. Имитационное моделирование виртуальных сервисных сетей. // Журнал «Инфокоммуникации: сети – технологии – решения». – Ташкент, 2019. - №1(49).- С.5-12 (05.00.00; №2).

10. Амирсайдов У.Б. Метод отображения виртуальных сетей в физической сети с учетом связности маршрутизаторов. // Журнал «Вестник ТУИТ».- Ташкент, 2019. - №1(49). - С.29-37 (05.00.00; №31).

11. Amirsaidov U., Qodirov A.A. Data Transmission Method on the Basis of Reinforcement Learning. ICISCT 2019. 4-6 November, 2019. Tashkent, Uzbekistan. DOI: 10.1109/ICISCT47635.2019.9012018 (ОАК Раёсатининг 30.09.2019 йилдаги 269/8-сон қарори билан диссертациялар асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрлар рўйхатига киритилган ва хорижий илмий нашрларда чоп этилган мақолаларга тенглаштирилган).

12. Амирсайдов У.Б. Формализация задачи встраивания виртуальных сетей в физической сети. // Журнал «Мухаммад ал-Хоразмий авлодлари».- Ташкент, 2020. - №1(11).- С.51-55 (05.00.00; №10).



13. Amirsaidov U.B. A Pipelined Processing Model of Packets in an OpenFlow Switch. // International Conference on Information Science and Communications Technologies ICISCT 2020, 4-6 November 2020, Tashkent, Uzbekistan. DOI: 10.1109/ICISCT50599.2020.9351477. (ОАК Раёсатининг 30.10.2020 йилдаги 368-сон қарори билан диссертациялар асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрлар рўйхатига киритилган хорижий илмий нашрларда чоп этилган илмий мақолаларга тенглаштирилган).

14. Amirsaidov U.B., Qodirov A.A. Evaluation of Correcting Ability of LDPC Code in 5G Networks. // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology (IJARSET). 2020. Vol. 7, Issue 1. - pp. 1254-1258 (05.00.00; №8).

### **II бўлим (II часть; II part)**

15. Amirsaidov U.B., Qodirov A.A. Implementation of the Reinforcement Learning Mechanism in the Random Access Channel Procedure. // The 14th IEEE International Conference Application of Information and Communication Technologies AICT 2020. 07-09 October 2020, Tashkent, Uzbekistan. DOI: 10.1109/AICT50176.2020.9368724.

16. Amirsaidov U.B., Ishmuhamedov T.N. Mathematical model of data transmission in the OSI transport network. // Сборник трудов Международной научной конференции «Проблемы развития информационно-коммуникационных технологий и подготовки кадров». 21-22 сентября 2009 г. Ташкент. - С.3-6.

17. Amirsaidov U.B. Optimization of the parameters of data transmission systems by the means of MATLAB. // The 4<sup>th</sup> International Conference on “Application of information and communication technologies”. 12 – 14 October. Tashkent-2010. -P.189-193. DOI: 10.1109/ICAICT.2010.5611801.

18. Амирсаидов У.Б. Модели и методы расчета сетевых характеристик с учетом фрактальности трафика. // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета и информатики. Часть 1. - Ростов –на - Дону, 2014. - С.131-134.

19. Amirsaidov U.B. Models and methods for calculating the network characteristics taking into account the fractal nature of traffic. “The Society of Digital Policy & Management”. Korea – 2014. - pp.301-307.

20. Амирсаидов У.Б. Эмпирические формулы для расчета сетевых характеристик с учетом фрактальности и зависимости трафика. Сборник докладов Республиканской научно-технической конференции «Перспективы эффективного развития информационных технологий и телекоммуникационных систем». Часть 2. Ташкент – 2014 г. - С.256-258.

21. Amirsaidov U.B., Mahmudov S.O Simulation model of backbone network. Transactions of the international scientific conference “Perspectives for the development of information technologies ITPA 2014”. 4-5 November 2014. Tashkent. - pp.271-274.

