

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

---

**ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ**

**МАХМУДОВ САЛИМЖОН ОЛИМЖОНОВИЧ**

**ЮҚОРИ ЮКЛАМА ШАРОИТИДА ДАСТУРИЙ  
КОНФИГУРАЦИЯЛАНДИГАН ТАРМОҚЛАРДА ГЕТЕРОГЕН  
ТРАФИК ОҚИМЛАРИНИ ТАҚСИМЛАШ МОДЕЛИ ВА  
АЛГОРИТМЛАРИ**

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

**техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси**  
**АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2020

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси  
автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)  
по техническим наукам**

**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)  
on technical sciences**

**Махмудов Салимжон Олимжонович**

Юқори юклама шароитида дастурий конфигурацияланадиган тармоқларда гетероген трафик оқимларини тақсимлаш модели ва алгоритмлари..... 3

**Махмудов Салимжон Олимжонович**

Модель и алгоритмы распределения потоков разнородного трафика в программно-конфигурируемых сетях в условиях высокой загрузки..... 21

**Mahmudov Salimjon Olimjonovich**

Model and algorithms for the distribution of heterogeneous traffic flows in software-defined networks under high load..... 39

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ  
List of published works ..... 43

**МАХМУДОВ САЛИМЖОН ОЛИМЖОНОВИЧ**

**ЮҚОРИ ЮКЛАМА ШАРОИТИДА ДАСТУРИЙ  
КОНФИГУРАЦИЯЛАНАДИГАН ТАРМОҚЛАРДА ГЕТЕРОГЕН  
ТРАФИК ОҚИМЛАРИНИ ТАҚСИМЛАШ МОДЕЛИ ВА  
АЛГОРИТМЛАРИ**

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

**техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси**  
**АВТОРЕФЕРАТИ**

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2017.3.PhD/T465 рақам билан рўйхатга олинган.

Докторлик диссертация Тошкент ахборот технологиялари университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (www.tuit.uz) ва “Ziyonet” Ахборот таълим порталида (www.ziyonet.uz) жойлаштирилган.

**Илмий раҳбар:**

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

**Расмий оппонентлар:**

**Хамдамов Уткир Рахматиллаевич**  
техника фанлар доктори, доцент

**Рахимов Бахтиёржон Неъматович**  
техника фанлар доктори, доцент

**Етақчи ташкилот:**

**“Ўзбектелеком” АК**

Диссертация химояси Тошкент ахборот технологиялари университети ҳузуридаги DSc.13/30.12.2019.T.07.02. Илмий кенгашнинг 2020 йил “25” ноябр соат 16<sup>00</sup> даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100202, Тошкент шаҳри, Амир Темур кўчаси, 108-уй.) Тел: (99871) 238-64-43, факс: (99871) 238-65-52, e-mail: tuit@tuit.uz).

Диссертация билан Тошкент ахборот технологиялари университети Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин. (2625 рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100202, Тошкент шаҳри, Амир Темур кўчаси, 108-уй. Тел: (99871) 238-64-44).

Диссертация автореферати 2020 йил “14” ноябр да тарқатилди.  
(2020 йил “13” ноябр даги 6 рақамли реестр баённомаси)



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

**Х.Э. Хужаматов**  
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби, техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD), доцент

**Р.М. Алиев**  
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раис муовини, т.ф.д., доцент

## **КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертациясининг аннотацияси)**

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Жаҳонда сўнги йилларда янги турдаги алоқа тармоқлари ҳамда замонавий хизматлар янада мураккаб бошқарув функцияларини талаб этмоқда. Инфокоммуникация хизматларининг таракқиёти ахборот ресурсларини самарали бошқариш билан биргаликда, алоқа тармоғининг функционалигини кенгайтириш каби ечимларни талаб қилади. Ўз навбатида, телекоммуникация соҳасида янги технологияларнинг киритилиши ва ривожланиши алоқа операторлари олдида хизмат кўрсатиш сифатини таъминлаш, протоколлар ўртасида ўзаро ишлашни ташкил қилиш, ишончли транспортни тақдим этиш, хизматлар тўпламини аниқлаш каби ҳал этилиши талаб қилинадиган айрим муаммоларнинг мавжудлигини кўрсатади. Бу борада жаҳоннинг ривожланган мамлакатларида, хусусан, АҚШ, Европа Иттифоқи давлатлари, Япония, Жанубий Корея, Хитой, Россия ва бошқа мамлакатларда мавжуд тармоқнинг ишлаш самарадорлигини оширишни кўзда тутадиган дастурий конфигурацияланадиган тармоқлар ўрганилмоқда. Ушбу шароитда дастурий конфигурацияланадиган тармоқларнинг қурилмалари ҳар хил турдаги ва катта ҳажмдаги ахборотларни юқори тезликда, белгиланган сифат даражасида қайта ишлаш ҳамда узатиб бериш қобилиятига эга бўлиши, қисқа вақтда ахборот оқимини тармоқ бўйлаб самарали тақсимлаш ва маршрутлаш масалалари муҳим вазифалардан бири ҳисобланмоқда.

Жаҳонда ҳозирги кунда инфокоммуникация технологияларини ривожлантириш соҳасидаги тадқиқотлар анъанавий TCP/IP тармоқ технология фойдаланувчиларнинг ахборот узатишга бўлган талаблари тобора ўсиб бориши натижасида яқин келажакда жавоб бера олмаслигини кўрсатмоқда. Бундай ҳолатда ечим бўлиши кутилаётган дастурий конфигурацияланадиган тармоқлар нисбатан янги тармоқ технологияси ҳисобланганлиги сабабли, уларни ривожлантириш, такомиллаштириш, тармоқнинг самарадорлик кўрсаткичларини ошириш ва ҳисоблаш моделини ишлаб чиқиш масаласини тадқиқотчилар кенг ўрганишмоқда. Шунга кўра, тармоқнинг ташқи трафик ахборот оқимларини тақсимлаш жараёнларини оптималлаштириш, ташқи трафик оқимларини юқори юклама шароитида тақсимлаш усулини яратиш, ташқи гетероген трафик оқимлари қисқа маршрут йўллари орқали узатилишини таъминлайдиган алгоритм ва дастурий таъминотлар ишлаб чиқиш долзарб ҳисобланмоқда.

Ўзбекистон Республикасининг кейинги йиллардаги ижтимоий-иқтисодий ривожланиш дастурида ахборот-коммуникация технологияларини янада такомиллаштириш ва ривожлантириш, эришилган ютуқларни иқтисодиётнинг барча тармоқларида ҳаётга татбиқ этиш муҳим ўрин тутди. 2017 – 2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини ривожлантиришнинг бешта устувор йўналиши бўйича Ҳаракатлар стратегиясини “Илм, маърифат ва рақамли иқтисодиётни ривожлантириш йили”да амалга оширишга оид давлат дастури лойиҳасида, жумладан «...телекоммуникация инфраструктурасини ривожлантириш йўналишида Интернет тармоғидан кенг поласали фойдаланишни кенгайтириш, мобил алоқа тармоғи ва бошқа

замонавий телекоммуникация хизматларини ривожлантириш ва модернизация қилиш...»<sup>1</sup> вазифалари белгилаб берилган. Давлатнинг иқтисодий ривожланиш дастурларида кўзда тутилган кенг кўламли режаларни амалга ошириш инфокоммуникация тармоғи воситаларининг ишончли ва узлуксиз ишлашига ҳал қилувчи даражада боғлиқ. Ушбу шароитда ахборот-коммуникация тармоқларининг воситалари ҳар хил турдаги ва катта ҳажмдаги ахборотларни юқори тезлик, белгиланган сифат даражасида қайта ишлаш ҳамда узатиб бериши муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги, 2017 йил 30 июндаги ПФ-5099-сон «Республикада ахборот технологиялари соҳасини ривожлантириш учун шарт-шароитларни тубдан яхшилаш чора-тадбирлари тўғрисида»ги, 2018 йил 19 февралдаги ПФ-5349-сон «Ахборот технологиялари ва коммуникациялари соҳасини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги фармонлари ва қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга 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.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Дастурий конфигурацияланадиган тармоқлар концепцияси тармоқларни бошқариш ва лойиҳалаш услубларини ўзгартиради. Дастурий конфигурацияланадиган тармоқлар асосий иккита тавсифга эга. Биринчидан, бошқариш поғонасидан маълумот узатиш (инфраструктура) поғонаси ажратилади. Иккинчидан, бошқариш поғонаси марказлаштирилади, бунда битта бошқариш поғонаси маълумот узатиш поғонасидаги бир нечта элементларни бошқаради. Кўпгина тадқиқотлар дастурий конфигурацияланадиган тармоқларнинг инфраструктурасини шакллантириш, унинг самарадорлигини белгилайдиган кўрсаткичларини ўрганишга бағишланган бўлиб, оқимларни бошқариш ва маршрутлаш жараёнларини характерловчи параметрларини баҳолаш ва ҳисоблаш бўйича кенг қамровли тадқиқотлар олиб борилмоқда.

Дастурий конфигурацияланадиган тармоқларнинг функционал самарадорлигини ошириш, ҳар хил турдаги ташқи трафик оқимларини рационал тақсимлаш ва бошқа йўналишларда тадқиқотлар олиб бориш, янги усул ва алгоритмлар яратиш ҳамда жорий этиш каби масалаларига хорижий олимлар, жумладан N. McKeown, T. Anderson, G. Panilkar, L. Peterson, Y. Cui, J. Rexford, P. Смялянский, Д.А. Перепелкин, В.С.Бышов, Е.В. Плужник, В.П. Корячко, С.В.Малахов, Н. Xing, Ian F. Akyildiz, Pu Wang, Min Luo ва

---

<sup>1</sup>Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2020 йил 2 мартдаги ПФ-5953-сон Фармони (<https://lex.uz/docs/-4751561>)

бошқа хорижий олимларнинг ишлари бағишланган. Шунингдек, Республикамизда тармоқларда ахборот оқимини тақсимлаш ва баланслаштириш масалаларини тадқиқ этиш бўйича Т.Н. Нишонбоев, Н.Б. Усманова, У.Б. Амирсаидов, Р.П. Абдурахманов, О.Т. Алламов ва бошқа олимларнинг илмий ишлари бағишланган.

Олиб борилган таҳлил натижалари шуни кўрсатдики, ҳар хил турдаги (яъни, гетероген) ташқи трафик оқимларини юқори юклама шароитида қайта ишлаш, узатиш жараёнларини ташкил этиш масалалари ҳамда бошқа муаммолар пайдо бўлиши, уларни ҳисобга олган ҳолда дастурий конфигурацияланадиган тармоқлар самарадорлигини белгилайдиган кўрсаткичларни яхшилаш, янги усул, модел ва алгоритмларни ишлаб чиқиш ҳамда амалиётга жорий этиш масалалари етарли даражада ўрганилмаган.

**Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Муҳаммад ал-Хоразмий номидаги Тошкент ахборот технологиялари университетининг илмий-тадқиқот ишлари режасининг № Ф-635-16-сон «Дастурий конфигурацияланадиган тармоқлар негизидаги булутли маълумот қайта ишлаш марказларини моделлаштириш ва оптималлаштириш масалаларини бажариш» (2016-2017 й.) мавзудаги лойиҳаси доирасида бажарилган.

**Тадқиқот ишининг мақсади** дастурий конфигурацияланадиган тармоқларни бошқариш поғонасида ташқи трафик оқимларини юқори юклама шароитида қайта ишлаш ва узатиш жараёнларини бошқариш самарадорлигини оширадиган усул, модел ва алгоритмларни ишлаб чиқиш.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

тармоқларда ташқи трафик ахборот оқимларини тақсимлаш жараёни ва моделини таҳлил қилиш;

дастурий конфигурацияланадиган тармоқларда ташқи трафик оқимларини юқори юклама шароитида кўп оқимли маршрутлаш усулини ўрганиш ва тадқиқ қилиш;

дастурий конфигурацияланадиган тармоқларда кўп оқимли маршрутлашни бажариш учун граф тузилмасида энг қисқа йўлни топиш алгоритмини ишлаб чиқиш;

дастурий конфигурацияланадиган тармоқларда ташқи гетероген трафик оқимларининг қисқа маршрут йўллари орқали узатилишини таъминлайдиган алгоритм ҳамда дастурий таъминот ишлаб чиқиш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида дастурий конфигурацияланадиган тармоқлар олинган.

**Тадқиқотнинг предмети** дастурий конфигурацияланадиган тармоқларнинг компонентлари орасида оқимларни бошқариш ва тақсимлаш жараёнларини баҳолайдиган усул, алгоритмларни ишлаб чиқиш ҳамда тадқиқ қилиш ташкил этади.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Тадқиқот жараёнида граф, телетрафика, оммавий хизмат кўрсатиш, оқимларни тақсимлаш назариялари ҳамда

математик дастурлаш ва мураккаб тизимларни моделлаштириш усуллари қўлланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

дастурий конфигурацияланадиган тармоқларда ташқи трафик ахборот оқимларини тақсимлаш жараёнларининг модели ишлаб чиқилган;

дастурий конфигурацияланадиган тармоқларда  $Q$  (гетероген) турдаги ташқи трафик оқимларини юқори юклама шароитида кўп оқимли маршрутлаш усули яратилган;

кўп оқимли маршрутлашнинг граф тузилмаси асосида дастурий конфигурацияланадиган тармоқларда энг қисқа йўлини топиш алгоритми ишлаб чиқилган;

ахборот оқимларини тақсимлаш ва маршрут йўллари дастурий конфигурацияланадиган тармоқларда қидириб топиш алгоритми ҳамда дастурий таъминоти ишлаб чиқилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

дастурий конфигурацияланадиган тармоқлар математик модел асосида ҳисоблаш тажрибаси ўтказиш йўли билан тармоқ коммутаторлари орасида бир нечта қисқа йўллари топиш бўйича аниқ кўрсатма ва тавсиялар ишлаб чиқилган;

дастурий конфигурацияланадиган тармоқлар инфратузилма поғонасининг топологик схемаси граф шаклида ифодалаб, граф тузилмасида энг қисқа йўлини топиш дастурий таъминоти ишлаб чиқилган;

дастурий конфигурацияланадиган тармоқларининг коммутаторларига келиб тушадиган оқимларни манзилларга кам вақт ичида ва қисқа маршрут йўллари орқали узатилишини таъминлайдиган функционал тизимостилардан таркиб топган модул ишлаб чиқилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги.** Дастурий конфигурацияланадиган тармоқлар ташқи трафик маълумотларини оқимларнинг сақланиш қонуни асосида рационал тақсимлаш модели, юқори юклама шароитида  $Q$  турдаги ташқи трафик оқимларини кўп оқимли маршрутлаш негизида тақсимлаш усули, граф назарияси асосида берилган тармоқ тузилмасида энг қисқа йўлни топиш, ҳар хил турдаги ахборот оқимларини тақсимлаш ва маршрут йўллари аниқлаш бўйича яратилган алгоритмлар, олинган тадқиқот натижаларини умумқабул қилинган мезонлар асосида қиёсий солиштириш орқали изоҳланган.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти дастурий конфигурацияланадиган тармоқларда гетероген трафик маълумотларини юқори юклама шароитида оқимларнинг сақланиш қонуни асосида яратилган модел, усул ва алгоритмлар ёрдамида тармоқнинг ўтказиш қобилиятидан унумли фойдаланиш, йўқотишларсиз узатиш, ташқи трафик оқимларининг узатилмасдан “туриб” қолиш вақтини камайтириш, йўқотиш ва кечикишларга жуда сезгир бўлган трафик оқимларини узатиш жараёнлари ишонччилигининг ошиши билан изоҳланади.



