

KOMPYUTER TARMOQLARINI GRAFIK MODELLASHTIRISH VA SIMULYATSION VOSITALAR YORDAMIDA ISHLASH SAMARADORLIGINI TAHLIL QILISH.

Ilmiy tatqiqotchi: Vohidov Fayzullo Zokirjon og'li

Jumaboyev Diyorbek Zaynobiddin o'g'li

Ilmiy rahbar: Maxmudov Isroil Abdullayevich

Farg'ona davlat texnika universiteti.

Annotatsiya: Ushbu maqolada kompyuter tarmoqlarini modellashtirish va simulyatsiyalash orqali ularning ishlash samaradorligini tahlil qilish masalasi o'rganiladi. Zamonaviy tarmoqlar yuqori trafik, ko'p foydalanuvchi va turli xizmatlar bilan bog'liq murakkab tuzilishga ega bo'lib, real muhitda eksperiment o'tkazish katta xarajat va vaqt talab qiladi. Shu sababli grafik modellar va simulyatsion vositalardan foydalanish tarmoq parametrlarini, trafik oqimini, paket yo'qotilishi, kechikish va yuklama balansini aniq baholash imkonini beradi. Maqolada turli topologiyalar — chiziqli, daraxtsimon, to'r va iyerarxik shakllar — NS-3 va OMNeT++ kabi simulyatorlar yordamida modellashtiriladi. Simulyatsiya natijalari tarmoqning kechikish, maksimal va o'rtacha paket uzatilish vaqti, kanal kengligi va uzilishlarga chidamlilik kabi ko'rsatkichlarini tahlil qilishga yordam beradi. Shuningdek, maqolada tarmoqning dinamik yuklama boshqaruvi va trafikni optimallashtirish algoritmlari ham o'rganiladi. Tadqiqot natijalari ko'rsatadiki, to'r va iyerarxik topologiyalar yuqori yuklama ostida ham barqaror ishlashni ta'minlaydi, paket yo'qotilishining oldini oladi va kechikishni sezilarli darajada kamaytiradi. Modellashtirish va simulyatsiyalash orqali olingan tahlillar tarmoq dizaynerlari uchun eng optimal topologiya va algoritm kombinatsiyasini tanlash, resurslardan samarali foydalanish va xizmat sifatini oshirish bo'yicha amaliy tavsiyalar beradi. Shu bilan birga, maqola tarmoqlarni loyihalash, operatorlar strategiyasini yaratish va kelajakdagi 5G/6G arxitekturalarini rejalashtirishda qo'llanilishi mumkin bo'lgan ilmiy va amaliy yechimlarni taqdim etadi. Tadqiqot tarmoqlarni simulyatsiyalashning afzalliklarini, real vaqt sharoitida trafik va resurslarni boshqarishning samaradorligini ko'rsatadi, shuningdek, turli topologiyalar va algoritmlarning qulaylik va cheklovlarini aniqlashga imkon beradi.

Kalit so'zlar: Tarmoqlarni modellashtirish, Tarmoqlarni simulyatsiyalash, Trafik tahlili, Paket yo'qotilishi, Kechikish, Topologiya optimallashtirish, Yuklama balans, NS-3, OMNeT++, 5G/6G tarmoqlari, Ishlash samaradorligini baholash, Resurslarni boshqarish, Dinamik marshrutlash, Aloqa tarmoqlari, Tarmoq ishonchliligi.

Abstract: This paper investigates the modeling and simulation of computer networks to analyze their performance efficiency. Modern networks are characterized

by high traffic, numerous users, and diverse services, making real-world experimentation costly and time-consuming. Therefore, the use of graphical models and simulation tools allows accurate evaluation of network parameters, traffic flow, packet loss, delay, and load balancing. Various topologies, including linear, tree, mesh, and hierarchical structures, are modeled using simulators such as NS-3 and OMNeT++. Simulation results help analyze network metrics such as latency, maximum and average packet transmission time, channel capacity, and resilience to interruptions. The study also examines dynamic load management and traffic optimization algorithms. The results show that mesh and hierarchical topologies provide stable operation under high load, prevent packet loss, and significantly reduce delays. Modeling and simulation analyses offer practical recommendations for network designers to choose the optimal topology and algorithm combination, efficiently utilize resources, and improve service quality. Additionally, the study presents scientific and practical solutions applicable to network design, operator strategy development, and future 5G/6G architecture planning. The research highlights the advantages of network simulation, effective real-time traffic and resource management, and identification of the strengths and limitations of different topologies and algorithms.

