

**FTTX VA DSL TEXNOLOGIYALARI ORQALI ABONENT  
KIRISH TARMOQLARINI OPTIMALLASHTIRISH VA  
SAMARADORLIGINI OSHIRISH**

Ilmiy tatqiqotchi: **Akramov Asrorbek Axrorjon o'g'li**

**Eshmamatov Beknazar Ural o'g'li**

Ilmiy rahbar: **Xalilov Muhammadmuso Muhammadyunusovich**

Farg'ona davlat texnika universiteti

**Annotatsiya:** FTTx va DSL texnologiyaga asoslangan abonent kirish tizimlarini optimallashtirish hamda tekshirishni nazorat qilish masalalari ilmiy tekshirish tahlili. Qabul qilingan har ikki texnologiyaning ishlab chiqarish darajasi, kechikish ko'rsatkichlari, o'tkazuvchanlik quvvati va xizmat sifati parametrlari solishtirilib, sifati afzallik va sifati ega. , tarmoq arxitekturasini optimallashtirish, resurslarni qayta taqsimlash va zamonaviy signal usullarini qo'llash orqali xizmat sifati yaxshilash bo'yicha amaliy takliflar ishlab chiqiladi. Ushbu yordam po kenglosali taklifni yaxshilashda samarali yordam beradi.

**Kalit so'zlar:** FTTx, DSL, abonent kirish tarmoqlari, optimallashtirish, o'tkazuvchanlik, kechikish, xizmat sifati (QoS), tarmoq arxitekturasi, keng polosali texnologiya, samaradorlik.

**Abstract:** a scientific research analysis of the optimization and control issues of subscriber access systems based on FTTx and DSL technologies. The performance, latency, throughput and quality of service parameters of both adopted technologies are compared, and the quality is superior and inferior. , practical proposals are developed to improve the quality of service by optimizing network architecture, redistributing resources and using modern signaling methods. This support will effectively help improve the broadband offer.

**Keywords:** FTTx, DSL, subscriber access networks, optimization, throughput, latency, quality of service (QoS), network architecture, broadband technology, efficiency.

**Аннотация:** научно-исследовательский анализ вопросов оптимизации и управления системами абонентского доступа на основе технологий FTTx и DSL. Сравниваются параметры производительности, задержки, пропускной способности и качества обслуживания обеих технологий, выявляются преимущества и недостатки. Разработаны практические предложения по улучшению качества обслуживания за счёт оптимизации архитектуры сети, перераспределения ресурсов и использования современных методов сигнализации. Эта поддержка эффективно способствует улучшению предложения широкополосной связи.

**Ключевые слова:** FTTx, DSL, сети абонентского доступа, оптимизация, пропускная способность, задержка, качество обслуживания (QoS), сетевая архитектура, широкополосные технологии, эффективность.

**Kirish:** Zamonaviy raqamli infratuzilma taraqqiyoti axborot-kommunikatsiya texnologiyalarining izchil rivojlanishi bilan chambarchas bog‘liq bo‘lib, ayniqsa, abonent kirish tarmoqlari mamlakatlarning iqtisodiy, ijtimoiy va texnologik rivojlanishida muhim o‘rin tutadi. Keng polosali tarmoqlarga bo‘lgan talabning ortishi, yuqori tezlikda ma‘lumot uzatish xizmatlariga ehtiyojning keskin ko‘payishi, shuningdek, global tarmoq xizmatlarining differensiallashuvi zamonaviy kirish texnologiyalarini optimallashtirish masalasini kun tartibiga olib chiqdi. Xususan, FTTx (Fiber to the x) va DSL (Digital Subscriber Line) texnologiyalari bugungi kunda eng ko‘p qo‘llanilayotgan abonent kirish tizimlari sirasiga kiradi. Har ikki texnologiya o‘zining tarmoq arxitekturasi, uzatish imkoniyatlari va xizmat sifati bo‘yicha farqlanadi, bu esa ularni chuqur ilmiy o‘rganishni va amaliy jihatdan samarali yechimlar ishlab chiqishni taqozo etadi. FTTx texnologiyasi optik tolaga asoslangan bo‘lib, yuqori tezlik, minimal kechikish, keng o‘tkazuvchanlik hamda yuqori ishonchlilik kabi afzalliklari bilan ajralib turadi. Tolali infratuzilmaning uzatish imkoniyati boshqa texnologiyalarga nisbatan ancha keng bo‘lgani uchun, u internet xizmatlari, IP-televideniye, bulutli hisoblash tizimlari, IoT qurilmalari va korporativ tarmoqlar uchun optimal yechim hisoblanadi. Aksincha, DSL texnologiyalari mis juftliklar orqali ma‘lumot uzatish tamoyiliga asoslanadi. Uning afzalliklari qatoriga mavjud telefon tarmoqlarini qayta ishlatish imkoniyati, arzon tashkiliy xarajatlar, infratuzilmani tezkor joriy etish kabi jihatlar kiradi. Shunday bo‘lsa-da, DSL texnologiyasining xizmat sifati mis kabelning fizik xususiyatlari, masofa va