Тадқиқотнинг амалий аҳамияти инфокоммуникация тармоқлари транспорт поғонаси инфраструктурасини дастурий конфигурацияланадиган тармоқлар асосида такомиллаштиришга, ҳар хил тур ва имтиёзли трафик пакетларини рационал тақсимлаш ва маршрутлаш жараёнларини автоматлаштириш ва унификациялашга ҳамда фойдаланувчи сўровларини бошқариш жараёнлари билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Юқори юклама шароитида дастурий конфигурацияланадиган тармоқларда гетероген трафик оқимларини тақсимлаш модели ва алгоритмлари бўйича олинган натижалар асосида:

дастурий конфигурацияланадиган тармоқларда ташқи трафик ахборот оқимларини тақсимлаш жараёнларининг модели Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлиги тасарруфидаги корхоналарда, хусусан “Ўзбектелеком АК” “Телекоммуникация транспорт тармоғи” филиалига жорий этилган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2020 йил 3 июндаги 33-8/2958-сон маълумотномаси). Илмий-тадқиқот натижасида тармоқ ичида маълумот узатиш тезлиги 8–12 % ошади, бу юқори юклама шароитида йўқотишларсиз ишлаш имконини яратди;

дастурий конфигурацияланадиган тармоқларда Q (гетероген) турдаги ташқи трафик оқимларини юқори юклама шароитида кўп оқимли маршрутлаш усули ҳамда кўп оқимли маршрутлашнинг граф тузилмаси асосида дастурий конфигурацияланадиган тармоқларда энг қисқа йўлини топиш алгоритми Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлиги тасарруфидаги корхоналарда, хусусан «Ўзбектелеком» АК Самарқанд филиалига жорий этилган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2020 йил 3 июндаги 33-8/2958-сон маълумотномаси). Илмий-тадқиқот натижасида ахборот жўнатувчи ва қабул қилувчи ўртасида бир нечта маршрутлар ташкил қилиниши тармоқнинг ўтказиш қобилиятидан 1.2 марта унумли фойдаланиш имкониятини яратди;

ахборот оқимларини тақсимлаш ва маршрут йўллариини дастурий конфигурацияланадиган тармоқларда қидириб топиш алгоритми ҳамда дастурий таъминоти Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлиги тасарруфидаги корхоналарда, хусусан «New Line Solutions» МЧЖда жорий этилган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2020 йил 3 июндаги 33-8/2958-сон маълумотномаси). Илмий-тадқиқот натижасида тармоқдаги алоқа каналларидан бири тўсатдан ишламай қолганида маълумот узатиш йўлининг оператив бошқа маршрутга ўтказилиши ҳисобига ташқи трафик оқимларини узатилмасдан “туриб” қолиш вақти 1.2–1.5 марта камайишига ҳамда йўқотиш ва кечикишларга жуда сезиларли бўлган трафик оқимларини узатиш жараёнларининг ишончлилигини 10–14 % ошириш имконини берган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Мазкур тадқиқот натижалари 17 та илмий-амалий конференцияда, шу жумладан, 9 та халқаро

конференция ва 8 та Республика илмий-амалий конференциясида апробациядан ўтган.

**Тадқиқотлар натижаларининг эълон қилинганлиги.** Тадқиқотлар мавзуси бўйича жами 24 та илмий иш, улардан 6 та мақола Ўзбекистон Республикаси ОАК тавсия этган журналларда, шу жумладан, 3 та хорижий, 3 та республика миқёсидаги журналда чоп этилган ва 1 та ЭҲМ учун яратилган дастурий воситаларни қайд қилиш гувоҳномалари олинган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация кириш, тўрт боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати, нашр этилган ишлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 109 саҳифани ташкил этади.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

**Кириш** қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурлиги асосланган, тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялари тараққиётининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, ишнинг мақсад ва вазифалари белгилаб олинган ҳамда тадқиқот объекти ва предмети аниқланган, олинган натижаларнинг ишончлилиги асосланган, уларнинг назарий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларини амалда жорий қилиш ҳолати, нашр этилган ишлар ва диссертациянинг тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Дастурий конфигурацияланадиган тармоқларда ахборот оқимларининг бошқаруви ташкил этилганлигининг ҳолати**» деб номланган биринчи бобида дастурий конфигурацияланадиган тармоқларнинг архитектуравий хусусиятлари, дастурий конфигурацияланадиган тармоқларда ахборот оқимларининг тақсимоли йўналишидаги асосий мавжуд усуллар ва моделлари кўриб чиқилган ва таҳлил натижалари тақдим этилган. Бобда дастурий конфигурацияланадиган тармоқларнинг сифатини белгилайдиган кўрсаткичларни ҳар хил турдаги ташқи трафик пакетлари узатилиши учун сарфланадиган вақтни минималлаштириш мезони негизида оптималлаштириш ва тадқиқ этиш асослаб берилган.

Дастурий конфигурацияланадиган тармоқлар (ДКТ) архитектурасининг таркиби учта поғонадан ташкил топади: иловалар поғонаси – реал вақт мобайнида тармоқни самарали бошқарилиши учун керак бўладиган иловалар мажмуасидан таркиб топади; тармоқни бошқариш поғонаси – контроллер (махсус операцион тизим ўрнатилган сервер компьютери) қурилмаси негизида тармоқдаги ҳамма қурилмаларнинг бошқаруви марказлашган ҳолда амалга оширилади; инфраструктура поғонаси – маълумот пакетлари узатилишини таъминлайдиган тармоқ қурилмаларидан таркиб топади, яъни коммутаторлар ва улар орасидаги алоқа каналари, поғонадаги тармоқ қурилмалари контроллердан тегишли маълумотлар ва буйруқларни қабул қилади ва уларни бажаради. ДКТнинг асосий протоколи OpenFlow протоколи ҳисобланади. Унинг асосида ДКТ қурилмалари орасида маълумот узатиш жараёнлари амалга оширилади.

Диссертацияда дастурий конфигурацияланадиган тармоқларининг афзалликлари, компоненталарининг вазифалари ва мавжуд анъанавий тармоқ билан қиёсий таҳлил натижалари жадвал кўринишида келтирилган.

Дастурий конфигурацияланадиган тармоқлар йўналишида олиб борилган илмий тадқиқот ишларида ДКТ асосида яратилган булут инфраструктурасининг трафикларини динамик тарзда бошқариш, оқимларни адресатидан манзилигача узатиш маршрутларини Дейкстри, Ёен алгоритмлари асосида аниқлаш, мавжуд тармоқ негизида ДКТни шакллантириш, адаптив маршрутлаш ва юкламани баланслаш, OpenFlow тармоқ технологияси негизида тармоқ структурасининг тажрибавий намуналарини лойиҳалаштириш ва бошқа масалалар кўриб чиқилган, диққатга сазовор усул, модел ва алгоритмлар яратилган.

Инфокоммуникация тармоғининг ДКТ ғояси негизидаги транспорт поғонаси лойиҳалаштирилганида ҳар хил турдаги (товуш, видео ва компьютер) трафикларнинг пакетларини узатилиши белгиланган имтиёзлар асосида бажарилиши ҳисобга олиними керак бўлади. Таҳлил жараёнида бу йўналишдаги илмий изланишларга етарлича урғу берилмаганлиги аниқланди.

ДКТда уч хил турдаги трафикларнинг пакетлари узатилади. Ҳар бир пакет тури ўзининг имтиёзига эга: товуш трафигининг пакети энг юқори имтиёзга, сўнг видео пакетлари, сўнг компьютер маълумотлари пакетлари. Коммутатор ҳар бир пакетга имтиёзини ҳисобга олган ҳолда маршрут аниқлаб бериши ва шу маршрут бўйича узатишни ташкил этиши керак.

Билдирилган фикрлар негизида ишда оқимларни оптимал тақсимлаш масаласи қуйидагича таърифланган: дастурий конфигурацияланадиган тармоғи инфраструктура поғонасининг стационар ҳолатини белгиловчи чекловлар бажарилганида ундаги ҳар хил трафик оқимларини шундай тақсимлаш керакки, бунда берилган вақт оралиғида ҳамма турдаги пакетларни узатиш учун сарфланадиган вақтнинг йиғиндиси минимал бўлсин, яъни:

$$T = \sum_i (t_1 + t_2)_i \rightarrow \min$$

бу ерда:  $\{t_1\}$  - тармоқга келиб тушган ҳамма пакетларнинг навбатда кутишлари учун сарфланадиган вақтларнинг ўртача қиймати;

$\{t_2\}$  - тармоқга келиб тушган ҳамма пакетларга тармоқ қурилмаларида хизмат кўрсатиш учун кетадиган вақтларнинг ўртача қиймати.

Диссертациянинг «**Дастурий конфигурацияланадиган тармоқларда ташқи трафик оқимларини тақсимлаш масаласини формаллаштириш**» деб номланган иккинчи боби ДКТда оқимларни тақсимлаш ва узатишда ҳисобга олиними керак бўлган омилларни аниқлаш ва ахборот оқимларини танланган мезон асосида оптимал тақсимлаш масаласини расмийлаштиришга бағишланган.

Ишда тадқиқ этилаётган ДКТ инфратузилма поғонасининг топологик схемаси таркибида чекланган узатиш қобилиятига  $C = \{C_m\}$  эга қовурғалари (алоқа каналлари) ва чўққилари (коммутаторлари) бўлган йўналтирилмаган граф  $G(N, M)$  кўринишида ифодаланади ва қуйидаги маълумотлар берилади:

ҳар бир  $(i, j)$  канал учун қарама-қарши канал  $(j, i)$  мавжуд.

$\gamma_q$  – бу  $q$ -турдаги кириш оқимининг (ташқи трафигининг) ўртача интенсивлиги;

$f_q^k$  – бу жўнатувчи-олувчи (Ж-О)  $k$ -жуфтлиги ўртасида  $q$ -синфли тўлиқ оқимининг интенсивлиги;

$\lambda_{qi}$  – бу  $i$ -алоқа каналида  $q$ -синфли оқимнинг умумий интенсивлиги;

$\mu_i$  – бу  $i$ -алоқа каналида ўртача хизмат кўрсатиш вақти;

$\lambda_i$  – бу  $i$ -алоқа каналида ҳар хил турдаги оқимлар йиғиндисининг ўртача интенсивлиги.

Умумий кириш оқим  $\gamma$  учун унинг тегишли интенсивликлари қуйидагича аниқланади:

$$\gamma_1 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \gamma_{1i,j}, \quad \gamma_2 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \gamma_{2i,j}, \quad \gamma_3 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \gamma_{3i,j}$$

$$\gamma_{i,j} = \gamma_{1i,j} + \gamma_{2i,j} + \gamma_{3i,j}$$

Маршрутлаш қоидалари оқим моделига мувофиқ, маршрутли ўзгарувчилар матрицаси билан белгиланади. У ҳолда  $j$  – коммутаторга йўналтирилган  $i$  – коммутатор орқали ўтувчи барча синфли тўлиқ оқимнинг ўртача интенсивлиги қуйидагича ифодаланади:

$$V_{i,j} = \gamma_{i,j} + \sum_{Z=1}^N V_{Z,i}^{(j)} P_{Z,i}^{(j)} \quad (1)$$

бу ерда:  $P_{Z,i}^{(j)}$  –  $(i, j)$  маршрутда  $i$  коммутатор орқали  $j$ -коммутаторга юбориладиган  $Z$ -коммутатордаги умумий  $V_{Z,i}^{(j)}$  оқим улушини белгиловчи маршрут ўзгарувчиси (тортиш матрицаси). Ушбу ифода (1) оқимлар назариясида баланс тенгламаси деб аталади. Баланс тенгламасига мувофиқ  $j$ -коммутатор учун  $(i, r)$  алоқа каналидаги умумий оқимнинг ўртача интенсивлиги қуйидаги ифода билан аниқланади:

$$\lambda_{i,r} = V_{i,j} P_{i,r}^{(j)} = \left( \gamma_{i,j} + \sum_{q=1}^N V_{q,i}^{(j)} P_{q,i}^{(j)} \right) P_{i,r}^{(j)} \quad (2)$$

бу ерда:  $P_{i,r}^{(j)}$  – бу  $(i, j)$  маршрут  $(i, r)$  каналида маршрут ўзгарувчиси.

Умумий моделдан келиб чиқиб  $i$ -алоқа каналида  $q$ -синфли оқим интенсивлиги қуйидаги қийматга эга:

$$\lambda_{q,i} = \sum_{k=1}^k \sum_{j=1}^j \delta_{i,j}^{(k)} h_{q,i}^{(k)}$$

$$f_q^k = \sum_{j=1}^{u^{(k)}} h_{q,i}^{(k)} \quad (3)$$

бу ерда:  $k$  – рақамли жўнатувчи-олувчи жуфтлигининг  $j$ -йўлидаги маршрутида  $i$ -канал мавжуд бўлса  $\delta_{i,j}^{(k)} = 1$ , акс ҳолда  $\delta_{i,j}^{(k)} = 0$ ;

$h_{q,i}^{(k)}$  –  $k$ -рақамли Ж-О жуфтлигининг ўртасидаги  $j$ -йўлидаги маршрутида  $q$ -синфли оқимнинг ўртача интенсивлиги;

$f_q^k$  –  $k$ -рақамли Ж-О жуфтлигида  $q$ -синфли тўлиқ ўртача трафик.  $k$ -рақамли Ж-О жуфтлиги ўртасида  $u^{(k)}$  эҳтимолли маршрут йўллари мавжуд.