Keywords (English): Network modeling, Network simulation, Traffic analysis, Packet loss, Latency, Topology optimization, Load balancing, NS-3, OMNeT++, 5G/6G networks, Performance evaluation, Resource management, Dynamic routing, Communication networks, Network reliability.

Аннотация (Abstract на русском): В данной работе рассматривается моделирование и симуляция компьютерных сетей для анализа их эффективности. Современные сети характеризуются высоким трафиком, множеством пользователей и разнообразием сервисов, что делает эксперименты в реальных условиях дорогостоящими и времязатратными. Поэтому использование графических моделей и инструментов симуляции позволяет точно оценивать параметры сети, поток трафика, потерю пакетов, задержки и балансировку нагрузки. Различные топологии — линейная, древовидная, ячеистая и иерархическая — моделируются с использованием симуляторов NS-3 и OMNeT++. Результаты симуляции помогают анализировать показатели сети, такие как задержка, максимальное и среднее время передачи пакета, пропускная способность канала и устойчивость к сбоям. В исследовании также рассматриваются алгоритмы динамического управления нагрузкой и оптимизации трафика. Результаты показывают, что ячеистые и иерархические топологии обеспечивают стабильную работу при высокой нагрузке, предотвращают потерю пакетов и существенно снижают задержки. Анализ моделирования и симуляции предлагает практические рекомендации для проектировщиков сетей по выбору оптимального сочетания топологии и

алгоритмов, эффективному использованию ресурсов и повышению качества обслуживания. Кроме того, исследование предоставляет научные и практические решения, применимые к проектированию сетей, разработке стратегий операторов и планированию архитектуры будущих сетей 5G/6G. Работа демонстрирует преимущества симуляции сетей, эффективность управления трафиком и ресурсами в реальном времени, а также выявление сильных и слабых сторон различных топологий и алгоритмов.

Ключевые слова (Russian): Моделирование сети, Симуляция сети, Анализ трафика, Потеря пакетов, Задержка, Оптимизация топологии, Балансировка нагрузки, NS-3, OMNeT++, Сети 5G/6G, Оценка производительности, Управление ресурсами, Динамическая маршрутизация, Сетевые коммуникации, Надёжность сети.

Kirish: Axborot-kommunikatsiya texnologiyalari jadal rivojlanib, global internet infratuzilmasi va mobil tarmoqlarning kengayishi natijasida tarmoq xizmatlariga bo'lgan talab sezilarli darajada oshdi. Internet foydalanuvchilari sonining ortishi, IoT qurilmalarining ko'payishi, real vaqt xizmatlari, video va audio oqimlar, onlayn o'yinlar, bulutli hisoblash va sanoat avtomatikasi kabi sohalarda yuqori sifatli va tezkor ma'lumot almashinuvi talab qilinadi. Shu bilan birga, tarmoqlarni rejalashtirish, monitoring qilish va samaradorligini oshirish uchun tarmoqlarni matematik modellashtirish va simulyatsiyalashning ahamiyati ortib bormoqda. Tarmoq topologiyasi, trafik oqimlari, uzilishlar, kechikish va paket yo'qotilishi kabi ko'rsatkichlarni real sharoitlarda sinash ko'p vaqt va katta xarajat talab qiladi, shuning uchun simulyatsiya vositalari tarmoqlarni baholash va optimallashtirishda muhim vosita sifatida ishlatiladi. Tarmoqlarni modellashtirish va simulyatsiyalash tarmoq elementlarini, ulanishlarni va trafik oqimlarini matematik va grafik usullar bilan ifodalash orqali tarmoq ish faoliyatini oldindan prognoz qilish imkonini beradi. Ushbu yondashuv tarmoq dizaynerlariga turli topologiya variantlarini, trafik rejimlarini va protokollarni baholash, tarmoq samaradorligini oshirish va resurslardan optimal foydalanish strategiyalarini ishlab chiqishga yordam beradi. Misol uchun, chiziqli, daraxtsimon, to'r (mesh), iyerarxik va hibrid topologiyalar turli tarmoq sharoitlari va yuklamalar ostida samaradorligini o'rganish imkonini beradi. Shu bilan birga, tarmoq elementlarining ishlash qobiliyati, kanal kengligi, paket yo'qotilishi, kechikish va tarmoqning uzilishlarga chidamliligi kabi ko'rsatkichlar simulyatsiya jarayonida hisobga olinadi. Zamonaviy tarmoqlar yuqori yuklama va tezkor trafik o'zgarishiga duch keladi. Masalan, mobil va IoT tarmoqlarida foydalanuvchilar soni birdaniga oshishi yoki sensorlar va qurilmalardan kelayotgan ma'lumot oqimi keskin ko'payishi mumkin. Shu sababli, tarmoqni simulyatsiya qilish orqali turli stsenariylarni sinab ko'rish, trafikni boshqarish mexanizmlarini tahlil qilish va eng optimal topologiya va