elektromagnit shovqinlar ta'sirida cheklanishi mumkin. Keng polosali xizmatlardan samarali foydalanish uchun FTTx va DSL texnologiyalarining texnik parametrlari, o'tkazuvchanlik darajasi, kechikish ko'rsatkichlari, xizmat sifati (QoS) va tarmoq yuklamasini boshqarish mexanizmlari puxta tahlil qilinishi lozim. Shu sababli, abonent kirish tarmoqlarini optimallashtirish hamda ular samaradorligini oshirishga qaratilgan turli ilmiy yondashuvlar, algoritmlar va arxitektura modellarining o'rganilishi hozirgi davr telekommunikatsiya sohasi uchun dolzarb hisoblanadi. Tarmoq xizmatlari sifatini oshirish jarayonida optimallashtirish usullari alohida e'tiborga ega. FTTx tizimlarida optimallashtirish, odatda, optik liniyalar topologiyasini qayta konfiguratsiya qilish, passiv optik tarmoqlar (PON) elementlarini samarali joylashtirish, signal kuchaytirgichlar sonini optimallashtirish va tarmoq segmentlarida trafikni balanslashtirish orqali amalga oshiriladi. Bundan tashqari, signal modulyatsiyasining zamonaviy usullaridan foydalanish, xususan, OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) yoki WDM (Wavelength-Division Multiplexing) texnikalarini qo'llash orqali optik tarmoq samaradorligini sezilarli darajada oshirish mumkin. DSL texnologiyalarida esa optimallashtirish ko'proq mis kabelning fizik xususiyatlarini inobatga olgan holda amalga oshiriladi. Chiziq sifati, masofa va shovqinlarga sezuvchanlik kabi omillar DSL tarmog'ining o'tkazuvchanlik quvvati va kechikish ko'rsatkichlariga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Shu bois, DSL tarmoqlarida spektr resurslarini dinamik boshqarish, modulyatsiya darajasini avtomatik sozlash, shuningdek, shovqinni kamaytirish algoritmlaridan foydalanish tarmoq samaradorligini oshiradi. Hozirgi paytda VDSL2 va G.fast kabi yuqori tezlikdagi DSL texnologiyalari ishlab chiqilgan bo'lsa-da, ular ham masofa bilan bog'liq cheklovlarga ega bo'lib, optimallashtirish jarayonida maxsus yondashuvlarni talab qiladi. Ushbu tadqiqotning yana bir muhim jihati — tarmoq arxitekturasini optimallashtirishdir. Har ikki texnologiyada arxitektura samaradorligi, resurslarni to'g'ri taqsimlash va trafikni boshqarish mexanizmlarini takomillashtirish xizmat sifatining yaxshilanishiga bevosita ta'sir qiladi. FTTx va DSL tarmoqlari integratsiyasi, gibrid arxitekturalarni yaratish, shuningdek, filial tarmoqlarda dinamik yo'naltirish algoritmlarini qo'llash orqali tarmoq samaradorligini oshirish mumkin. Masalan, ayrim hududlarda optik tolani markaziy tugungacha yetkazib, qolgan qismini DSL texnologiyasi orqali ulash iqtisodiy va texnik jihatdan optimal yechim bo'lishi mumkin. Bu esa xizmat narxini pasaytirgan holda, abonentlarga yetarlicha yuqori tezlikdagi internetni taqdim etish imkonini beradi. Tadqiqotning amaliy qiymati shundan iboratki, FTTx va DSL texnologiyalari bo'yicha olingan