$i$ -алоқа каналида тўлиқ оқим интенсивлиги берилган канал бўйича ўтувчи барча турдаги оқимлар йиғиндиси сифатида топилади:

$$\lambda_{i,r} = \sum_{i \in Q} \lambda_{q,i} \quad (4)$$

Тармоқдаги ҳамма оқимларнинг ўртача кечикиши энг умумий кўри-нишда қуйидаги ифода орқали аниқланади:

$$\bar{T} = 1/\gamma \sum_{i=1}^M \sum_{q=1}^Q \lambda_{q,i} T_{q,i} \quad (5)$$

$$\gamma = \sum_{k=1}^K \sum_{q=1}^Q f_q^k \quad (6)$$

бу ерда:  $T_{q,i}$  – бу  $i$ -каналида  $q$ -синфли оқимнинг (трафикнинг) ўртача кечикиши;

$\gamma$  – барча  $k$  - жўнатувчи-олувчи жуфтликларининг  $Q$ -синфли оқимларнинг умумий интенсивлиги.

Агар ДКТ инфратузилмаси поғонасининг тузилмаси ягона тизимдан иборат эканлигини инобатга олсак, унинг таркибига кирувчи алоқа каналлари ва коммутаторлар ишончли ва ҳалақитларга бардошли саналади. Ушбу тузилма киришига трафик пакетларининг тушиш вақтларини экспотенциал тақсимлаш билан, умумий интенсивлигини  $\gamma$  билан ва келиб тушадиган оқимларни стационар оқимлар қоидаларига риоя қилишини ҳисобга олсак, ҳамма турдаги оқимлар кечикиш вақтининг ўртача қийматини қуйидаги функция шаклида ифодалаш мумкин бўлади:

$$\bar{T} = 1/\gamma \sum_{i=1}^M \lambda_i / (\mu_i - \lambda_i), \quad (7)$$

ва ҳар хил турдаги оқимларнинг оптимал тақсимлаш масаласини математикада “қавариқ дастурлаш” усули билан маълум бўлган масала сифатида ечилишига имкон яратилади, у қуйидаги чекловлар бажарилганида шакллантирилади:

$$\begin{cases} \lambda_{z,i} \geq 0, \lambda_i < \mu_i \\ \sum_{j=1}^N \sum_{z=1}^Z \lambda_{z,i,j}^{(k)} + \sum_{Z=1}^Z \gamma_{z,i} = \sum_{j=1}^N \sum_{z=1}^Z \lambda_{z,j,i}^{(k)} \\ \gamma_{i,j} = \gamma_{1i,j} + \gamma_{2i,j} + \gamma_{3i,j}, \gamma_{1i,j}, \gamma_{2i,j}, \gamma_{3i,j} \geq 0 \end{cases} \quad (8)$$

(7) да келтирилган қавариқ функцияни минималлаштириш талаб этилади.

Масаланинг ечими амалга оширилиши оқибатида қайси трафик тури қайси пропорцияда ҳар бир алоқа канали ва ҳар бир маршрут бўйича узатилишининг қийматлари аниқланиши мумкин бўлади. Бошқача қилиб айтганда, оптималлаштириш масаласининг ечими натижасида  $k$  – жўнатувчи-олувчининг ҳар бир жуфтлиги ва  $q$  – турдаги трафик учун умумий ўртача кечикиш вақтининг минимумини таъминлаб берувчи мусбат оқимларга эга йўлларнинг ягона тартибга келтирилган тўпламини аниқлаш имкони пайдо бўлади. Оқибатда оқимлар “жўнатувчидан-олувчига” излаб топилган маршрут орқали тўғридан-тўғри узатилади, бу эса бошқа йўллар орқали узатилишига қараганда камроқ вақт сарфланишига олиб келади.

Трафик пакетларининг келиб тушиш ва хизмат кўрсатиш қоидалари ихтиёрий тақсимлаш функциялари билан ифодаланадиган ҳолатлар учун оптималлаштириш масаласи формаллаштирилганида мақсадли функция (5) ва (7) нинг умумий кўриниши ўзгармайди, фақат таркибига кирувчи ифодаларнинг кўриниши тегишли тақсимот қонунларига мос ҳолда ўзгартирилади.

Диссертациянинг «**Дастурий конфигурацияланадиган тармоқларда ҳар хил турдаги ахборот оқимларини тақсимлаш модел ва алгоритмларини яратиш**» деб номланган учинчи бобида ДКТда ташқи трафик ахборот оқимларини оптимал тақсимлаш модели, ҳар хил турдаги маълумотларни кўп оқимли маршрутлаш негизида тақсимлаш усули яратилган, ҳамда граф схемасида энг қисқа йўлни аниқлаш, ДКТда ҳар хил турдаги ахборот оқимларини тақсимлаш алгоритмлари ишлаб чиқилган.

Умумий оқимни ДКТ қурилмалари бўйича тақсимлаш масаласининг ечими оқим назариясига асосланган ва тизимнинг стационар ҳолатини белгилайдиган чекловларга риоя қилинган ҳолатида амалга оширилган.

Ушбу назарияга мувофиқ ҳар хил турдаги оқимларни оптимал тақсимлаш модели қуйидагича тавсифланади: агар  $\Psi_{(i,j)}^q$  - мультиоқимнинг  $q$  - ахборот жўнатувчи ва ахборот олувчи ўртасидаги маршрути  $(i, j)$  коммутаторлар орасидаги маршрут бўлса, ҳамда унинг маршрут йўлидаги ҳар қандай  $(x, y)$  алоқа каналида кўп манбали оқим интенсивлигининг қиймати  $\lambda_{(i,j)}^q > 0$  бўлса, (7) ифодада келтирилган қаварик функциянинг  $\bar{T}$  қиймати, ушбу  $\Lambda = \{\lambda_{(i,j)}^q\}$  мультиоқимнинг ҳар қандай “маршрути” фақат  $\eta_{i,j}$  метрикасида энг қисқа йўл бўлган тақдирда минималлаштирилади, яъни:

$$\eta_{i,j} = \partial \bar{T}_{ij} / \partial \lambda_{ij} = \mu_{ij} / (\gamma(\mu_{ij} - \lambda_{ij}))^2 \quad (9)$$

бу ерда:  $\eta_{i,j}$  параметрнинг қиймати  $(i, j)$  - алоқа каналида оқимнинг қиймати ошиши ёки камайиши натижасида мақсадли функциясининг ўзгариш даражасини тавсифлайди.

Агар  $(i, j)$  – алоқа каналида оқимнинг қиймати ошиши кузатилса,  $q$ -синфли трафик оқимининг қиймати шу маршрутдаги умумий оқим қийматидан, яъни таркибида  $(i, j)$  – алоқа канали мавжуд маршрутдаги ҳамма алоқа каналларининг умумий оқим қийматларидан айирилади ва бошқа маршрут алоқа каналларининг оқим қийматларига қўшилади. Умумий оқимнинг маълум бир қисмини бошқа йўлга ўтказиш процедураси қуйидагича ифодаланеди:

$$\begin{aligned} \varphi_k^{(L,1)} &= \lambda_k^{(L,1)} - \Delta^3 \lambda_k^{(L,1)} \\ \varphi_q^{(L,2)} &= \lambda_q^{(L,2)} + \Delta^3 \lambda_q^{(L,2)} \end{aligned} \quad (10)$$

бу ерда:  $\Delta^3$  – бир йўлдан бошқасига ўтадиган оқим улушини тавсифловчи параметр. 3 индекси – компьютер маълумотлари трафигига мос келадиган оқимнинг бошқа йўлга ўтказилган қисми, агар бошқа трафикларнинг

оқимлари бошқа йўлга ўтказилса, индекс мос равишда ўзгаради (товуш – 1, видео – 2).

Диссертацияда  $q$  турдаги ташқи трафик оқимларини ДКТда оптимал тақсимлаш модели батафсил ёритилган.

ДКТ инфраструктура поғонаси коммутаторлари фақат таркибларидаги портлар ва пакетнинг сарлавҳасидаги адрес маълумотлари асосида узатиш операцияларини бажаришлари ҳар хил турдаги оқимларни бир неча виртуал каналлар орқали манбадан адресатга етказиш имконини яратади.

ДКТ инфраструктура поғонасида  $Q$  турдаги трафик оқимларининг ҳар бир тури учун энг қисқа маршрутни аниқлаш қуйидаги усулда амалга ошириш таклиф этилади:

- ҳар бир трафик тури учун имтиёз белгиланади ва улар “юқоридан пастга” кетма-кетлигида жойлаштирилади, яъни  $p_1 < p_2 < \dots < p_q$ ;

- инфраструктура поғонаси топологияси таркибидаги алоқа каналлари вазнларининг  $\{1/\mu_i\}$  қийматлари асосида поғона коммутаторлари орасида энг қисқа йўл топилади;

- топилган йўллар орқали навбатдаги имтиёзга эга (энг юқори имтиёзли трафик  $\gamma_1$  оқимидан бошлаб) трафик оқимлари манбадан манзилига жўнатилади; оқимнинг ҳар бир маршрути жўнатилаганидан сўнг, оқим йўналишидаги алоқа каналларининг стационар ҳолат шarti текширилади, яъни  $\{\lambda_i\} < \{\mu_i\}$ , шарт бажарилмаганида қуйидаги операциялар бажарилади:

$$\{\lambda_i^{чег}\} = \{\rho_i^{чег}\} \times \{\mu_i\}, \Delta\{\lambda_i\} = \{\lambda_i\} - \{\lambda_i^{чег}\}, \{\mu_{i+1}\} = \{\mu_i\} - \{\lambda_i^{чег}\}$$

$1/\{\mu_{i+1}\}$  асосида янги энг қисқа йўл топилади;  $\Delta\{\lambda_i\}$  трафик шу йўл орқали узатилади ( $\rho_i^{чег}$  каналнинг чегараланган юкланганлик даражаси);

- каналларнинг юкланганлик даражалари  $\{\lambda_i\}$  ва янги вазнлари  $\{\mu_i\}$  аниқланади ( $\{\mu_{i+1}\} = \{\mu_i\} - \{\lambda_i^{чег}\}$ ), ҳамма трафик тури кўриб чиқилмаган бўлса, кейинги имтиёзли трафик оқимларини узатиш жараёни иккинчи босқичдан бошлаб, ҳамма турдаги трафик оқимлари учун қайтарилади.

Ишда оқимларни оптимал тақсимлаш модели асосида ҳар хил турдаги ташқи трафик оқимларини ДКТ инфраструктура поғонасида тақсимлаш бўйича 2 та алгоритм яратилган: “тармоқда оқимларнинг оғиши” ва “кўп оқимли маршрутлаш”. Улар тармоқдаги стохастик жараёнларни нисбатан аниқ акс эттириш мақсадида хизмат кўрсатиш тармоқлари (ХКТр) назариясида келтирилган хусусиятларни ҳисобга олган ҳолда яратилган.

Алгоритмларни ишлаши учун керакли маълумотлар киритилганидан сўнг, тармоқ тугунларига келиб тушадиган ташқи трафик оқимларининг, ҳамда тармоқ қурилмаларининг пакетларга хизмат кўрсатишининг умумий интенсивликлари ҳисобланади, тармоқ бўйича стационар ҳолат шarti (яъни,  $\sum \gamma_i < \sum \mu_i$ ) бажарилиши бўйича ўзгартиришлар киритилади.

Биринчи алгоритмда оптимал виртуал каналлар кўп манбаали оқимларнинг маргинал кечикиш метрикаси негизида аниқланади ва ҳар хил турдаги ташқи трафик оқимари асосан битта виртуал канал орқали узатилади.

Иккинчи алгоритм кўп оқимли маршрутлаш усулига асосланган бўлиб, операторларининг функциялари қуйидаги кетма-кетликда бажарилади:

1) берилган маълумотларни киритади;

2) тармоқ бўйича стационар ҳолат шarti ( $\sum \gamma_i < \sum \mu_i$ ) таъминланиши бўйича операцияларни бажаради, трафик турини белгилайди:  $k=1$  – товуш;  $k=2$  – видео,  $k=3$  – компьютер маълумотлари;

3).  $k=k+1$ ; алоқа каналларини ўтказиш қобилиятини характерловчи параметрлар негизда  $k$ -трафик оқими учун коммутаторлар орасида энг қисқа йўллари ҳисоблайди;

4) “тортиш матрицаси” параметрларининг  $\{\varphi_{m-j}^k\}$  қийматлари негизда  $m-j$  ( $m, j \in M$ ) чўққилар орасида топилган қисқа йўллар бўйича  $k$ -трафик оқимини йўналтиради, натижада ДКТ инфраструктура поғонаси тармоқ топологияси алоқа каналларида ( $i \in N$  – граф коворғаларида) бошланғич мультиоқимни  $\{\lambda_i\}^{(k)}$  шакллантиради:

$$\{\lambda_i\}^{(k)} = \{\lambda_i^{(k-1)} + \varphi_{m-j}^k \gamma_{(m-j),i}^k\},$$

бу ерда:  $\gamma_{m-j}^k$  –  $m$ -чўққига  $k$ -турдаги трафик оқимининг тушиш интенсивлиги;  $\varphi_{m-j}^k \gamma_{(m-j),i}^k$  –  $m$ -чўққига келиб тушган  $k$ -турдаги трафик оқимининг  $j$ -чўққига узатиш учун мўлжалланган ва  $i$ -алоқа канали орқали йўналтирилган қисмининг интенсивлиги;

5) алоқа каналларида  $\{\lambda_i^{(k)}\} < \{\mu_i\}$  шарт бажарилганлигини текширади, “ха” бўлганида бошқарув 4 операторга акс ҳолда 1 операторга ўтказилади, у  $k$  ташқи трафик оқими интенсивлигининг қийматини ўзгартиради;

б)  $k$  ташқи трафик оқими интенсивлигининг қийматларини ҳисобга олган ҳолда тармоқ алоқа каналлари ўтказиш қобилиятининг (пакетларга хизмат кўрсатиш интенсивлигининг) янги қийматларини ҳисоблайди, яъни:

$$\{\mu_i\}^{(k)} = \{\mu_i\}^{(k-1)} - \{\lambda_i^{(k)}\}$$

(кўп манбадан келаётган  $k$  трафик оқими интенсивлигининг қиймати ҳисобига алоқа каналларининг юкланганлик даражаси  $\{\lambda_i^{(k)}\}$  қийматга ошади, алоқа каналларининг оқимларга хизмат кўрсатиш интенсивлиги эса шу қийматга камаяди);

7) Шартли  $k < 3$  шарт бажарилганлигини текширади, “йўқ” ҳолатида бошқарувни 2, акс ҳолда 6 операторга ўтказилади;

8) Мақсадли функциянинг (7) қийматини ҳисоблайди, натижаларни чоп этади ва алгоритм ишини тўхтатади.