marshrutlash strategiyalarini tanlash imkoniyati mavjud bo'ladir. Simulyatsiya vositalari, jumladan NS-3, OMNeT++, Mininet va boshqa platformalar tarmoqning real sharoitlarda ishlashini aniq taqlid qilishi, paketlar uzatilishi, kechikish, paket yo'qotilishi va resurslarni boshqarishni modellashtirish imkonini beradi. Tarmoq simulyatsiyasi yangi texnologiyalar — 5G va 6G tarmoqlari, edge computing, fog computing va yuqori tezlikdagi IoT tizimlarida juda muhimdir. Bu texnologiyalarda minimal kechikish, yuqori ishonchlilik va resurslardan samarali foydalanish asosiy talablar hisoblanadi. Tarmoqlarni modellashtirish va simulyatsiyalash yordamida bu talablar ilgari surilgan, turli algoritmlar va strategiyalar yordamida optimal yechimlar ishlab chiqilgan. Shu bilan birga, tarmoqning adaptivligi, yuklama balansi va fault tolerance (uzilishlarga chidamlilik) kabi omillar ham simulyatsiya orqali baholanadi, bu esa tarmoq barqarorligini ta'minlashga xizmat qiladi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, tarmoq elementlari va trafikni matematik model bilan ifodalash orqali samaradorlikni oshirish, resurslardan optimal foydalanish va kechikishni kamaytirish mumkin. Shuningdek, simulyatsiya yordamida tarmoq topologiyasi, paket yo'qotilishi va kechikish o'rtasidagi bog'liqliklarni chuqur tahlil qilish, eng samarali marshrutlash va trafik boshqarish strategiyalarini tanlash imkoniyati mavjud. Bu yondashuv tarmoq operatorlari, ilmiy tadqiqotchilar va sanoat muhandislari uchun amaliy ahamiyatga ega. Tarmoqlarni modellashtirish va simulyatsiyalash tarmoq samaradorligini oshirish, resurslardan optimal foydalanish, kechikish va paket yo'qotilishini kamaytirish, tarmoq topologiyasi va trafik boshqaruvini tahlil qilish hamda yangi texnologiyalar — 5G/6G, edge computing va IoT tizimlarida barqaror va ishonchli tarmoq arxitekturasini yaratishga yordam beradi. Shu bilan birga, turli topologiya va simulyatsiya stsenariylarini solishtirish orqali eng optimal tarmoq dizaynini aniqlash mumkin. Tadqiqotlar ko'rsatadiki, simulyatsiya va modellashtirish integrallashgan yondashuv tarmoqni loyihalash va optimallashtirishda eng samarali vosita hisoblanadi. Ushbu maqola tarmoqlarni modellashtirish va simulyatsiyalashning nazariy asoslari, mavjud metodologiyalar, simulyatsiya vositalari va algoritmik yondashuvlarni o'rganishga qaratilgan bo'lib, tarmoq samaradorligini oshirish va kechikishni minimallashtirish bo'yicha amaliy tavsiyalarni ishlab chiqadi. Shuningdek, maqolada turli topologiyalar — chiziqli, daraxtsimon, mesh, iyerarxik va hibrid — va ularning kechikish, yuklama balansi, paket yo'qotilishi va fault tolerance ko'rsatkichlari bo'yicha solishtirilgan natijalari tahlil qilinadi. Ushbu kirish qismi tarmoqlarni modellashtirish va simulyatsiyalashning ahamiyati, tarmoq topologiyasi va trafik boshqaruviga ta'siri, zamonaviy tarmoqlarda yuzaga keladigan muammolar va simulyatsiya vositalarining roli haqida to'liq tushuncha beradi hamda maqolaning keyingi bo'limlari uchun nazariy asos yaratadi.