22. Amirsaidov U.B., Ummatov U.A. Modeling multiservice access network. // Transactions of the international scientific conference “Perspectives for the development of information technologies ITPA 2014”. 4-5 November 2014. Tashkent. - pp.274-277.

23. Амирсaidов У.Б. Сравнительный анализ методов расчета вариации задержки IP-пакетов. // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатизации. Часть 1. - Ростов-на-Дону, 2015. – С.34-37.

24. Амирсaidов У.Б. Метод оценки вариации задержки пакетов. // Сборник докладов Республиканской научно-технической конференции «Проблемы информационных и телекоммуникационных технологий». 12-13 марта 2015 г., часть 4. Ташкент. - С.91-93.

25. Амирсaidов У.Б., Кодиров А.А. Имитационная модель IP/MPLS сети в среде ANYLOGIC. // «Radiotexnika, telekommunikatsiya va axborot texnologiyalari: muammolari va kelajak rivoji» mavzusidagi xalqaro ilmiy-texnik konferensiya maqolalar to‘plami. I-TOM, 21-22- may 2015 y. Toshkent – B.393-396.

26. Амирсaidов У.Б. Рекомендации к оценке показателей качества обслуживания в телекоммуникационных сетях. // Сборник докладов Республиканской научно-технической конференции «Проблемы информационных и телекоммуникационных технологий». 12-13 марта 2015 г. часть 4. Ташкент. - С.89-90.

27. Амирсaidов У.Б. Совершенствование нормативных документов и системных требований в области качества обслуживания NGN. // Сборник трудов X международной научно-технической конференции «Технологии информационного общества». 16-17 марта, Москва, 2016. - С.9.

28. Амирсaidов У.Б., Усманова Н.Б. Облачная инфраструктура инфокоммуникационной сети: особенности моделирования. // Журнал «Вестник науки и образования». - Москва, 2017. - №4 (28).- С.17-21.

29. Amirsaidov U.B., Usmanova N.B. Modeling of cloud computing system: approach for dynamic allocation of virtual machines. // “The scientific method”. – Poland, 2017. - №6(6). - pp.79-84.

30. Амирсaidов У.Б., Жононмирзаева Д.И. Многоуровневые модели сетевого взаимодействия и принципы их совершенствования. Сборник докладов Республиканской научно-технической конференции «Значение информационно-коммуникационных технологий в инновационном развитии отраслей экономики». 4-5 марта 2021 г. часть 1. Ташкент. - С.317-320.

31. Амирсaidов У.Б. Формализация задачи межуровневого исследования сетей телекоммуникаций. Сборник докладов Республиканской научно-технической конференции «Значение информационно-коммуникационных технологий в инновационном развитии отраслей экономики». 4-5 марта 2021 г. часть 1. Ташкент. - С.315-317.

32. Амирсaidов У.Б. Определение параметров канала связи и протокола передачи данных на основе искусственного интеллекта. «Рақамли

технологиялар: соҳаларда амалий жорий этишнинг ечимлари ва муаммолари» Республика илмий-техник анжумани. Ташкент - 2021 г.- С.107-111.

33. Амирсайдов У.Б. Отображение виртуальной сети в физической сети с учетом связности маршрутизаторов. // Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. Свидетельство № DGU 06468, 17 мая 2019 г.

34. Амирсайдов У.Б. Отображение виртуальной сети в физической сети на основе метода перебора. // Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. Свидетельство № DGU 06144, 11 марта 2019 г.

35. Амирсайдов У.Б. Выбор оптимальной длины блока данных для передачи по гильбертовскому дискретному каналу связи. // Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. Свидетельство DGU 06 459 , 17 мая 2019 г.

Автореферат «Муҳаммад ал-Хоразмий авлодлари» илмий журнали таҳририятида  
таҳрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус ва инглиз тиллари матнларни мослиги  
текширилди (16.08.2021)

Бичими 60x84<sup>1/16</sup>. «Times New Roman» гарнитураси.  
Рақамли босма усулда босилди.  
Шартли босма табақи: 3,75. Адади 100. Буюртма №38/21.

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