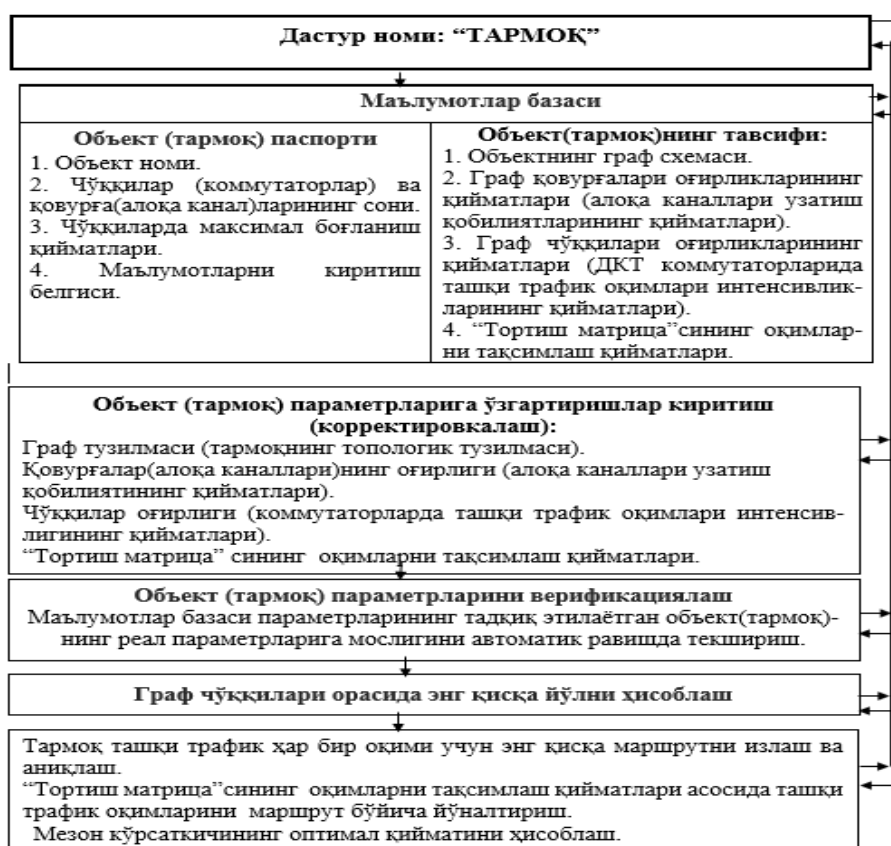
Таклиф этилган модел, усул ва алгоритмларнинг асосини графда энг қисқа йўлни топиш алгоритми ташкил этади. Шу сабабли, ишда берилган граф схемасида энг қисқа йўлни топиш алгоритми ва дастури ишлаб чиқилган, 20 та чўққили граф схемасида апробация қилиб, самарадорлиги кўрсатиб берилган.

Диссертациянинг «Ҳисоблаш тажрибаси натижаларини таҳлил қилиш ва тадқиқот натижаларини ривожлантириш бўйича таклифлар



**ишлаб чиқиш»** деб номланган тўртинчи бобда ДКТда юқорида юклама шароитида ахборот оқимларини тақсимлаш дастурий таъминоти ишлаб чиқилган, ҳисоблаш тажрибаси натижалари негизида таклиф этилган модел, усул ва алгоритмларнинг самарадорлиги кўрсатиб берилган.

Дастур С<sup>#</sup> тилида ёзилган бўлиб, ташқи трафик оқимларини берилган тармоқ тузилмаси доирасида оптимал тақсимлаш масаласини ечишга мўлжалланган (1-расмга қаранг). Унинг асосида ҳисоблаш тажрибаси ўтказилган, натижалар асосида бир трафик оқимларининг юкланганлик даражаси, иккинчи турдаги трафик оқимларининг кечикиш параметрларига таъсири тўғрисида маълумотлар олинган ва таҳлил қилинган. Таклиф этилган усул ва алгоритмларнинг самарасини кўрсатиш мақсадида таркибида 12 коммутатор ва 16 алоқа канали бўлган инфраструктура поғонаси (2-расмга қаранг) натижалари келтирилади.

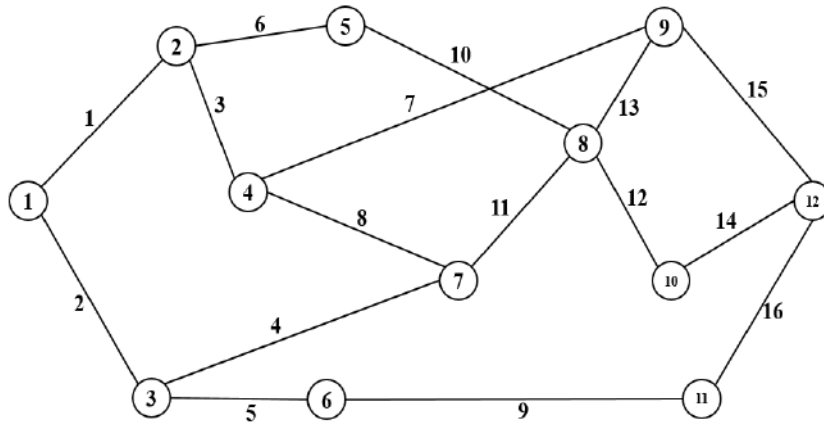


1-расм. Дастурий таъминотнинг функционал схемаси.

Коммутаторнинг кириш қурилмасига уч турдаги ташқи трафик пакетлари қабул қилинади. Пакетларни қайси трафик турига мансублигини аниқлаш махсус “фильтр” воситаси ёрдамида аниқланади. Ҳар бир трафик тури учун келиб тушиш интенсивлигининг қийматига қараб виртуал каналнинг узатиш қобилияти аниқланади.

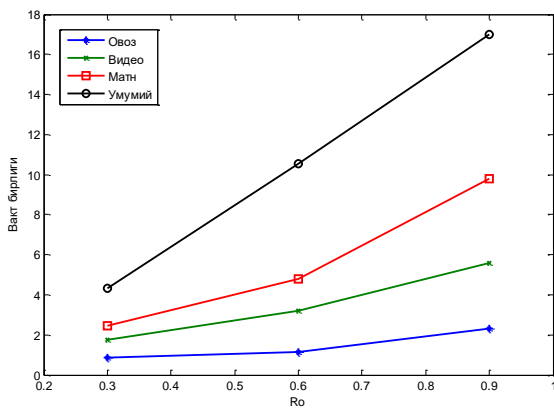
Дастур ҳар бир трафик оқимлари учун энг қисқа йўлни топади, улар асосида босқичма-босқич товуш, видео ва компьютер маълумотлари

трафикларининг оқимларини йўналтиради, ҳар бир трафик тури ва умумий тармоқ учун мақсадли функциянинг қиймати ҳисоблайди.

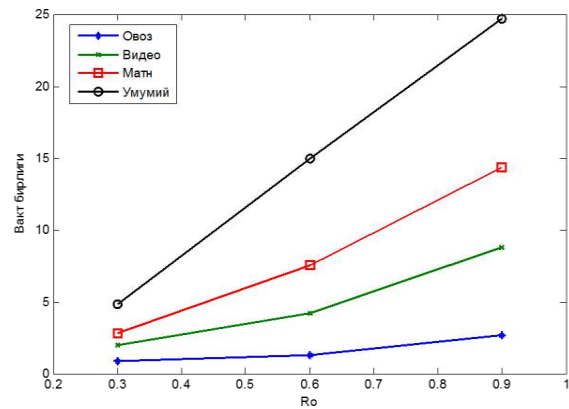


2-расм. Тажириба ўтказилган тармоқ тузилмасининг схемаси

Икки алгоритм асосида олинган натижаларни (3-расмга қаранг) қуйидагича изоҳлаш мумкин: тармоқда юклама нисбатан паст бўлганида ( $\rho \approx 0.3$ ) иккала вариантда ҳам мақсадли функциянинг қиймати деярли бир хил натижани кўрсатган (4.3333 ва 4.8081), аммо юклама ошганида натижалар кескин фарқ қилган, яъни  $\rho \approx 0.6$  бўлганида 10.5311 ва 14.9964,  $\rho \approx 0.9$  да эса таклиф этилган вариантда умумий кечикиш вақти 17.0174 ва иккинчи усулда эса 24.6807 натижалари олинган.



а)



б)

3-расм. ДҚТда оқимларни таклиф этилган “кўп оқимли маршрутлаш” (а) ва “тармоқда оқимларни оғиши” (б) усуллари асосида таксимланишида юзага келадиган ўртача кечикиш вақтлари йиғинидисини тармоқ юкланганлик даражасига боғлиқлигини кўрсатувчи диаграмма.

Шундай қилиб, ДҚТ инфраструктура поғонасида кўп оқимли маршрутлаш усули негизида ҳар хил трафик оқимларининг пакетларини манбадан адресатига йўналтириш мақсадга мувофиқ бўлади, чунки бунда пакетларни узатиш учун нисбатан кам вақт сарфланади. Ушбу усул асосида яратилган дастурий таъминотни ДҚТга жорий этилиши унинг самарадорлигини сезиларли даражада оширади.

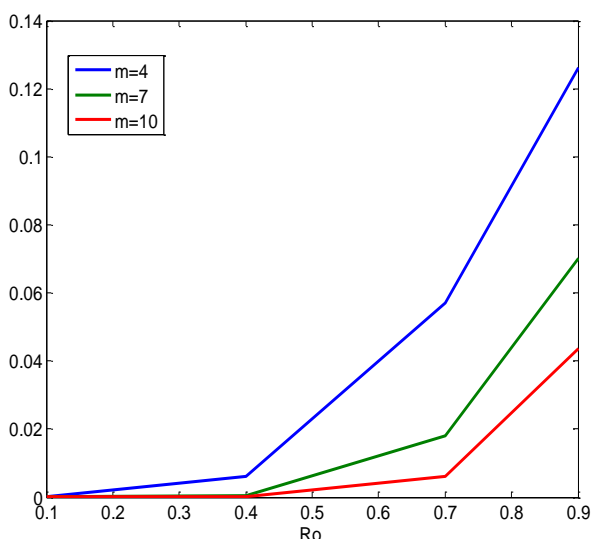
ДКТ коммутаторига келиб тушган пакет учун маршрут кўрсатилмаган бўлса, у OpenFlow протоколи ёрдамида химояланган канал орқали контроллерга жўнатилади, керакли илова дастури асосида маршрути аниқланади, химояланган каналлар орқали тегишли коммутаторларнинг маршрут жадвалларига кўрсатмалар етказилади, пакетлар янги маршрут орқали манзилига узатилади.

Тармоқнинг юкламаси баланд бўлганида пакетни ДКТ инфраструктура ва бошқариш поғоналарининг қурилмаларида қайта ишлаш учун кетадиган вақтнинг ўртача қиймати пакетларни келиб тушадиган вақт оралиғининг ўртача қийматидан  $\Delta\tau = \tau_i - \tau_{i-1}$  баланд бўлиш эҳтимоли ошиб боради, бундай ҳолат пакетларни йўқолиш эҳтимолини кўпайишига ва узатиш сифатини пасайишига сабаб бўлади.

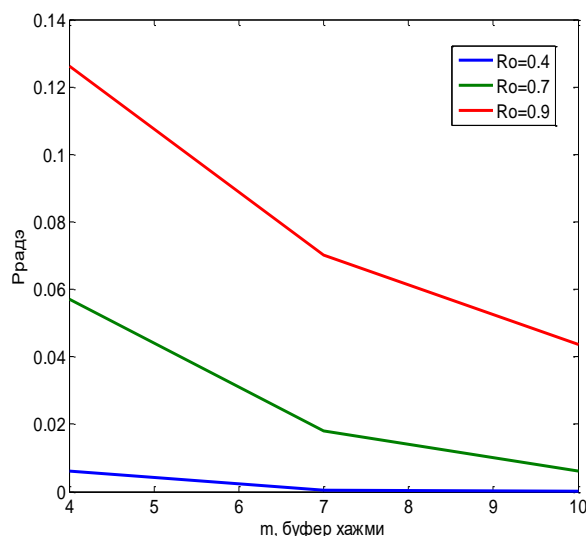
Юклама ошган сари ОХКТ киришида хизмат кўрсатилишини кутаётган сўровларнинг сони буфер ҳажмидан ошиб кетиши ва уларни йўқотиш эҳтимоли пайдо бўлади. ОХКТнинг M/M/1/m моделида сўровларни йўқотиш эҳтимоли қуйидаги ифода билан тасвирланади:

$$P_{ii} = \rho^{(m+1)}(1 - \rho)/(1 - \rho^{m+2})$$

Юклама кам бўлганида пакетларни йўқотиш эҳтимоли нолга яқин, аммо ошган сари (0.5 дан бошлаб)  $P_{ii}$  нинг қиймати сезиларли даражада ўзгариб боради, айниқса буфернинг ҳажми кичик бўлганида (4-расмга қаранг), унинг ҳажмини оширилиши пакетларни йўқотиш эҳтимоли нисбатан камайиши (5-расмга қаранг), лекин юклама баланд ҳолларда  $P_{ii}$  нинг қиймати ҳисобга олиниши керак даражада бўлиши кузатилади.



4-расм.  $P_{падэ} = f(\rho)$ , ( $m=const$ ) функционаллигини кўрсатувчи диаграмма.



5-расм.  $P_{падэ} = f(m)$ , ( $\rho=const$ ) функционаллигини кўрсатувчи диаграмма.

ДКТда ҳар хил турдаги ташқи трафик пакетлари учун кўп оқимли маршрутлаш усули асосида йўллари олдиндан аниқланиб, коммутаторларнинг оқим жадвалларига киритиб қўйилса, пакетлар ўрнатилган маршрутлар орқали узатилади ва пакетларни йўқотилиши кузатилмайди.

## ХУЛОСА

«Юқори юклама шароитида дастурий конфигурацияланадиган тармоқларда гетероген трафик оқимларини тақсимлаш модели ва алгоритмлари» мавзусидаги фалсафа доктори (PhD) диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида куйидаги хулосалар тақдим этилади:

1. Танланган мезон доирасида дастурий конфигурацияланадиган тармоқлар инфраструктура поғонасида гетероген ташқи трафик оқимларини рационал тақсимлаш масаласи оқимли модел ва оқимларнинг сақланиш қонуни асосида расмийлаштирилган ва оқимлар кечикиш вақтининг ўртача қийматини ифодаловчи рационаллаштириш функциясининг математик ифодаси аниқланган.