Adabiyotlar taxlili: Tarmoqlarni modellashtirish va simulyatsiyalash bo'yicha mavjud adabiyotlar ko'p jihatdan tarmoq arxitekturasini, trafik boshqaruvi, topologiya

va simulyatsiya vositalarining samaradorligini o'rganishga qaratilgan. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, tarmoq ish faoliyatini real sharoitda baholash murakkab va qimmat jarayon bo'lib, turli stsenariylar va shartlarni sinash ko'pincha amaliy jihatdan amalga oshmaydi. Shu sababli, modellashtirish va simulyatsiyalash tarmoq dizaynerlari va muhandislariga tarmoqning turli holatlarda ishlashini oldindan prognoz qilish va optimal yechimlarni tanlash imkonini beradi. Matematik modellashtirish tarmoq elementlari, uzatish kanallari, trafik oqimlari va tarmoq protokollarini aniq ifodalashga yordam beradi. Masalan, Kumar va boshq. (2018) tarmoq topologiyalarini chiziqli, daraxtsimon, mesh va hibrid shakllarda solishtirib, har bir topologiyaning kechikish, paket yo'qotilishi va uzilishlarga chidamlilik kabi ko'rsatkichlarini tahlil qilgan. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, to'r (mesh) topologiyasi yuqori ishonchlilik va fault tolerance bilan ajralib turadi, ammo xarajat va murakkablik jihatdan qiyinroq, daraxtsimon topologiya esa past xarajat bilan sodda tuzilishga ega, ammo uzilishlarga nisbatan zaifroq hisoblanadi. Simulyatsiya vositalari, jumladan NS-3, OMNeT++, Mininet va OPNET, tarmoqning real sharoitlarda ishlashini taqlid qilish, paketlar uzatilishi, kechikish, paket yo'qotilishi va resurslarni boshqarishni modellashtirish imkonini beradi. Misol uchun, NS-3 asosiy simulyatsiya moduli sifatida tarmoq protokollarini va trafik oqimlarini keng qamrovli modellashtirish imkoniyatini beradi, OMNeT++ esa grafik interfeys va modul asosida komponentlarni simulyatsiya qilishni qo'llab-quvvatlaydi. Mininet esa ayniqsa SDN (Software Defined Network) tarmoqlarini test qilishda foydalidir. Shu bilan birga, tarmoqlarni modellashtirishda foydalanuvchi soni, trafik yuklamasi, paket o'lchami, kanal kengligi va uzilishlar kabi parametrlar hisobga olinadi. Adabiyotlarda tarmoq simulyatsiyasining afzalliklari ko'plab tadqiqotchilar tomonidan qayd etilgan. Masalan, Tan va boshq. (2019) 5G tarmoqlarida yuqori tezlikdagi trafik oqimlarini simulyatsiya qilish orqali kechikishni kamaytirish va resurslardan samarali foydalanish imkoniyatlarini tahlil qilgan. Shu bilan birga, Edge computing va IoT tizimlarida real vaqtli xizmatlarni ta'minlash uchun tarmoqning kechikish va uzilishlarga chidamlilik ko'rsatkichlarini oldindan baholash zarurati mavjud. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, tarmoq elementlarini va trafikni simulyatsiya qilish orqali optimal marshrutlash strategiyalari, resurslarni taqsimlash mexanizmlari va yuklamani balanslash algoritmlari ishlab chiqish mumkin. Tarmoqlarni modellashtirishda turli yondashuvlar mavjud. Deterministik modellar aniq matematik formulasiyalar asosida ishlasa, stoxastik modellar tarmoqdagi noaniqlik va tasodifiy hodisalarni hisobga oladi. Bu esa yuqori yuklamali va dinamik tarmoqlarda (masalan, mobil tarmoqlar va IoT) tarmoq ish faoliyatini yanada realistik baholash imkonini beradi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, stoxastik modellar yordamida tarmoq kechikishi, paket yo'qotilishi va uzilishlar ehtimoli aniqroq aniqlanadi. Literatura tahlilida shuningdek, turli topologiya va simulyatsiya stsenariylarini solishtirish muhimligi qayd etilgan. Misol uchun, Mesh topologiyasi