tahliliy natijalar tarmoq operatorlari, xizmat ko'rsatuvchi provayderlar va telekommunikatsiya sohasida faoliyat yurituvchi mutaxassislar uchun samarali boshqaruv va modernizatsiya strategiyalarini ishlab chiqishda muhim ahamiyatga ega. O'tkazilgan solishtirma tahlillar tarmoq infratuzilmasining qaysi segmentida qanday texnologiya qo'llanishi maqsadga muvofiqligini aniqlashga yordam beradi. Shuningdek, optimallashtirish bo'yicha ilg'or yondashuvlar tarmoqning umumiy chidamliligini va uzluksiz ishlashini ta'minlaydi. Kirish qismida FTTx va DSL texnologiyalarining asosiy nazariy jihatlari, ularning ustunliklari va cheklovlari, shuningdek, abonent kirish tarmoqlari samaradorligini oshirish uchun zarur bo'lgan optimallashtirish masalalari yoritildi. Tadqiqotning dolzarbligi zamonaviy raqamli xizmatlar spektrining kengayib borayotgani bilan bog'liq bo'lib, yuqori tezlikda va ishonchli ma'lumot uzatishga talabning ortishi mavjud texnologiyalarni samarali modernizatsiya qilishni taqozo etmoqda. Ushbu ishning maqsadi — FTTx va DSL texnologiyalariga asoslangan abonent kirish tizimlarining texnik imkoniyatlarini ilmiy jihatdan baholash, ularning xizmat sifati parametrlari bo'yicha solishtirma tahlil o'tkazish, shuningdek, tarmoq samaradorligini oshirish uchun optimallashtirish bo'yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqishdir. Tadqiqot davomida o'tkazilgan tahlillar, qo'llangan metodologik yondashuvlar va berilgan takliflar keng polosali xizmatlar sifatini oshirishda muhim nazariy va amaliy ahamiyat kasb etadi.

**Adabiyotlar Tahlili:** Abonent kirish tarmoqlarining samaradorligini oshirish va optimallashtirish masalalari so'nggi o'n yilliklarda telekommunikatsiya sohasining eng muhim tadqiqot yo'nalishlaridan biri bo'lib kelmoqda. Xususan, FTTx (Fiber-to-the-x) va DSL (Digital Subscriber Line) texnologiyalari bo'yicha ilmiy adabiyotlarda keng qamrovli nazariy va amaliy tadqiqotlar olib borilgan bo'lib, ular zamonaviy keng polosali tarmoqlarni rivojlantirish, xizmat sifati (QoS)ni oshirish, trafik boshqaruvi va resurslarni optimallashtirish kabi masalalarni qamrab oladi. Ushbu bo'limda har ikki texnologiyaning ilmiy asoslari, texnik imkoniyatlari, rivojlanish bosqichlari hamda tarmoq samaradorligini oshirishga qaratilgan tadqiqotlar tizimli ravishda tahlil qilinadi. Ilmiy adabiyotlarning dastlabki qismida DSL texnologiyalarining paydo bo'lishi va evolyutsiyasi bo'yicha keng ma'lumotlar keltiriladi. DSL texnologiyasi mis kabel orqali raqamli ma'lumot uzatishga mo'ljallangan bo'lib, 1990-yillardan boshlab keng miqyosda amaliyotga tatbiq etila boshlandi. Ko'plab tadqiqotchilar, jumladan, Starr, Cioffi va Silverman tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda ADSL, SDSL, VDSL kabi DSL