2. Рационаллаштириш масаласининг ечими жўнатувчи-олувчининг ҳар бир жуфтлиги ва гетероген трафик учун умумий ўртача кечикиш вақтининг минимумини таъминлаб берувчи йўлларнинг ягона тартибга келтирилган тўпламини аниқлаш имкони пайдо бўлиши, топилган маршрут орқали тўғридан-тўғри узатилиши, камроқ вақт сарфланишига олиб келиши оқимлар назарияси негизида асосланган.

3. Дастурий конфигурацияланадиган тармоқларда ҳар хил трафик оқимларини рационал тақсимлаш модели ва кўп оқимли маршрутлаш негизида тақсимлаш усули яратилган ва натижада юқори юклама шароитида йўқотишларсиз узатилиши таъминланган.

4. ДКТ инфраструктура поғонасини граф шаклида ифодалаб, энг қисқа йўлни топиш алгоритми ишлаб чиқилган. Қисқа йўлларни топиш учун кетадиган вақт кенг тарқалган Дейкстри алгоритми асосидаги вақтга нисбатан 3.2 фоиз кам сарфлаши аниқланган.

5. ДКТ инфраструктура поғонаси оммавий хизмат кўрсатиш тармоқлари (ОХКТр) назарияси асосида математик модел яратиш самарали эканлиги асосланди. Ушбу назария асосида оқимларни тақсимлаш алгоритмлари яратилган ва кечикишларга жуда сезгир бўлган трафик оқимларини узатиш жараёнларининг ишончлилиги 10–14 % ошишига эришилган.

6. Яратилган усул ва алгоритмлар асосида ДКТ инфраструктура поғонаси коммутаторларига келиб тушадиган оқимларни манзилларига кам вақт орасида ва қисқа маршрут йўллари орқали узатилишини таъминлайдиган функционал тизимостилардан таркиб топган дастурий таъминот ишлаб чиқилган ва натижада ташқи трафик оқимларини узатилмасдан, “туриб” қолиш вақтини 1.2–1.5 марта камайишига эришилган.

7. Ахборот фойдаланувчилар ўртасида бир нечта маршрутларнинг ташкил қилиниши тармоқнинг ўтказиш қобилиятидан 1.2 марта унумли фойдаланиши, тармоқ ичида маълумот узатиш тезлиги 8–12 % ошиши, бу юқори юклама шароитида йўқотишларсиз узатилиши, маълумот узатиш йўлининг оператив бошқа маршрутга ўтказилиши ҳисобига ташқи трафик оқимларининг узатилмасдан “туриб” қолиш вақти 1.2-1.5 марта камайиши, йўқотиш ва кечикишларга жуда сезгир бўлган трафик оқимларини узатиш жараёнларининг ишончлилиги 10–14 % ошишига эришилган.

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

---

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

**МАХМУДОВ САЛИМЖОН ОЛИМЖОНОВИЧ**

**МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКОВ**  
**РАЗНОРОДНОГО ТРАФИКА В ПРОГРАММНО-**  
**КОНФИГУРИРУЕМЫХ СЕТЯХ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОЙ**  
**ЗАГРУЖЕННОСТИ**

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

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

**Ташкент – 2020**

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за №В2017.3.PhD/Т465.

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

**Официальные оппоненты:**  
**Хамдамов Уткир Рахматиллаевич**  
доктор технических наук, доцент  
**Рахимов Бахтиёржон Нейматович**  
доктор технических наук, доцент

**Ведущая организация:** **АК “Узбектелеком”**

Защита диссертации состоится «25» ноября 2020 года в 16<sup>00</sup> часов на заседании Научного совета DSc.13/30.12.2019.T.07.01 при Ташкентском университете информационных технологий. (Адрес: 100202, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-64-43; факс: (99871) 238-65- 52; e-mail: [tuit@tuit.uz](mailto:tuit@tuit.uz)).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского университета информационных технологий (регистрационный номер №2625). (Адрес: 100202, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-65-44).

Автореферат диссертации разослан «14» ноября 2020 года.  
(протокол рассылки №6 от «0» ноября 2020 года.)



**И.Х. Сиддиков**  
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

**Р.М. Алиев**  
Заместитель председателя научного семинара при Научном  
совете по присуждению ученых степеней, д.т.н. доцент

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

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире в последние годы сети связи нового типа и современные услуги предполагают применение более сложных функций управления. Развитие инфокоммуникационных услуг помимо эффективного управления информационными ресурсами требует решения вопросов расширения функциональности сетей связи. В свою очередь, внедрение и развитие новых технологий в сфере телекоммуникаций ставят перед операторами связи задачи по решению проблем, связанных с обеспечением качественного оказания услуг, организацией взаимодействия на уровне протоколов, предоставлением надежного транспорта, определением пакета услуг. В этой связи в развитых странах мира, в частности, в США, странах Европейского Союза, Японии, Южной Кореи, России и других государствах, изучаются программно-конфигурируемые сети, направленные на повышение эффективности функционирования действующих сетей. В этих условиях актуальными задачами являются вопросы передачи оборудованием программно-конфигурируемых сетей разнородных данных и данных большого объема на высокой скорости, обработки на высоком качественном уровне, пропускной способности, а также эффективного распределения и маршрутизации потоков данных в сетях в кратчайшие сроки.

В мире в настоящее время исследования в области развития инфокоммуникационных технологий показывают, что в результате повышения потребностей пользователей традиционной технологии сети TCP/IP в передаче данных в ближайшее время сети не будут отвечать современным требованиям. При этом программно-конфигурируемые сети, которые как ожидается станут решением этой проблемы из-за относительной новизны этой сетевой технологии, поэтому их развитие, совершенствование, повышение показателей эффективности сети и разработки вычислительных моделей широко изучаются исследователями. В соответствии с этим, актуальными стали вопросы разработки алгоритмов и программного обеспечения по оптимизации процессов распределения данных внешнего трафика сети, созданию способов распределения потоков внешнего трафика в условиях высокой загрузки, передачи потоков внешнего разнородного трафика по кратчайшим маршрутам.

В Республике Узбекистан в программе социально-экономического развития за последние годы важную роль играют дальнейшее развитие и совершенствование информационно-коммуникационных технологий, внедрение в жизнь во всех секторах экономики достижений в этой области. В Стратегии действий по пяти приоритетным направлениям дальнейшего развития Республики Узбекистан в 2017-2021 годах в проекте государственной программы по реализации Года развития науки, просвещения и цифровой экономики определены задачи «...в сфере развития телекоммуникационной инфраструктуры расширение широкополосного использования сети Интернет, развитие и модернизацию сети мобильной

связи и других современных телекоммуникационных услуг»<sup>1</sup>. Осуществление широкомасштабных планов, предусмотренных в программах экономического развития государства, в большой степени связано с надежным и непрерывным функционированием средств инфокоммуникационных сетей. В этих условиях актуальными задачами являются вопросы передачи разнородных данных большего объема на высокой скорости, обработки и передачи информации на установленном качественном уровне с помощью средств информационно-коммуникационных сетей.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных Указами Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года №УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», от 30 июня 2017 года № УП-5099 «О мерах по коренному улучшению условий для развития отрасли информационных технологий в республике», от 19 февраля 2018 года №УП-5349 «О мерах по дальнейшему совершенствованию сферы информационных технологий и коммуникаций» и другими нормативно-правовыми документами, принятыми в данной сфере.

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

**Степень изученности проблемы.** Концепция программно-конфигурируемых сетей меняет способы управления и проектирования сетей. Программно-конфигурируемые сети обладают двумя основными характеристиками. Во-первых, из уровня управления выделяется уровень передачи данных (инфраструктура). Во-вторых, уровень управления отличается централизацией, при этом одним уровнем управления осуществляет администрирование нескольких элементов на уровне передачи данных. Множество научных работ посвящено вопросам изучения формирования инфраструктуры программно-конфигурируемых сетей, показателей определения их эффективности, ведутся также широкомасштабные исследования по оценке и вычислению параметров, характеризующих процессы управления и маршрутизации потоков.

Вопросам повышения функциональной эффективности программно-конфигурируемых сетей, рационального распределения внешнего трафика различного типа, разработки новых методов и алгоритмов и внедрения в этой области посвящены работы зарубежных ученых, в частности, N. McKeown, T. Anderson, G. Panilkar, L. Peterson, Y. Cui, J. Rexford, P. Смелянского, Д.А. Перепелкина, В.С.Бышова, Е.В. Плужника, В.П. Корячко, С.В.Малахова, Н. Xing, Ian F. Akyildiz, Pu Wang, Min Luo и др. Помимо этого, исследование вопросов распределения и балансировки потоков данных в сетях нашло

---

<sup>1</sup> Указ Президента Республики Узбекистан от 2 марта 2020 года №УП-5953 (<https://lex.uz/docs/-4751561>)



отражение в работах отечественных ученых, таких как Т.Н. Нишонбоев, Н.Б. Усманова, У.Б. Амирсаидов, Р.П. Абдурахманов, О.Т. Алламов и др.

Результаты проведенного анализа показали, что вопросы организации процессов обработки, передачи внешнего разнородного (т.е. гетерогенного) трафика в условиях высокой загруженности и появление других проблем, с учетом этого вопросы улучшения показателей, определяющих эффективность программно-конфигурируемых сетей, разработки и внедрения в практику новых методов, моделей и алгоритмов недостаточно изучены.

**Связь темы диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного или научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в рамках научного проекта в соответствии с планом научно-исследовательских работ Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий № Ф-635-16 «Моделирование и решение задач оптимизации “cloud” дата-центров на базе программно-конфигурируемых сетей» (2016-2017 гг.).

**Целью исследования** является разработка методов, моделей и алгоритмов, повышающих эффективность управления процессами обработки и передачи внешнего трафика в условиях высокой загруженности на уровне управления программно-конфигурируемыми сетями.

**Задачи исследования:**

анализ модели и процесса распределения внешнего трафика в программно-конфигурируемых сетях;

изучение и исследование метода многопоточной маршрутизации внешнего трафика в программно-конфигурируемых сетях в условиях высокой загруженности;

разработка алгоритма нахождения кратчайшего пути в структуре графа для осуществления многопоточной маршрутизации в программно-конфигурируемых сетях;

разработка алгоритма и программного обеспечения, обеспечивающих передачу гетерогенного трафика по кратчайшим маршрутам в программно-конфигурируемых сетях.

**Объектом исследования** являются программно-конфигурируемые сети.

**Предмет исследования** – исследование и разработка методов, алгоритмов, оценивающих процессы распределения и управления потоками среди компонентов программно-конфигурируемых сетей.

**Методы исследования.** В ходе исследования применялись такие методы научного познания как граф, телетрафика, массовое обслуживание, теория распределения потоков, математическое программирование и моделирование сложных систем.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

разработана модель процессов распределения внешнего трафика в программно-конфигурируемых сетях;

разработан метод многопоточной маршрутизации разнородного

(гетерогенного)  $Q$  внешнего трафика в программно-конфигурируемых сетях в условиях высокой загрузки;

разработан алгоритм нахождения кратчайшего пути многопоточной маршрутизации программно-конфигурируемых сетей на основе структуры графа;

разработаны алгоритм и программное обеспечение по поиску и нахождению путей маршрутизации и распределения потоков данных в программно-конфигурируемых сетях.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработаны указания и рекомендации по нахождению кратких путей для каждого вида трафика среди коммутаторов программно-конфигурируемых сетей посредством проведения вычислительного эксперимента на основе математической модели;

разработано программное обеспечение по нахождению кратчайших путей в структуре графа, выраженное в структуре графа топологической схемы инфраструктурного уровня программно-конфигурируемых сетей;

разработан модуль, состоящий из функциональных подсистем, которые обеспечивают передачу данных по программно-конфигурируемым сетям к адресатам по самым кратчайшим маршрутам и в кратчайшие сроки.

**Достоверность результатов исследования** обосновывается моделью рационального распределения данных внешнего трафика программно-конфигурируемых сетей на основе закона сохранения, методом распределения внешнего трафика типа  $Q$  на базе многопоточной маршрутизации в условиях высокой загрузки, разработанными алгоритмами распределения и маршрутизации разнородных потоков информации и нахождения кратчайших путей в соответствующей структуре сети на основе теории, сопоставлением результатов исследования в соответствии с общепринятыми критериями.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.** Научная значимость результатов исследования обоснована продуктивным использованием пропускной способности, передачи данных без потерь, сокращением времени простаивания сети при отсутствии передачи внешнего трафика с помощью моделей, методов и алгоритмов, разработанных на основе закона сохранения потоков данных разнородного трафика в программно-конфигурируемых сетях в условиях высокой загрузки, а также повышением надежности процессов передачи потоков трафика, чувствительных к потерям и задержкам.

Практическая значимость исследования обоснована совершенствованием инфраструктуры транспортного уровня информационных сетей, автоматизацией и унификацией процессов маршрутизации и рационального распределения пакетов разнородного трафика и разного приоритета, а также процессов управления запросами пользователей.

**Внедрение результатов исследования.** На основе результатов, полученных по алгоритмам и моделям распределения разнородного трафика в программно-конфигурируемых сетях в условиях высокой загрузки:

модель процессов распределения информационных потоков внешнего трафика в программно-конфигурируемых сетях внедрена в деятельность подведомственных предприятий Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций, в частности, «Телекоммуникация транспорт тармоги» филиала АК «Узбектелеком» (справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций от 3 июня 2020 года №33-8/2958). Результаты научного исследования дали возможность повысить скорость передачи данных в сетях на 8-12%, что позволило осуществлять деятельность без потерь в условиях высокой загруженности;

метод многопоточной маршрутизации разнородного (гетерогенного) внешнего трафика Q-типа в программно-конфигурируемых сетях в условиях высокой загруженности и алгоритм нахождения кратчайших путей многопоточной маршрутизации в программно-конфигурируемых сетях на основе структуры графа внедрены в деятельность подведомственных предприятий Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций, в частности, в деятельность Самаркандского филиала АК «Узбектелеком» (справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций от 3 июня 2020 года №33-8/2958). Организация нескольких маршрутов между отправителем и получателем данных в результате научного исследования позволила повысить пропускную способность сети в 1,2 раза;

программное обеспечение и алгоритм поиска и нахождения маршрутов и путей распределения потоков данных в программно-конфигурируемых сетях внедрены в деятельность подведомственных предприятий Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций, в частности, в деятельность ООО «New Line Solutions» (справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций от 3 июня 2020 года №33-8/2958). Результаты научного исследования позволили повысить на 10-14% надежность процессов передачи данных трафика, чувствительного к потерям и задержкам, а также сократить в 1,2-1,4 раза время бездействия потоков внешнего трафика при внезапных отказах в работе одного из каналов связи в сети за счет оперативного перевода пути передачи данных на другой маршрут.