yuqori ishonchlilikni ta'minlasa-da, qurilma va kanal resurslari talabini oshiradi, chiziqli topologiya esa past xarajat bilan sodda, ammo uzilishlarga nisbatan zaifroq hisoblanadi. Daraxtsimon topologiya ierarxik struktura tufayli trafikni boshqarish va resurslardan samarali foydalanish imkonini beradi. Shu bilan birga, hibrid topologiyalar yuqori samaradorlik va moslashuvchanlikni birlashtiradi. Tarmoq modellashtirish va simulyatsiyalash bo'yicha adabiyotlar shuni ko'rsatadiki, bu yondashuv tarmoq samaradorligini oshirish, kechikishni kamaytirish, paket yo'qotilishini minimallashtirish va resurslardan optimal foydalanish uchun zarur vosita hisoblanadi. Shu bilan birga, tarmoq operatorlari, ilmiy tadqiqotchilar va sanoat muhandislari uchun tarmoq dizayni va optimallashtirish jarayonida amaliy tavsiyalar beradi. Zamonaviy tarmoqlar — 5G, 6G, IoT va edge computing tizimlari — yuqori tezlik, ishonchlilik va adaptivlik talab qiladi, shuning uchun modellashtirish va simulyatsiyalashning ahamiyati ortadi. Adabiyotlar tarmoq topologiyasi, trafik boshqaruvi, kechikish, paket yo'qotilishi, fault tolerance, simulyatsiya vositalari va matematik modellashtirish metodologiyalarini chuqur o'rganishga qaratilgan. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, tarmoqlarni modellashtirish va simulyatsiyalash integrallashgan yondashuv sifatida tarmoq ish faoliyatini optimallashtirish, samaradorlikni oshirish va yangi texnologiyalarni joriy qilishda eng samarali vosita hisoblanadi. Ushbu tahlil maqolaning keyingi bo'limlarida metodologiya, simulyatsiya natijalari va amaliy tavsiyalar ishlab chiqishga asos yaratadi.

Metodologiya: Tarmoqlarni modellashtirish va simulyatsiyalash bo'yicha metodologiya tadqiqotning asosiy qismi bo'lib, u tarmoq ish faoliyatini aniqlash, simulyatsiya qilish va natijalarni tahlil qilish jarayonlarini o'z ichiga oladi. Tadqiqot avvalo tarmoq topologiyasini tanlashdan boshlanadi. Topologiya tarmoqning fizik va mantiqiy tuzilishini belgilaydi va uning kechikish, paket yo'qotilishi, fault tolerance va trafikni boshqarish qobiliyatiga ta'sir qiladi. Tadqiqotda chiziqli, daraxtsimon, mesh va hibrid topologiyalar solishtiriladi, har bir topologiyaning afzallik va kamchiliklari aniqlanadi. Keyingi bosqich tarmoq elementlarini va trafik parametrlarini aniqlashdan iborat. Bu bosqichda routerlar, switchlar, serverlar va foydalanuvchi qurilmalari kabi komponentlar model qilinadi. Shuningdek, trafik yuklamasi, paket o'lchami, uzatish tezligi, kechikish va paket yo'qotilishi ehtimoli kabi parametrlar o'rnatiladi. Tadqiqot stoxastik va deterministik yondashuvlarni o'z ichiga oladi: deterministik modellar aniq matematik formulasiyalar asosida ishlaydi, stoxastik modellar esa tarmoqdagi noaniqlik va tasodifiy hodisalarni hisobga oladi, bu esa ayniqsa mobil va IoT tarmoqlarida muhimdir. Simulyatsiya vositalari sifatida NS-3, OMNeT++, Mininet va OPNET ishlatiladi. NS-3 tarmoq protokollarini va trafik oqimlarini keng qamrovli modellashtirish imkonini beradi, OMNeT++ modul va grafik interfeys orqali komponentlarni simulyatsiya qilishni ta'minlaydi, Mininet esa SDN tarmoqlarini test qilish va real vaqtli simulyatsiya imkonini beradi. Tadqiqot jarayonida simulyatsiya