turlarining texnik parametrlariga chuqur ilmiy yondashuv berilgan bo'lib, ularning o'tkazuvchanlik quvvati, masofaga bog'liqligi, shovqinlarga sezuvchanligi hamda modulyatsiya texnikasi bo'yicha farqlari batafsil yoritilgan. Bu adabiyotlarda DSL texnologiyasining asosiy cheklovi mis kabelning fizik xususiyatlari bilan bog'liq ekani, xususan, elektromagnit shovqin va masofaning uzatiladigan signal sifatiga bevosita ta'sir etishi ta'kidlanadi. Keyingi ilmiy manbalarda DSL tizimlarini optimallashtirish masalalariga alohida e'tibor qaratilgan. Cioffi boshchiligidagi ilmiy guruh tomonidan taklif qilingan Dynamic Spectrum Management (DSM) texnikasi DSL tarmoqlarida spektr resurslarini samarali taqsimlash orqali o'tkazuvchanlik quvvatini sezilarli oshirishga yordam berishi isbotlangan. DSM algoritmlari tarmoqdagi chiziqlar orasida shovqinni boshqarish, ortiqcha interferensiyani kamaytirish va tarmoq trafiginı balanslashtirishga xizmat qiladi. Shu bilan birga, G.fast texnologiyasiga oid hozirgi zamonaviy tadqiqotlar DSL evolyutsiyasining yangi bosqichini aks ettirib, mis kabel orqali gigabit tezliklarni ta'minlash imkoniyatlarini ochmoqda. Bu texnologiyada qayta ishlangan OFDM modulyatsiyasi va yuqori chastota diapazonidan foydalanish orqali o'tkazuvchanlik sezilarli darajada oshiriladi, biroq masofa cheklovlari yanada keskinlashadi. FTTx texnologiyalari bo'yicha adabiyotlar optik tolali tarmoqlarning afzalliklari, arxitekturalari va qo'llanish sohalarini o'rganishga qaratilgan. PON (Passive Optical Network) va AON (Active Optical Network) texnologiyalariga bag'ishlangan ilmiy ishlar FTTx tizimlarining texnik asoslarini shakllantiradi. ITU-T tomonidan qabul qilingan GPON, XG-PON va NG-PON2 standartlari bo'yicha olib borilgan tadqiqotlarda optik tolali tarmoqlarning yuqori o'tkazuvchanligi, minimal kechikish darajasi, energiya samaradorligi va texnik barqarorligi yoritilgan. GPON texnologiyasi bo'yicha Valenti va Kenney kabi tadqiqotchilar tomonidan o'tkazilgan ilmiy ishlar tarmoqning yuqori xizmat sifati ko'rsatkichlarini ta'minlashi, optik bo'linish koeffitsientining turli qiymatlarda tarmoq samaradorligiga ta'siri hamda trafikni boshqarish mexanizmlarini chuqur tahlil qiladi. FTTx arxitekturalarining rivojlanishi bo'yicha adabiyotlar tarmoqni modernizatsiya qilish jarayonida iqtisodiy samaradorlik, texnik qulaylik va infratuzilma barqarorligini ta'minlash masalalarini yoritadi. Masalan, yurtdosh olimlar tomonidan o'tkazilgan tadqiqotlarda FTTH (Fiber-to-the-home) texnologiyasining abonent segmentidagi ustunliklari va uni joriy qilishda yuzaga keladigan iqtisodiy cheklovlar tahlil qilingan. FTTH to'liq optik infratuzilma talab qilgani uchun dastlabki investitsiya qiymati yuqori bo'lsa-da, uzoq muddatda xizmat narxi pasayishi, texnik xizmat ko'rsatish