**Апробация результатов исследования.** Результаты настоящего исследования обсуждены на 17 научно-практических конференциях, в том числе, на 9 международных и 8 Республиканских научно-практических конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме исследования опубликовано всего 24 научные работы, из них 6 статей в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией к публикации основных научных результатов диссертаций, в 3 зарубежных журналах и 3 Республиканских журналах, а также получено 1 свидетельство о регистрации программного продукта для ЭВМ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения,

четырёх глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 109 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, определены цель и задачи, объект и предмет исследования, приводится соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложены научная новизна, практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрывается теоретическая и практическая значимость результатов исследования, приведены внедрение результатов исследования, сведения об опубликованности результатов и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Состояние организации управления потоками данных в программно-конфигурируемых сетях»** описываются архитектурные особенности программно-конфигурируемых сетей, рассмотрены существующие основные модели и методы, связанные с распределением информационных потоков в программно-конфигурируемых сетях, а также представлены результаты анализа. В главе обоснованы оптимизация и исследование показателей, определяющих качество программно-конфигурируемых сетей, на базе критерия минимизации времени, которое тратится на передачи пакетов разнородного внешнего трафика.

Архитектура программно-конфигурируемых сетей (ПКС) состоит из трех уровней: уровень приложений – представляет собой комплекс приложений, необходимых для эффективного управления сетью в режиме реального времени; уровень управления сетью – управление осуществляется централизованно на базе контроллерного устройства (серверного компьютера с установленной специальной операционной системой); уровень инфраструктуры – включает в себя сетевое оборудование, обеспечивающее передачу пакетов данных, т.е. коммутаторы и их каналы связи между ними, на этом уровне происходит прием и выполнение заданий и соответствующих данных от контроллера. Основным протоколом ПКС является протокол OpenFlow. На его основе осуществляются процессы передачи данных между устройствами ПКС.

В диссертации в форме таблицы приводятся преимущества программно-конфигурируемых сетей, функции компонентов и результаты сравнительного анализа ПКС с существующими традиционными сетями.

В научных исследованиях, посвященных программно-конфигурируемым сетям, рассматриваются вопросы динамического управления трафика облачной инфраструктуры, которая разработана на основе ПКС, определение маршрутов передачи данных до адресатов на основе алгоритмов Дейкстры и Йена, формирования ПКС на базе существующих сетей, адаптивной маршрутизации и балансировки нагрузки, проектирование

экспериментальных образцов структуры сети на базе сетевой технологии OpenFlow и другие вопросы, разработаны значимые методы, модели и алгоритмы в этой области.

При проектировании транспортного уровня инфокоммуникационной сети на базе теории ПКС следует учитывать, что передача пакетов разнородного трафика (звукового, видео и компьютерного) осуществляется на основе установленных приоритетов. В ходе анализа выяснилось, что в этом направлении проводилось мало научных изысканий.

В ПКС осуществляется передача трех видов пакетов трафика. Каждый вид пакета имеет свой приоритет: пакет звукового трафика имеет высокий приоритет, затем видео пакеты, а затем только пакеты компьютерных данных. Коммутатор должен определить маршрут с учетом приоритета и организовать передачу по данному маршруту.

На основании высказанного оптимальное распределение потоков описывается следующим образом: при установлении ограничений, определяющих стационарное состояние инфраструктурного уровня программно-конфигурируемой сети следует таким образом распределить существующий разнородный трафик, чтобы общее время, затрачиваемое на передачу всех разнородных пакетов за определенный период было минимальным, т.е.:

$$T = \sum_i (t_1 + t_2)_i \rightarrow \min$$

здесь:  $\{t_1\}$  - среднее значение времени ожидания в очереди всех пакетов в сети;  
 $\{t_2\}$  - среднее значение времени обслуживания всех пакетов сети в сетевых устройствах.

Вторая глава диссертации **«Формализация задач распределения потоков внешнего трафика в программно-конфигурируемых сетях»** посвящена определению факторов, учет которых необходим при передаче и распределении потоков в ПКС и формализации задач оптимального распределения потоков данных на основе выбранного критерия.

В исследовании топологическая схема инфраструктурного уровня ПКС выражается в виде ненаправленного графа  $G(N, M)$  с ребрами (каналами связи) и вершинами (коммутаторами), имеющего ограниченную пропускную способность  $C = \{C_m\}$  и приводятся следующие сведения:

Для каждого канала  $(i, j)$  имеется противоположный канал  $(j, i)$ .

$\gamma_q$  – это средняя интенсивность входного потока типа  $q$ ;

$f_q^k$  – это интенсивность полного потока класса  $q$  между  $k$ -парой отправитель-получатель (О-П);

$\lambda_{qi}$  – это общая интенсивность потока  $q$ -класса на  $i$ -канале связи;

$\mu_i$  – это среднее значение обслуживания на  $i$ -канале связи;

$\lambda_i$  – это средняя интенсивность совокупности разнородных потоков на  $i$ -канале связи.

Соответствующие интенсивности для общего входного потока  $\gamma$  определяются следующим образом:

$$\gamma_1 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \gamma_{1i,j}, \quad \gamma_2 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \gamma_{2i,j}, \quad \gamma_3 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \gamma_{3i,j}$$

$$\gamma_{i,j} = \gamma_{1i,j} + \gamma_{2i,j} + \gamma_{3i,j}$$

Правила маршрутизации в соответствии с моделью потоков определяются маршрутной матрицей переменных.

При этом средняя интенсивность полных потоков всех классов, передаваемых по  $i$  – коммутатору, направленному на  $j$  – коммутатор:

$$V_{i,j} = \gamma_{i,j} + \sum_{Z=1}^N V_{Z,i}^{(j)} P_{Z,i}^{(j)} \quad (1)$$

здесь:  $P_{Z,i}^{(j)}$  – переменная маршрута (матрица притяжения), определяющая долю общего потока  $V_{Z,i}^{(j)}$  в  $Z$ -коммутаторе, отправляемом на  $j$ -коммутатор через  $i$ -коммутатор на  $(i, j)$  маршруте. Данное выражение (1) в теории потоков называется уравнением баланса. В соответствии с уравнением баланса средняя интенсивность общего потока в канале связи  $(i, r)$  для  $j$ -коммутатора определяется по следующему выражению:

$$\lambda_{i,r} = V_{i,j} P_{i,r}^{(j)} = \left( \gamma_{i,j} + \sum_{q=1}^N V_{q,i}^{(j)} P_{q,i}^{(j)} \right) P_{i,r}^{(j)} \quad (2)$$

здесь:  $P_{i,r}^{(j)}$  – это переменная маршрута  $(i, j)$  на канале  $(i, r)$ .

Исходя из общей модели, интенсивность потока  $q$ -класса на  $i$ -канале связи:

$$\lambda_{q,i} = \sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^N \delta_{i,j}^{(k)} h_{q,i}^{(k)}$$

$$f_q^k = \sum_{j=1}^N u_{q,i}^{(k)} h_{q,i}^{(k)} \quad (3)$$

здесь: при существовании  $i$ -канала на  $j$ -маршруте  $k$ -пары отправитель-получатель будет  $\delta_{i,j}^{(k)} = 1$ , иначе  $\delta_{i,j}^{(k)} = 0$ ;

$h_{q,i}^{(k)}$  – средняя интенсивность потока  $j$ -маршрута между  $k$ -парой О-П;

$f_q^k$  - полный средний трафик  $q$ -класса  $k$ -пары О-П. Имеются вероятные маршрутные пути  $u^{(k)}$  между  $k$ -парой О-П.

Интенсивность полного потока на  $i$ -канале связи определяется как совокупность разнородных потоков, проходящих по заданному каналу:

$$\lambda_{i,r} = \sum_{i \in Q} \lambda_{q,i} \quad (4)$$

Средняя задержка всех потоков в сети определяется в самом общем виде следующим выражением:

$$\bar{T} = 1/\gamma \sum_{i=1}^M \sum_{q=1}^Q \lambda_{q,i} T_{q,i} \quad (5)$$

$$\gamma = \sum_{k=1}^K \sum_{q=1}^Q f_q^k \quad (6)$$

здесь:  $T_{q,i}$  – это средняя задержка потока (трафика)  $q$ -класса на  $i$ -канале;

$\gamma$  – общая интенсивность потоков  $Q$ -класса всех  $k$ -пар отправитель-получатель.

Если считать, что структура уровня инфраструктуры ПКС представляет собой единую систему, ее каналы связи и коммутаторы являются надежными и помехоустойчивыми. Учитывая экспоненциальное распределение времени передачи пакетов трафика в данную структуру, соблюдение правил стационарных потоков входными потоками с общей интенсивностью  $\gamma$ , то среднее значение времени задержек всех видов потоков можно выразить посредством следующей функции:

$$\bar{T} = 1/\gamma \sum_{i=1}^M \lambda_i / (\mu_i - \lambda_i), \quad (7)$$

появляется возможность решения задачи оптимального распределения разнородных потоков математическим, которое формируется при выполнении следующих ограничений:

$$\begin{cases} \lambda_{z,i} \geq 0, \lambda_i < \mu_i \\ \sum_{j=1}^N \sum_{z=1}^Z \lambda_{z,ij}^{(k)} + \sum_{z=1}^Z \gamma_{z,i} = \sum_{j=1}^N \sum_{z=1}^Z \lambda_{z,ji}^{(k)} \\ \gamma_{i,j} = \gamma_{1i,j} + \gamma_{2i,j} + \gamma_{3i,j}, \gamma_{1i,j}, \gamma_{2i,j}, \gamma_{3i,j} \geq 0 \end{cases} \quad (8)$$

требуется минимизация выпуклой функции, приведенной (7).

В результате решения данной задачи можно определить значения передачи каждого вида трафика, в любой пропорции по любому каналу связи и соответствующему маршруту. Другими словами, вследствие решения задачи оптимизации появляется возможность выявления множества путей с положительными потоками, обеспечивающими минимум общего времени средних задержек для трафика  $q$ -класса и каждой  $k$ -пары отправитель-получатель. Вследствие этого потоки передаются непосредственно через маршрут “отправитель-получатель”, что приводит к сокращению времени передачи относительно других маршрутов.

При формализации задачи оптимизации для состояний правил получения и обслуживания пакетов трафика, выражаемых функциями произвольного распределения, общее представление целевой функции выражений (5) и (7) не меняется, лишь составляющие их выражения изменяются согласно соответствующим правилам распределения.

В третьей главе диссертации «**Разработка моделей и алгоритмов распределения разнородных информационных потоков в программно-конфигурируемых сетях**» разработаны модель оптимального распределения информационных потоков внешнего трафика в ПКС, метод распределения на основе многопоточной маршрутизации разнородных данных, а также алгоритмы определения кратчайшего пути в схеме графа и распределения разнородных информационных потоков в ПКС.

Решение вопроса распределения общего потока по оборудованию ПКС опирается на теорию потоков и осуществляется при соблюдении ограничений, обусловленных стационарным состоянием системы.

В соответствии с данной теорией модель оптимального распределения разнородных потоков описывается следующим образом: если  $\Psi_{(i,j)}^q$  - маршрут является маршрутом  $(i, j)$  мультипотока между  $q$ -парой отправитель и получатель и между коммутаторами, значение интенсивности многоисточниковых потоков на любом канале связи  $(x, y)$  по его маршруту будет равно  $\lambda_{(i,j)}^q > 0$ , то  $\bar{T}$  значение выпуклой функции, приводимой в выражении (7), любой «маршрут» мультипотока минимизируется только при кратчайшем пути в  $\eta_{i,j}$  метрике, т.е.:

$$\eta_{i,j} = \partial \bar{T}_{ij} / \partial \lambda_{ij} = \mu_{ij} / (\gamma(\mu_{ij} - \lambda_{ij}))^2 \quad (9)$$

здесь:  $(i, j)$  значение параметра  $\eta_{i,j}$  - характеризует уровень изменения целевой функции в результате повышения или снижения значения потока в канале связи.

Если наблюдается повышение значения потока в канале связи  $(i, j)$ , то значение трафика  $q$ -класса вычитается из значений общего потока каналов связи и прибавляется значениям потоков других каналов связи маршрута. Процедура передачи определенной части общего потока по другому пути выражается следующим образом:

$$\begin{aligned} \varphi_k^{(L,1)} &= \lambda_k^{(L,1)} - \Delta^3 \lambda_k^{(L,1)} \\ \varphi_q^{(L,2)} &= \lambda_q^{(L,2)} + \Delta^3 \lambda_q^{(L,2)} \end{aligned} \quad (10)$$

здесь:  $\Delta^3$  - параметр, описывающий долю потока, передаваемого по определенному пути. Индекс 3 - часть потока, переданного по другому пути, который соответствует трафику компьютерных данных, если же потоки другого трафика передаются по другому пути, то соответственно индекс тоже меняется (аудио - 1, видео - 2).

В диссертации подробно освещена модель оптимального распределения потоков внешнего трафика  $q$ -класса.

Выполнение коммутаторами инфраструктурного уровня ПКС операций по передаче информации на основе адресных данных, размещенных в заголовке портов и пакетов, которые входят в их состав, позволяет передавать потоки разнородного трафика от источника к адресату по нескольким виртуальным каналам.