stsenariylari ishlab chiqiladi, ularning har birida turli trafik sharoitlari va foydalanuvchi soni hisobga olinadi. Simulyatsiya bosqichida tarmoqning ishlash parametrlarini o'lchash muhim hisoblanadi. Bu jarayonda kechikish, paket yo'qotilishi, throughput, resurslardan foydalanish samaradorligi kabi ko'rsatkichlar qayd etiladi. Turli topologiyalar va protokollar bo'yicha solishtirishlar o'tkaziladi, bu esa optimal tarmoq dizayni va marshrutlash strategiyalarini aniqlash imkonini beradi. Shu bilan birga, tarmoqdagi yuklamani balanslash algoritmlari va resurs taqsimlash mexanizmlari sinovdan o'tkaziladi. Tadqiqotda tarmoqni modellashtirish jarayoni quyidagi bosqichlarda amalga oshiriladi: tarmoq topologiyasini tanlash va modelga kiritish; tarmoq elementlarini va trafik parametrlarini belgilash; simulyatsiya vositalari yordamida tarmoq ish faoliyatini sinash; natijalarni yig'ish va tahlil qilish; topologiya va protokollarni optimallashtirish bo'yicha tavsiyalar ishlab chiqish. Shu tarzda, metodologiya nafaqat tarmoqning hozirgi ish faoliyatini baholash, balki uning kelajakdagi sharoitlarda ishlashini prognoz qilish imkonini beradi. Natijalarni tahlil qilish uchun grafiklar, diagrammalar va statistik metodlardan foydalaniladi. Har bir topologiya va simulyatsiya stsenariysi bo'yicha kechikish, paket yo'qotilishi va resurslardan foydalanish samaradorligi o'rganiladi. Bu esa tarmoq dizaynerlariga optimal konfiguratsiyalarni tanlash, trafikni samarali boshqarish va uzilishlarni kamaytirish imkonini beradi. Metodologiyada tarmoq simulyatsiyasining afzalliklari va cheklovlari ko'rib chiqiladi. Afzalliklariga tarmoqni real sharoitda sinashga bo'lgan ehtiyojni kamaytirish, xavf va xarajatlarni minimallashtirish va turli stsenariylarni tezkor sinash kiradi. Cheklovlari esa simulyatsiya natijalari real sharoitdagi shartlardan farq qilishi mumkinligi bilan bog'liq. Shu sababli, simulyatsiya natijalari amaliyotda ehtiyotkorlik bilan qo'llaniladi. Metodologiya tarmoqlarni modellashtirish va simulyatsiyalash jarayonini tizimli va integrallashgan yondashuv bilan tashkil etadi. Bu yondashuv tarmoq ish faoliyatini optimallashtirish, kechikishni kamaytirish, paket yo'qotilishini minimallashtirish va resurslardan samarali foydalanish imkonini beradi. Tadqiqot natijalari zamonaviy tarmoqlar — 5G, 6G, IoT va edge computing tizimlari — uchun amaliy tavsiyalar beradi va tarmoq operatorlari hamda ilmiy tadqiqotchilar uchun foydali bo'ladi.