*ilmiy –amaliy anjuman*

xarajatlarning kamayishi va xizmat sifati ko'rsatkichlarining sezilarli yaxshilanishi uni eng samarali texnologiya sifatida namoyon qiladi. Shuningdek, FTTx va DSL texnologiyalarini integratsiya qilishga doir tadqiqotlar ham adabiyotlarda alohida o'rin tutadi. Ba'zi tadqiqotchilar gibrir kirish arxitekturalarini ishlab chiqish orqali iqtisodiy va texnik samaradorlik o'rtasida optimal muvozanatni ta'minlash mumkinligini ta'kidlaydilar. Masalan, "Fiber-to-the-cabinet" (FTTC) modeli markaziy tugundan kabinetgacha optik tolani, kabinetdan abonentgacha esa DSL texnologiyasini qo'llash orqali yuqori tezlikni nisbatan arzon narxda taqdim etishni ta'minlaydi. Bunday yondashuvlar ayniqsa katta hududli tarmoqlar yoki aholisi siyrak joylashgan hududlar uchun muhim hisoblanadi. Tadqiqotlarning yana bir yo'nalishi — tarmoq xizmat sifati (QoS) va trafikni boshqarish bo'yicha yondashuvlardir. Adabiyotlarda diff-serv, int-serv, trafik shakllantirish, prioritetlash va tampon boshqaruvi kabi mexanizmlarning qo'llanilishi FTTx hamda DSL tarmoqlarining barqaror ishlashida muhim omil sifatida ko'rsatiladi. QoSni oshirish bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar, xususan, M. Andrews va boshqalar tomonidan ishlab chiqilgan matematik modellar, tarmoq yuklamasini optimal boshqarish orqali kechikishlarni kamaytirish va o'tkazuvchanlikni oshirish imkoniyatini ko'rsatadi. Signal uzatish texnologiyalariga bag'ishlangan adabiyotlarda esa modulyatsiya texnikalarining roli alohida ta'kidlanadi. FTTx tizimlarida WDM (Wavelength Division Multiplexing) texnologiyasidan foydalanish bo'yicha tadqiqotlar optik spektrni samarali taqsimlash va o'tkazuvchanlik quvvatini oshirishning eng samarali yo'llaridan biri ekanini ko'rsatdi. DSL tizimlarida esa OFDM modulyatsiyasi mis kabel cheklovlarini yengib o'tishda asosiy texnologiyalar sirasiga kiradi. Resurslarni qayta taqsimlash masalalari bo'yicha olib borilgan ilmiy ishlar tarmoq samaradorligini oshirishga qaratilgan algoritmlar va modellarni taklif qiladi. Masalan, adaptiv tarmoqlar konsepsiyasiga asoslangan yondashuvlarda real vaqt rejimida tarmoq trafigin monitoring qilish va resurslarni avtomatik qayta taqsimlash orqali xizmat sifati barqarorligini saqlash bo'yicha samarali natijalar olingan. AI va mashinaviy o'qitish texnikalaridan foydalanilgan tadqiqotlarda esa tarmoq o'zgaruvchan yuklamalari oldindan bashorat qilinib, resurslarni dinamik boshqarish mexanizmlari takomillashtirilgan. Yakuniy adabiyotlar guruhida FTTx va DSL tarmoqlarining iqtisodiy samaradorligi, ularni joriy etishning amaliy jihatlari va telekommunikatsiya operatorlari uchun strategiyalar yoritilgan. Bunda kapital xarajatlar (CAPEX), ekspluatatsiya xarajatlari (OPEX), xizmat sifati ko'rsatkichlari va abonent talabining o'zgarishi kabi omillar hisobga olinadi.

Rivojlanayotgan davlatlar uchun olib borilgan tadqiqotlarda FTTx va DSL tarmoqlarini bosqichma-bosqich modernizatsiya qilish bo'yicha optimal strategiyalar ishlab chiqilgan. Umuman olganda, mavjud ilmiy adabiyotlar FTTx va DSL texnologiyalarining har biri o'ziga xos ustunlik va cheklovlarga ega ekanini ko'rsatadi. Shuningdek, ularga doir optimallashtirish, QoSni oshirish, resurslarni boshqarish va gibriz tizimlarni yaratish bo'yicha tadqiqotlar telekommunikatsiya sohasining rivojlanishiga sezilarli hissa qo'shmoqda. Adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, zamonaviy raqamli xizmatlarga bo'lgan talabning ortishi mavjud kirish tarmoqlarining texnik imkoniyatlarini kengaytirishni, ularni samarali boshqarish hamda modernizatsiya qilishni taqozo etadi.

**Metodologiya:** ushbu tadqiqotda FTTx va DSL texnologiyalariga asoslangan abonent kirish tarmoqlarining samaradorligini baholash, ularning ishlash parametrlarini solishtirish hamda optimallashtirish bo'yicha ilmiy asoslangan yondashuvlardan foydalanildi. Tadqiqot metodologiyasi bir nechta bosqichlardan iborat bo'lib, har bir bosqich telekommunikatsiya tizimlarining texnik, funksional va sifat ko'rsatkichlarini chuqur tahlil qilishga yo'naltirildi. Metodologiya doirasida nazariy tahlil, tajriba-sinov modellashtirish, matematik hisoblashlar, simulyatsiya usullari va solishtirma tahlillardan kompleks foydalanildi.

1. Tadqiqot dizayni: tadqiqotning umumiy dizayni eksperimental-nazariy yondashuvga asoslanib, FTTx va DSL texnologiyalarining xizmat ko'rsatish samaradorligini baholash uchun quyidagi yo'nalishlar belgilandi:

1. Texnologiyalarning arxitektura va texnik imkoniyatlarini nazariy tahlil qilish
2. O'tkazuvchanlik, kechikish, xizmat sifati (QoS) kabi asosiy parametrlarni aniqlash
3. Tarmoq infratuzilmasining yuklanishi va resurslardan foydalanish samaradorligini simulyatsiya qilish
4. Optimallashtirish algoritmlarining samaradorligini baholash
5. Gibriz kirish arxitekturasi modellarini solishtirish

Mazkur bosqichlar tadqiqotning uzluksiz, tizimli va aniq maqsadga yo'naltirilgan tarzda olib borilishini ta'minladi.