Определение кратчайшего маршрута для каждого вида потоков трафика  $Q$  типа на инфраструктурном уровне предлагается осуществлять следующим образом:

- для каждого типа трафика определяются приоритеты, которые располагаются по принципу «сверху-внизу», т.е.  $p_1 < p_2 < \dots < p_q$ ;

- на основе значений  $\{1/\mu_i\}$  веса каналов связи в типологии инфраструктурного уровня находится кратчайший путь среди коммутаторов инфраструктура уровня;



- по найденным путям осуществляется передача потоков трафика в соответствии с приоритетом (начиная с потока трафика  $\gamma_1$  с самым высоким приоритетом) от источника к адресату; после передачи потока по каждому маршруту, проверяются условия стационарного состояния каналов связи на направлении потока, т.е.  $\{\lambda_i\} < \{\mu_i\}$ , при невыполнении условия выполняются следующие операции:

$$\{\lambda_i^{чег}\} = \{\rho_i^{чег}\} \times \{\mu_i\}, \Delta\{\lambda_i\} = \{\lambda_i\} - \{\lambda_i^{чег}\}, \{\mu_{i+1}\} = \{\mu_i\} - \{\lambda_i^{чег}\}$$

На основе  $1/\{\mu_{i+1}\}$  находится новый наиболее краткий путь;  $\Delta\{\lambda_i\}$  трафик передается по этому пути ( $\rho_i^{чег}$  является уровнем ограниченной загруженности);

- определяются  $(\{\mu_{i+1}\} = \{\mu_i\} - \{\lambda_i^{чег}\})$  уровни загруженности каналов  $\{\lambda_i\}$  и новый вес  $\{\mu_i\}$ , в случае если все виды трафика не рассмотрены, процесс передачи потоков следующего приоритета начинается со второго этапа, затем возвращается для потоков трафика всех видов.

В работе на основе модели оптимального распределения потоков разработаны 2 алгоритма распределения потоков разнородного трафика на уровне инфраструктуры ПКС: “отклонение потоков в сети” и “многопоточная маршрутизация”. Данные алгоритмы разработаны с учетом особенностей, представленных в теории сетей обслуживания для точного отображения стохастических процессов в сети.

После внесения данных, необходимых для выполнения алгоритмов, вычисляется общая интенсивность обслуживания пакетов сетевого оборудования и потоков внешнего трафика, передаваемого на узлы связи, вносятся изменения по выполнению условия стационарного положения (т.е.  $\sum \gamma_i < \sum \mu_i$ ).

В первом алгоритме оптимальные виртуальные каналы выявляются на базе метрики маргинальных задержек многоисточниковых потоков и потоки разнородного внешнего трафика передаются в основном по определенному виртуальному каналу.

Второй алгоритм, основанный на методе многопоточной маршрутизации, выполняется в следующей последовательности функций операторов:

1) вносятся заданные данные;  
 2) выполняются операции по обеспечению условия стационарности ( $\sum \gamma_i < \sum \mu_i$ ) по сети, определяется вид трафика:  $k=1$  – аудио;  $k=2$  – видео,  $k=3$  – компьютерные данные;

3) на базе параметров, характеризующих пропускную способность каналов связи  $k=k+1$ ; вычисляется кратчайший путь среди коммутаторов для потока  $k$ -трафика;

4) на основе значений  $\{\varphi_{m-j}^k\}$  параметров «матрицы притяжения» поток  $k$ -трафика направляется по коротким путям, найденным среди вершин

$m - j (m, j \in M)$ , в результате уровень инфраструктуры ПКС в каналах связи (на ребрах графа -  $i \in N$ ) топологии сети формирует формируется исходный мультипоток  $\{\lambda_i\}^{(k)}$ :

$$\{\lambda_i\}^{(k)} = \{\lambda_i\}^{(k-1)} + \varphi_{m-j}^k \gamma_{(m-j),i}^k,$$

здесь:  $\gamma_m^k$  – интенсивность передачи трафика  $k$ -вида на  $m$ -вершину;  $\varphi_{m-j}^k \gamma_{(m-j),i}^k$  – интенсивность части потока, предназначенного для передачи потока  $k$ -вида от  $m$ -вершины к  $j$ -вершине по  $i$ -каналу связи;

5) проверяется соответствие каналов связи условию  $\{\lambda_i\}^{(k)} < \{\mu_i\}$ , если “да”, то управление переходит к 4 оператору, иначе к 1 оператору, в результате изменяется значение интенсивности потока внешнего  $k$ -трафика;

6) вычисляются новые значения пропускной способности (интенсивности обслуживания пакетов) каналов связи в сети с учетом значений интенсивности потоков внешнего  $k$ -трафика, т.е.:

$$\{\mu_i\}^{(k)} = \{\mu_i\}^{(k)} - \{\lambda_i\}^{(k)}$$

(за счет значения интенсивности потока  $k$ -трафика из многих источников значение  $\{\lambda_i\}^{(k)}$  кровня загруженности каналов связи повышается, а интенсивность обслуживания потоков каналов связи снижается на это значение);

7) Условное  $k < 3$  проверяет выполнение условия, при “нет” передает управление оператору 2, иначе передается оператору 6;

8) вычисляется значение целевой функции (7), выводятся результаты и работа алгоритм оканчивается.

Основу предложенных моделей, методов и алгоритмов составляет алгоритм нахождения кратчайшего пути. Поэтому разработаны программа и алгоритм нахождения кратчайшего пути в схеме графа, приведенной в работе. Данные алгоритм и программа апробированы на схеме графа с 20 вершинами, показана их эффективность.

В четвертой главе диссертации «**Анализ результатов вычислительного эксперимента и разработка предложений по развитию исследования**» разработано программное обеспечение распределения информационных потоков в условиях высокой загруженности в ПКС, описывается эффективность моделей, методов и алгоритмов, предложенных на основе результатов вычислительного эксперимента.

Программа написана на языке С# и предназначена для решения задач оптимального распределения потоков внешнего трафика в рамках заданной структуры сети (см. рис. 1). На ее основе проведен вычислительный эксперимент, на базе его результатов получены и проанализированы сведения об уровне загруженности потоков одного типа трафика, воздействия на параметры задержек потоков трафика другого типа. Для представления эффективности предложенных методов и алгоритмов приводятся результаты инфраструктурного уровня с 12 коммутаторами и 16 каналами связи (см. рис. 2).



Рис. 1. Функциональная схема программного обеспечения.

На принимающее устройство коммутатора принимаются пакеты внешнего трафика трех видов. Определение принадлежности пакетов к виду трафика осуществляется с помощью специального “фильтра”. Определяется пропускная способность виртуального канала с учетом значения интенсивности передачи каждого вида трафика.

Программа находит кратчайшие пути для каждого потока трафика, последовательно направляя по ним потоки аудио-, видео- и компьютерные данные, вычисляет значения целевой функции для каждого вида трафика и общей сети.

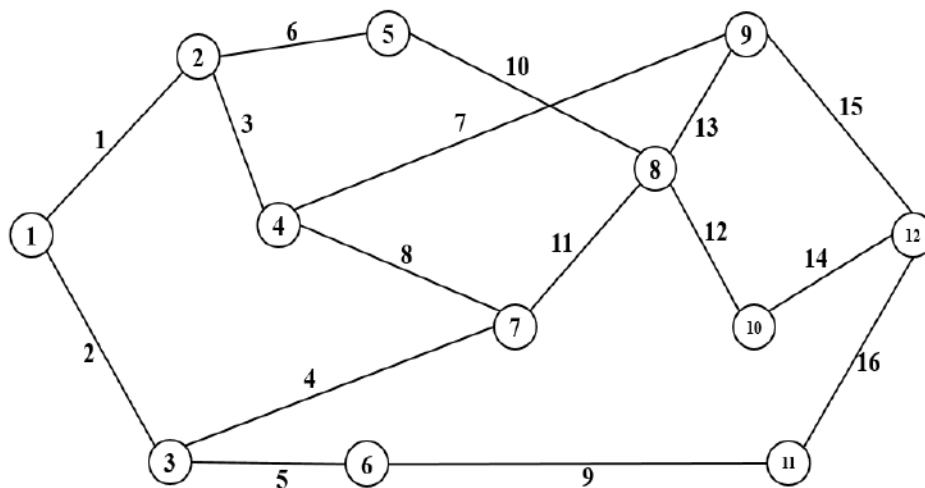
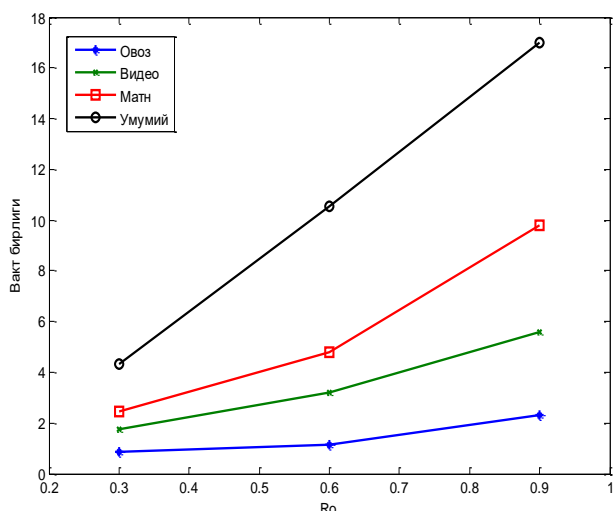
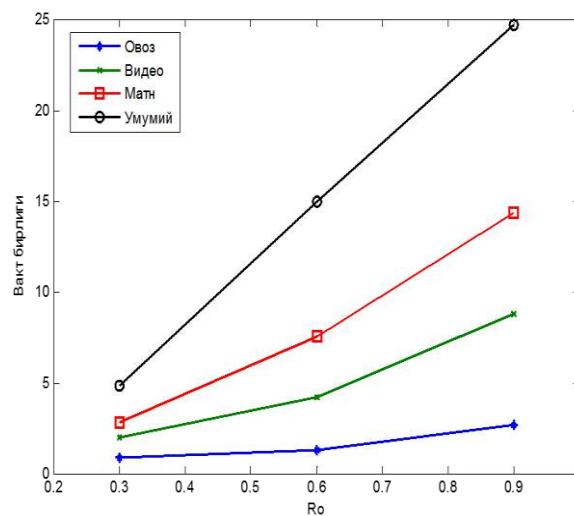


Рис. 2. Схема структуры исследованной сети

Результаты по двум алгоритмам (рис. 3) можно обосновать следующим образом: при низкой загруженности сети ( $\rho \approx 0.3$ ) в обоих вариантах значения целевой функции также показывали одинаковые результаты (4.3333 и 4.8081 соответственно), но при повышении загруженности результаты резко отличаются, т.е. при  $\rho \approx 0.6$  были 10.5311 и 14.9964, при  $\rho \approx 0.9$  в предложенном варианте определено общее время задержки 17.0174 и вторым способом получено 24.6807.



а)



б)

Рис. 3. Диаграмма, описывающая связь совокупности среднего времени задержек, которые возникают при распределении потоков в ПКС на основе “многопоточной маршрутизации” (а) и “отклонения потоков в сети” (б), с уровнем загруженности сети.

Таким образом, целесообразным представляется направление от источника к адресату пакетов разнородного трафика на базе метода многопоточной маршрутизации на инфраструктурном уровне ПКС, поскольку при этом для передачи пакетов используется меньше времени. Внедрение в ПКС программного обеспечения, разработанного на основе данного метода,

значительно повышает ее эффективность.

Если для пакета, передаваемого коммутатору ПКС, не указан маршрут, то пакет отправляется по защищенному каналу посредством протокола OpenFlow, маршрут определяется на основе определенного программного приложения, по защищенным каналам показания передаются маршрутным таблицам соответствующих коммутаторов, пакеты передаются на указанный адрес по новому маршруту.

При высокой загрузке сети повышается вероятность того, что среднее значение времени обработки пакета на устройствах уровней инфраструктуры и управления ПКС будет выше среднего значения времени передачи пакетов  $\Delta\tau = \tau_i - \tau_{i-1}$ , что приводит к повышению вероятностей потери пакетов и снижению качества передачи.

С повышением нагрузки в СМО возникает вероятность увеличения количества запросов, ожидающих обслуживания, относительно объема буфера и соответственно потери этих запросов. В модели M/M/1/m сетей массового обслуживания вероятность потери запросов выражается следующим образом:

$$P_{ii} = \rho^{(m+1)}(1 - \rho)/(1 - \rho^{m+2})$$

При низкой загрузке вероятность потери пакетов близка нулю, но с ростом загрузки (начиная с 0.5) значение  $P_{ii}$  значительно изменяется, в особенности это актуально при малом объеме буфера (рис. 4), при увеличении же его объема вероятность потерь пакетов относительно снижается (см. рис. 5), но в ситуации высокой загрузки необходимо учитывать значение  $P_{ii}$ .

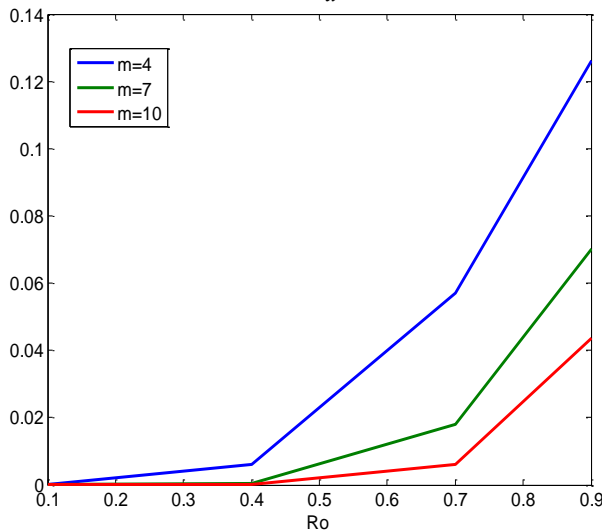


Рис. 4. Диаграмма, описывающая функциональность  $P_{падэ} = f(\rho)$ , ( $m = \text{const}$ ).

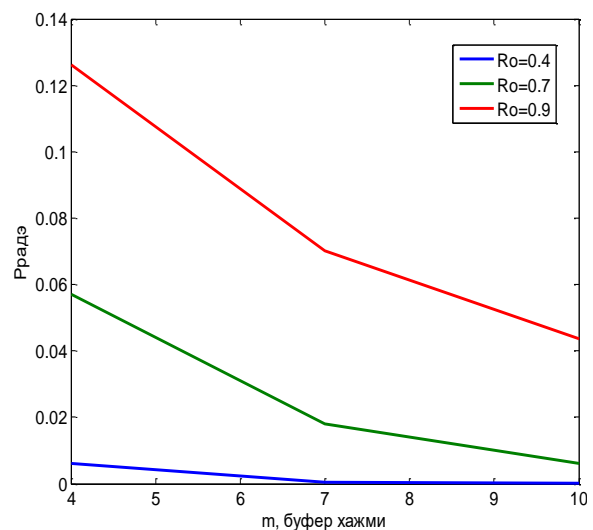


Рис. 5. Диаграмма, описывающая функциональность  $P_{падэ} = f(m)$ , ( $\rho = \text{const}$ ).