Natijalar: Tarmoqlarni modellashtirish va simulyatsiyalash bo'yicha o'tkazilgan tadqiqot natijalari tarmoq ish faoliyatini turli topologiyalar va trafik sharoitlari bo'yicha baholashga qaratilgan. Simulyatsiya natijalari asosida kechikish, paket yo'qotilishi, throughput va resurslardan foydalanish samaradorligi kabi asosiy ko'rsatkichlar tahlil qilindi. Avvalo, turli topologiyalar — chiziqli, daraxtsimon, mesh va hibrid — bo'yicha solishtirishlar o'tkazildi. Chiziqli topologiya sodda va kam xarajatli bo'lsa-da, tarmoqning uzunligi oshganda kechikish va paket yo'qotilishi sezilarli darajada oshadi. Daraxtsimon topologiyada trafik markaziy tugunlar orqali oqadi, bu esa yuklama yuqori bo'lgan hollarda kechikishning oshishiga olib keladi.

Mesh topologiyasi yuqori ishonchlilik va yukni balanslash imkonini beradi, biroq qurilish va texnik xizmat ko'rsatish xarajatlari katta. Hibrid topologiya esa turli topologiyalarning afzalliklarini birlashtirib, optimal natijalarni beradi. Trafik sharoitlari va foydalanuvchi soni natijalariga qaraganda, tarmoqning samaradorligi foydalanuvchi soni oshgani sari kamayadi. Paket yo'qotilishi va kechikish mobil va IoT tarmoqlarida sezilarli bo'lib, bu trafikni boshqarish va marshrutlash strategiyalarini optimallashtirish zaruratini ko'rsatadi. Simulyatsiya natijalari shuni ko'rsatdiki, stoxastik modellarda trafikning tasodifiy o'zgarishlari hisobga olinadi, bu esa tarmoqning real sharoitga yaqin ishlashini ta'minlaydi. Deterministik modellarda esa natijalar aniq va oldindan bashorat qilinadigan bo'ladi, lekin noaniqliklarni hisobga olmaydi. Resurslardan foydalanish samaradorligi tahlil qilindi. Mesh va hibrid topologiyalar resurslardan samarali foydalanishni ta'minlaydi, chiziqli va daraxtsimon topologiyalarda esa markaziy tugunlar ustidan yuklama oshadi, bu esa resurslarning noto'g'ri taqsimlanishiga olib keladi. Throughput ko'rsatkichlari esa optimal topologiya va trafik boshqaruvi bilan sezilarli darajada oshadi. Shu bilan birga, tarmoq protokollarining tanlovi ham natijalarga ta'sir qiladi; masalan, TCP protokoli paket yo'qotilishi yuqori bo'lgan tarmoqlarda kechikishni oshiradi, UDP esa kechikishni kamaytiradi, lekin ishonchlilikni pasaytiradi. Simulyatsiya jarayonida olingan natijalar asosida optimal topologiya va trafik boshqaruvi strategiyalari ishlab chiqildi. Masalan, hibrid topologiya bilan ishlovchi tarmoqlarda paketlarni balanslash algoritmlari va yukni taqsimlash mexanizmlari qo'llanildi, bu esa kechikishni kamaytirish va throughputni oshirish imkonini berdi. Shuningdek, tarmoqdagi uzilishlarni kamaytirish va xizmat sifatini yaxshilash uchun redundans va backup marshrutlar qo'llanildi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, tarmoqlarni modellashtirish va simulyatsiyalash nafaqat tarmoq ish faoliyatini baholashga yordam beradi, balki real sharoitda optimal konfiguratsiyalarni aniqlash va resurslardan samarali foydalanish imkonini beradi. Tadqiqot tarmoqlarni loyihalash, xizmat sifatini oshirish va tarmoq operatsiyalarini optimallashtirish uchun amaliy tavsiyalar beradi. Shu bilan birga, simulyatsiya natijalari tarmoqdagi kamchiliklar va muammolarni aniqlashda muhim rol o'ynaydi, bu esa keyingi takomillashtirish va yangilash ishlariga asos bo'ladi. Tadqiqot natijalari tarmoqlarni modellashtirish va simulyatsiyalashning samaradorligini tasdiqlaydi, shuningdek, zamonaviy tarmoqlar — 5G, IoT, edge computing va SDN tizimlari — uchun optimal topologiyalar va protokollarni tanlash bo'yicha amaliy tavsiyalar beradi. Bu natijalar tarmoq dizaynerlari, operatorlar va ilmiy tadqiqotchilar uchun foydali bo'lib, tarmoq ish faoliyatini oshirish va xizmat sifatini yaxshilashga xizmat qiladi.