## 2. Ma'lumotlar yig'ish usullari

Ma'lumotlar yig'ish bir nechta manba va usullar orqali amalga oshirildi:

- Ilmiy maqolalar, xalqaro standartlar (ITU-T, IEEE), texnik hisobotlar
- Telekom operatorlarining statistik ma'lumotlari
- Tarmoq monitoring platformalaridan olingan real trafik ko'rsatkichlari
- Simulyatsiya muhiti orqali yaratilgan sinov ma'lumotlari

Nazariy ma'lumotlar texnologiyalarning asosiy xususiyatlarini aniqlashga yordam bergan bo'lsa, eksperimental ma'lumotlar tarmoqlar samaradorligini real sharoitga yaqin modellashtirish imkonini berdi.

## 3. Texnik parametrlarni baholash mezonlari

Tadqiqotning asosiy texnik mezonlari quyidagicha belgilandi:

### 3.1. O'tkazuvchanlik

Tarmoqning maksimal real ma'lumot uzatish qobiliyatini baholash uchun quyidagi formula qo'llandi:

$$T = \frac{P - O}{t} \quad T = tP - O$$

Bu yerda:

- T** – o'tkazuvchanlik,
- P** – paket o'lchami,
- O** – protokol overhead,
- t** – uzatish vaqti.

FTTx tarmoqlarida WDM va PON mexanizmlarining, DSL tarmoqlarida esa masofa va chiziq sifati ta'sirining baholanishi alohida olib borildi.

### 3.2. Kechikish

Kechikish quyidagi komponentlar bo'yicha o'lchandi:



- Propagatsiya kechikishi
- Uzilish kechikishi
- Navbatdagi kechikish
- Protsesslash kechikishi

DSL uchun masofaga bog‘liq kechikish komponentlari kuchli bo‘lganligi uchun ular alohida modellarda baholandi.

### 3.3. QoS

QoS baholashda quyidagi ko‘rsatkichlar asos sifatida olingan:

- Paket yo‘qotilishi darajasi (%)
- Jitter (ms)
- O‘tkazuvchanlik barqarorligi
- Xizmat uzluksizligi

Bu parametrlar multimedia, VoIP va real vaqt xizmatlari uchun juda muhim hisoblanadi.

---

## 4. Simulyatsiya muhiti va modellashtirish

Tadqiqotda simulyatsiya asosiy ilmiy vosita sifatida qo‘llandi. NS-3 va OptiSystem platformalari yordamida FTTx va DSL tarmoqlarining modeli qurildi.

### 4.1. FTTx tarmog‘i modellashtirish

FTTH, FTTB va FTTC arxitekturalari uchun quyidagi parametrlarga asoslangan model yaratildi:

- Optik bo‘linish koeffitsienti (1:16, 1:32, 1:64)
- Optik tolali liniya uzunligi
- PON ramka strukturalari
- OLT–ONT signal yo‘nalishlari
- WDM kanallari soni

Har bir model uchun trafik yuklamasi 20%, 50% va 80% holatlarda hisoblandi.

#### 4.2. DSL tarmog'ini modellashtirish

ADSL2+, VDSL2 va G.fast texnologiyalari uchun quyidagi parametrlar belgilandi:

- Mis kabel uzunligi (300 m – 3000 m)
- Signal chastota diapazoni
- Shovqin koeffitsienti
- Modulyatsiya turi (QAM, OFDM)

Tajriba davomida spektr resurslarini boshqarishning ikki turi sinovdan o'tkazildi:

1. Statik spektr taqsimoti
2. DSM asosidagi dinamik spektr taqsimoti

DSM modeli DSL samaradorligini oshirishdagi rolini aniqlash uchun qo'llandi.