При предварительном определении путей для пакетов разнородного трафика в ПКС на основе метода многопоточной маршрутизации и внесении в расписание потоков коммутаторов пакеты передаются по установленным маршрутам и потери пакетов не наблюдаются.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведены следующие выводы в результате проведенных исследований по диссертационной работе доктора философии (PhD) на тему «Модели и алгоритмы распределения потоков разнородного трафика в программно-конфигурируемых сетях в условиях высокой загрузки»:

1. В рамках выбранного критерия оформлена задача рационального распределения потоков разнородного внешнего трафика на инфраструктурном уровне программно-конфигурируемых сетей на основе правила сохранения поточной модели и потоков, а также определено математическое выражение функции рационализации среднего значения времени задержек потоков.

2. Решение задачи рационализации обосновано появлением возможности определения упорядоченного множества путей, обеспечивающих минимум общего времени средних задержек для гетерогенного трафика и каждой пары отправитель-получатель, теорией потоков, приводящей к непосредственной передаче по найденному пути, сокращению временных затрат.

3. Разработаны модель рационального распределения потоков разнородного трафика в программно-конфигурируемых сетях и метод распределения данного трафика на основе многопоточной маршрутизации, что обеспечило передачу данных без потерь в условиях высокой загрузки.

4. Уровень инфраструктуры ПКС представлен в виде графа, разработан алгоритм нахождения кратчайшего пути. Определено, что время, затрачиваемое на нахождение кратчайших путей, на 3,2% меньше времени, широко распространенного на основе алгоритма Дейкстры.

5. Обоснована эффективность разработки математической модели инфраструктурного уровня ПКС на основе теории сетей массового обслуживания (СМО). На базе этой теории также разработаны алгоритмы распределения потоков, а также на 10–14 % повышена надежность процессов передачи потоков трафика, чувствительного к потерям и задержкам.

6. Разработано программное обеспечение с функциональными подсистемами, обеспечивающими передачу потоков данных в кратчайшее время и по кратчайшим маршрутам от коммутаторов инфраструктурного уровня ПКС к адресам, что позволило снизить в 1,2-1,5 раза время бездействия при передаче потоков внешнего трафика.

7. Организация нескольких маршрутов между пользователями информации позволила повысить в 1,2 раза пропускную способность сети, повысить скорость передачи данных в сети на 8-12%, осуществлять передачу данных без потерь в условиях высокой загрузки, снизить в 1,2-1,5 раза время бездействия в передаче потоков внешнего трафика, повысить на 10-14% надежность процессов передачи потоков трафика, чувствительного к потерям и задержкам, за счет оперативной передачи данных по другому маршруту при внезапных сбоях на каналах связи в сети.

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

---

**TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES**

**MAHMUDOV SALIMJON OLIMJONOVICH**

**MODEL AND ALGORITHMS FOR THE DISTRIBUTION OF  
HETEROGENEOUS TRAFFIC FLOWS IN SOFTWARE-DEFINED  
NETWORKS UNDER HIGH LOAD**

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

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

**Tashkent – 2020**

The theme of dissertation of doctor of Philosophy (PhD) on technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2017.3.PhD/T465.

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)).

**Scientific supervisor:**

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

**Official opponents:**

**Khamdamov Utkir Rakhmatillaevich**  
Doctor of Technical Sciences, associate Professor

**Rakhimov Bakhtiyorjon Nematovich**  
Doctor of Technical Sciences, associate Professor

**Leading organization:**

**“Uzbektelkom ” JSC**

The defense will take place on « 25 » of November 2020 at 16<sup>00</sup> at the meeting of Scientific Council DSc.13/30.12.2019.T.07.02. at Tashkent University of Information Technologies (address: 100202, Tashkent, 108 Amir Temur Street.) Tel: (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 2625). (address: 100202, Tashkent, Amir Temur str., 108. Tel: (99871) 238-64-44).

The abstract of dissertation is distributed on: « 14 » of november 2020.  
(Protocol at the register No. 6 on « 13 » of november 2020).



**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

**R.M. Aliyev**

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



## INTRODUCTION (abstract (PhD) thesis)

**The aim of the research** is to develop methods, models and algorithms that increase the efficiency of processing and transmission of external traffic flows under high load conditions in the management of software-defined networks.

**The object of the research work** are software-defined networks.

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

a model of the processes of distribution of external traffic information flows in networks with software-defined was developed;

a method of multi-stream routing of external traffic flows of Q (heterogeneous) type under high load conditions in software-defined networks was created;

an algorithm for finding the shortest path in software-defined networks on the basis of the graphical structure of multithreaded routing were developed;

an algorithm and software have been developed for distributing information flows and finding routes in software-defined networks were developed.

**Implementation of research results.** Based on the results obtained on the model and algorithms for the distribution of heterogeneous traffic flows in networks with software-defined networks under high load conditions:

the model of the processes of distribution of external transport information flows in software-defined networks has been implemented at the enterprises of the Ministry for Development of Information Technologies and Communications of the Republic of Uzbekistan and also at the branch of "Uzbektelecom JSC" "Transport Network of Telecommunications" (certificate 33-8 / 2958 as of June 3, 2020 the Ministry of Information Technologies and Communications). As a result of the research, the data transfer rate within the network will increase by 8-12%, which will allow working without losses in high load conditions;

Q (heterogeneous) type of external traffic flows in software-defined networks, multi-stream routing method under high load conditions and shortest path search algorithm in software-defined networks based on graphical structure of multi-stream routing were implemented at the Ministry for Development of Information Technologies and Communications of the Republic of Uzbekistan and also at Samarkand branch of JSC "Uzbektelecom" (certificate 33- 8/2958 as of June 3, 2020 the Ministry of Development of Technologies and Communications). As a result of the study, the creation of several routes between the sender and the recipient of information allowed 1.2 times more efficient use of the network bandwidth;

algorithm and software for distribution and routing of information flows in software-defined networks were implemented at the enterprises of the Ministry for Development of Information Technologies and Communications of the Republic of Uzbekistan and also at New Line Solutions LLC (certificate 33-8 / 2958 as of June 3, 2020 the Ministry of Information Technologies and Communications). Studies have shown that in the event of a sudden failure of one of the communication channels in the network, the "idle time" without transmission of external traffic flows is reduced by 1.2-1.5 times due to the rapid movement of the data route and increasing the reliability of traffic flows by 10-14%.

**The structure and scope of the dissertation.** The dissertation consists of an Introduction, four Chapters, Conclusion, Bibliography, a List of Published works and Appendices. The volume of the dissertation is 109 pages.

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙИХАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАН/НЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I бўлим (Часть I, Part I)**

1. Нишонбоев Т., Махмудов С. Формализация задачи распределения потоков разнородного трафика на уровне инфраструктуры программно-конфигурируемой сети // «Ахбороткоммуникациялар: Тармоқлар, технологиялар, ечимлар» илмий-техник журнал, 4(48) – сони 2018 йил, 5-11 бетлар. (05.00.00; №3)

2. Нишонбоев Т., Махмудов С. Алгоритм распределения разнородного трафика на уровне инфраструктуры программно-конфигурируемой сети // Ахбороткоммуникациялар: Тармоқлар, технологиялар, ечимлар илмий-техник журнал, 4(52)-сон, 2019 йил, 25-29 бетлар. (05.00.00 №3)

3. Нишонбоев Т., Махмудов С., Абдуллаев М. Формирование и размещение виртуальных серверов в cloud-дата центре с распределенной структурой // “Muhammad al-Xorazmiy avlodlari” ilmiy-amaliy va axborot-tahliliy jurnal. №1(3) - сон 2018 йил, 72-77 бетлар. (05.00.00; №10).

4. Нишонбоев Т., Абдуллаев М., Махмудов С. A model for the formation of the cloud structure of a data center based on SDN // International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT) Applications, Trends and Opportunities, 4<sup>th</sup>, 5<sup>th</sup> and 6<sup>th</sup> of November 2019, Tashkent, Uzbekistan. Раёсат қарори №269/8 (30.09.2019 й.) билан ОАК илмий нашрлар рўйхатига киритилган журналларга тенглаштирилган.

5. Нишонбоев Т., Махмудов С., Абдуллаев М. Distribution model of heterogeneous flow in a software-defined multiservice network // International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT) Applications, Trends and Opportunities, 4<sup>th</sup>, 5<sup>th</sup> and 6<sup>th</sup> of November 2019, Tashkent, Uzbekistan. Раёсат қарори №269/8 (30.09.2019 й.) билан ОАК илмий нашрлар рўйхатига киритилган журналларга тенглаштирилган.

6. Mahmudov S.O. Algorithm of Distributing Traffic Flows in a Software-Defined Network // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Journal, Volume 7, Issue 9, September 2020, pp. 14935-14942 (05.00.00; №8).

**II бўлим (Часть II; Part II)**

7. Махмудов С.О. Software Defined Networking: Management of network resources and data flow // International Conference on Information Science and Communications Technologies ICISCT-2016, November 2016, Tashkent, Uzbekistan.

8. Нишонбоев Т., Махмудов С., Абдуллаев М. Formalization of the Task of Building a Cloud-data Center based on a Software-Defined Network // XIV International scientific- technical conference “Actual Problems of Electronic Instrument Engineering”, APEIE-2018.

9. Нишонбоев Т., Махмудов С., Абдуллаев М. Distribution of external traffic by Virtual Servers of Cloud-data Center with distributed structure // Десятая Всемирная конференция WCIS-2018 «Интеллектуальные системы для индустриальной автоматизации».

10. Нишонбоев Т., Махмудов С. Model of distributing heterogeneous traffic flows in a Software-Defined Network // 2019 International Conference on Information Technology, Electrical and Electronic Engineering (ITEEE 2019) 20-21 January, Sanya city, China, pp 138-143.

11. Нишонбоев Т., Абдуллаев М., Махмудов С. Распределение запросов внешнего трафика по виртуальным серверам cloud-дата центра // Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Повышение надежности функционирования и информационная безопасность в инфокоммуникационных, телекоммуникационных и радиотехнических сетях и системах», 25 октября 2019г. Омск, Российская Федерация

12. Амирсаидов У.Б., Махмудов С.О. Simulation model of backbone network // “Perspectives for the development of information technologies ИТРА 2014”, 4-5 ноябрь, 2014 Ҳалқаро илмий конференцияси, 4-5 ноябрь, 2014.- С.271-274 бетлар.

13. Махмудов С.О. Умматов У.А. Modeling of queueing systems with multi-class self-similar network traffic // “Perspectives for the development of information technologies ИТРА 2014” Ҳалқаро илмий конференцияси, 4-5 ноябрь, 2014.- С.334-337 бетлар.

14. Махмудов С.О. Software defined networking: management of network resources and data flow // “ВЫСШАЯ ШКОЛА” Научно-практический журнал №21/2016, г. УФА, Россия, С. 86-88.

15. Махмудов С.О. Management data flow in SDN with using expert neural network // “ВЫСШАЯ ШКОЛА” Научно-практический журнал №21/2016, г. УФА, Россия, С. 89-91.

16. Махмудов С.О. Реал ўзига хос оқимларни моделлаштириш // “Ахборот ва телеком-муникация технологиялари муаммолари” илмий-техник конференцияси маърузалар тўплами 4-қисм. - С.112-113 бетлар.

17. Махмудов С.О. SDNда тармоқни бошқариш масалаларида Openflow протоколини аҳамияти ва муаммолари // “Ахборот ва телекоммуникация технологиялари муаммолари” илмий-техник конференцияси маърузалар тўплами 3-қисм,- С.171-173 бетлар.

18. Махмудов С.О. Дастурий конфигурацияланадиган тармоқни юзага келиш сабаблари ва афзалликлари // “Ахборот ва телекоммуникация технологиялари муаммолари” илмий-техник конференцияси маърузалар тўплами 3-қисм, - С. 177-180 бетлар.

19. Махмудов С.О. Dasturiy – konfiguratsiyalanadigan tarmoqlarda xavfsizlik masalalari // “Harbiy-lokal tarmoqlar texnologiyalari ularni qo'llash va himoyalash usullari, axborot xavfsizligini ta'minlash” - Respublika Oliy harbiy ta'lim muassasalari ishtirokida o'tkazilgan ilmiy-amaliy konferensiya materiallari to'plami, Toshkent - 2016 yil.-С.97-100 b.

20. Махмудов С.О. Тармоқ қуришга янгича қараш: SDN технологияси ва Openflow протоколи // “Замонавий ахборот-коммуникация технологияларини жорий этишда дастурий таъминотларни яратиш: муаммо ва ечимлар” мавзусидаги Республика илмий-техника конференцияси, Самарқанд-2016. – С.309-313 бетлар.

21. Махмудов С.О. Дастурий конфигурацияланадиган тармоқда тармоқ оқимини эксперт нейрон тармоғи асосида бошқариш // “Иқтисодиётнинг реал тармоқларини инновацион ривожланишида ахборот–коммуникация технологияларининг аҳамияти ” Республика илмий-техник анжуманининг маърузалар тўплами 3-қисм, 2017.- С.305-307 бетлар.

22. Махмудов С.О. Тармоқни бошқариш масалаларида мавҳум тўплам ва мантиқни қўллашни аҳамияти // “Иқтисодиётнинг реал тармоқларини инновацион ривожланишида ахборот–коммуникация технологияларининг аҳамияти ” Республика илмий-техник анжуманининг маърузалар тўплами 3-қисм, 2017.- С.307-309 бетлар.

23. Махмудов С. SDN тармоғини афзаллигини моделлаштириш асосида ўрганиш // “Иқтисодиётнинг тармоқларини инновацион ривожлантиришда Ахборот -коммуникация технологиялари аҳамияти” Республика илмий-техник конференцияси, Тошкент, 14-15-апрел, 2019. – С. 130-133 бетлар.

24. Нишонбоев Т., Махмудов С. Ma'lumot uzatish tarmoqlarida har xil trafik oqimlarini taqsimlash algoritmining dasturiy ta'minoti // № DGU 07712 Агентство по интеллектуальной собственности РУз. - Ташкент, 08.01.2020 й.

Автореферат «Муҳаммад ал-Хоразмий авлодлари» илмий журнали таҳририяда таҳрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус, инглиз тиллари матнларни мослиги текширилди (12.11.2020 й.).

Бичими: 84x60 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. «Times New Roman» гарнитураси.  
Рақамли босма усулда босилди.  
Шартли босма табоғи: 3. Адади 100. Буюртма № 202.

Гувоҳнома № 10-3719  
“Тошкент кимё технология институти” босмаҳонасида чоп этилган.  
Босмаҳона манзили: 100011, Тошкент ш., Навоий кўчаси, 32-уй.