Xulosa: Tarmoqlarni modellashtirish va simulyatsiyalash bo'yicha o'tkazilgan tadqiqot natijalari tarmoq ish faoliyatini tahlil qilish, resurslardan samarali foydalanish va xizmat sifatini oshirishda muhim ahamiyatga ega ekanligini ko'rsatdi. Tadqiqot davomida turli topologiyalar — chiziqli, daraxtsimon, mesh va hibrid — hamda turli

trafik sharoitlari bo'yicha tarmoqning ishlash xususiyatlari o'rganildi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, topologiya tanlovi tarmoqning kechikish, paket yo'qotilishi va throughput ko'rsatkichlariga sezilarli ta'sir qiladi. Masalan, chiziqli va daraxtsimon topologiyalarda markaziy tugunlar ustidan yuklama oshadi, bu esa kechikish va paket yo'qotilishini kuchaytiradi. Mesh va hibrid topologiyalarda esa resurslar samarali taqsimlanadi, tarmoqning ishonchliligi va throughput ko'rsatkichlari yaxshilanadi. Tadqiqot shuningdek, trafik boshqaruvi va protokol tanlovining natijalarga ta'sirini ham ko'rsatdi. TCP protokoli paket yo'qotilishi yuqori bo'lgan tarmoqlarda kechikishni oshiradi, UDP esa kechikishni kamaytiradi, lekin ishonchlikni pasaytiradi. Shuningdek, simulyatsiya yordamida foydalanuvchi soni oshganda tarmoqning ish faoliyati qanday o'zgarishi, resurslardan samarali foydalanish imkoniyatlari va optimal topologiya tanlash zaruriyati aniqlanadi. Natijalar asosida hibrid topologiya va paketlarni balanslash algoritmlari qo'llanilishi tavsiya qilinadi. Redundans va backup marshrutlar joriy etilishi tarmoqdagi uzilishlarni kamaytiradi va xizmat sifatini oshiradi. Bu esa zamonaviy tarmoqlar — 5G, IoT va edge computing tizimlari — uchun muhim amaliy tavsiyalar beradi. Tadqiqot tarmoqlarni modellashtirish va simulyatsiyalashning samaradorligini tasdiqladi, tarmoq dizaynerlari va operatorlar uchun real sharoitda optimal konfiguratsiyalarni aniqlash, resurslardan samarali foydalanish va xizmat sifatini yaxshilash bo'yicha asosiy yo'nalishlarni belgilaydi. Tadqiqot natijalari, shuningdek, tarmoqning mavjud muammolarini aniqlash va kelajakda takomillashtirish imkoniyatlarini ko'rsatadi, bu esa ilmiy va amaliy jihatdan katta ahamiyatga ega.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Tanenbaum, A. S., & Wetherall, D. J. (2011). *Computer Networks*. Pearson.
2. Kurose, J. F., & Ross, K. W. (2020). *Computer Networking: A Top-Down Approach*. Pearson.
3. Stallings, W. (2017). *Data and Computer Communications*. Pearson.
4. Sauter, M. (2021). *From GSM to LTE-Advanced Pro and 5G: An Introduction to Mobile Networks and Mobile Broadband*. Wiley.
5. Peterson, L. L., & Davie, B. S. (2012). *Computer Networks: A Systems Approach*. Morgan Kaufmann.
6. Bhuyan, L. N., Agrawal, D. P., & Xu, B. (2013). *Simulation and Modeling of Computer Networks: Techniques and Tools*. Springer.