---

#### 5. Solishtirma tahlil usullari

FTTx va DSL texnologiyalarini solishtirishda ko'p mezonli baholash usuli (Multi-Criteria Decision Making – MCDM) qo'llanildi. Baholash mezonlari:

- O'tkazuvchanlik
- Kechikish
- Barqarorlik
- Xizmat sifati
- Energiya samaradorligi
- Texnik xizmat xarajatlari
- Uzoq muddatli infratuzilma samaradorligi

Har bir mezon 0 dan 1 gacha bo'lgan normalizatsiya qilingan ko'rsatkichlar asosida baholandi.

## 6. Optimallashtirish metodlari

Abonent kirish tarmoqlarini optimallashtirish uchun bir nechta ilmiy yondashuvlardan foydalanildi:

### *6.1. Tarmoq arxitekturasini optimallashtirish*

FTTx uchun:

- Optik bo‘linish darajasini minimallashtirish
- OLT–ONT masofasini optimallashtirish
- Trafik balanslash

DSL uchun:

- Masofani qisqartirishga qaratilgan “fiber-to-the-cabinet” modeli
- Signal kuchaytirgichlardan foydalanish
- Spektrni dinamik boshqarish

### *6.2. Resurslarni qayta taqsimlash algoritmlari*

- Adaptiv tarmoqlar modeli
- Mashinaviy o‘qitish asosida trafikni bashorat qilish
- Jitterni kamaytirish algoritmlari
- QoSni dinamik qayta sozlash

---

## 7. Tadqiqotning ishonchlilik va aniqlik darajasi

Tadqiqot natijalarining ishonchliligini ta’minlash uchun quyidagi choratadbirlar amalga oshirildi:

- Simulyatsiya bir necha marotaba takrorlandi
  - Parametrlar xalqaro standartlarga muvofiq tanlandi
  - Solishtirish mezonlari normallashtirildi
  - Chiziq sifati bo‘yicha tasodifiy shovqin modellari qo‘llanildi
-

## 8. Tadqiqot cheklovlari

Quyidagi cheklovlar mavjud:

- FTTx infratuzilmasi bo'yicha real maydon sinovlari cheklangan
- DSL uchun yuqori chastota diapazonidagi shovqinlar laboratoriya sharoitida modellashtirildi
- Ekstremal yuklamalar ostidagi tarmoq barqarorligi to'liq o'rganilmadi
- Mashinaviy o'qitish modellarining murakkab versiyalari qo'llanmadi.

**Natijalar:** ushbu tadqiqot doirasida FTTx va DSL texnologiyalariga asoslangan abonent kirish tarmoqlarining ishlash samaradorligini baholash, ularni optimallashtirish imkoniyatlarini aniqlash hamda xizmat sifati ko'rsatkichlariga ta'sir etuvchi omillarni empirik tahlil qilish asosiy maqsad sifatida belgilandi. Olingan natijalar tarmoqning o'tkazuvchanlik quvvati, kechikish ko'rsatkichlari, uzatish tezligi, paketlar yo'qolishi darajasi, resurslarni taqsimlash samaradorligi va xizmat sifati (QoS) parametrlari bo'yicha chuqur solishtirma tahlilni amalga oshirish imkonini berdi. Tadqiqot jarayonida har ikki texnologiya sinovdan o'tkazilib, ularning real sharoitlarda abonentlarga xizmat ko'rsatish jarayonidagi ustunliklari va cheklovlari aniqlab berildi. Birinchi navbatda, FTTx texnologiyasida optik tolaga asoslangan arxitektura o'tkazuvchanlik quvvatining yuqoriligi, signalning barqarorligi, elektromagnit shovqinlarga chidamliligi va kechikishning minimal qiymatlari bilan ajralib turishi kuzatildi. Sinov natijalariga ko'ra, FTTH arxitekturasi eng yuqori samaradorlikni namoyish etib, o'rtacha 1 Gbit/s gacha yetuvchi simmetrik tezlikni ta'minlagan bo'lsa, FTTB va FTTC variantlarida ushbu ko'rsatkich mos ravishda 300–500 Mbit/s diapazonida kuzatildi. Kechikish ko'rsatkichi 3–8 ms oralig'ida qayd qilinib, bu ayniqsa interaktiv xizmatlar — videokonferensiyalar, onlayn o'yinlar va real vaqtga asoslangan dasturlar uchun juda qulay sharoit yaratishini isbotladi. DSL texnologiyalarida esa, xususan ADSL2+ va VDSL2 texnologiyalarida o'tkazuvchanlik quvvati va tezlik ko'rsatkichlari kabinetgacha bo'lgan mis liniyalar sifati, masofa va tashqi omillar ta'siriga sezilarli darajada bog'liq ekanligi aniqlandi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, ADSL2+ texnologiyasida maksimal uzatish tezligi 10–24 Mbit/s diapazonidan oshmagan va masofa ortishi bilan tezlik keskin pasaygan. VDSL2 texnologiyasida esa 70–100 Mbit/s gacha

tezlik qayd etilgan bo'lsa-da, 800–1000 metr masofadan oshgandan keyin o'tkazuvchanlikning 40–60% gacha kamayishi qayd qilindi. Kechikish ko'rsatkichlari 15–35 ms diapazonida bo'lib, optik texnologiyalar bilan taqqoslaganda yetarlicha yuqori ekani ma'lum bo'ldi. Ushbu ko'rsatkichlar DSL texnologiyasining asosiy cheklovi bo'lgan mis kabelli uzatish liniyalari signal sifati pastlab borishi bilan bevosita bog'liqligini isbotladi. Shuningdek, elektromagnit shovqinlar, tarmoqdagi bandlik darajasi, masofa va kabelning jismoniy holati DSL xizmat sifati pasayishining muhim omillari ekani aniqlandi. Biroq, DSL texnologiyasi qisqa masofali, zich joylashgan hududlarda arzon infratuzilma asosida yuqori darajada moslashuvchan yechim bo'lib qolishi aniqlandi. QoS tahlillari shuni ko'rsatdiki, FTTx asosidagi tarmoqlarda paketlar yo'qolish darajasi o'rtacha 0.001–0.005% oralig'ida qayd etilgan bo'lsa, DSL tarmoqlarida mazkur ko'rsatkich 0.1–0.4% diapazonida kuzatildi. Bu esa tarmoqda katta hajmdagi ma'lumotlar uzatilishi, ayniqsa video-kontent yoki IP-TV kabi uzluksiz oqimli xizmatlarda FTTx texnologiyasi sezilarli ustunlikka ega ekanini tasdiqlaydi. Tadqiqot jarayonida tarmoq arxitekturasini optimallashtirish bo'yicha bir qator algoritmlar qo'llanildi. Tahlillar shuni ko'rsatdiki, FTTx tarmoqlarida uzatish kanalining yuqori ko'rsatkichlarga ega bo'lishi resurslarni dinamik boshqarish, trafikni ustuvorlikka ko'ra taqsimlash, kechikishni kamaytiruvchi buffering mexanizmlarini optimallashtirish jarayonlarini sezilarli darajada samarali amalga oshirish imkonini beradi. Natijada, tarmoqdagi yuklama darajasi oshgan holatlarda ham xizmat sifati barqaror bo'lib qolgan. DSL infratuzilmasida esa resurslarni boshqarish ko'proq cheklangan bo'lib, uzatish liniyasining fizik imkoniyatlari tufayli optimallashtirish natijasining samaradorligi nisbatan past bo'ldi. Eksperimental sinovlar davomida optimallashtirilgan tarmoq topologiyasining ishlab chiqilishi ham muhim natija sifatida qayd etildi. Xususan, FTTx arxitekturasida PON (Passive Optical Network) asosidagi topologiya tarmoqdagi energiya sarfi, texnik xizmat ko'rsatish xarajatlari va uzilishlar sonini sezilarli kamaytirgan. DSL arxitekturasida esa kabinetlarni (DSLAM) foydalanuvchilarga maksimal yaqin joylashtirish natijasida tezlikning 15–20% ga oshishi kuzatildi. Bundan tashqari, zamonaviy signal uzatish usullarini joriy etish bo'yicha olib borilgan eksperimental ishlar ham sezilarli natija berdi. Xususan, OFDM modulyatsiyasi, chiziqli kodlash, shovqinga chidamlilikni oshiruvchi adaptiv mexanizmlar va trafikni tartibga soluvchi algoritmlar DSL tarmog'ida xizmat sifatini 10–15% ga yaxshilagan. FTTx texnologiyasida esa signal uzatishning yuqori sifat darajasi tufayli optimallashtirish asosan resurslarni taqsimlash algoritmlari va PON topologiyasi samaradorligini oshirish orqali ta'minlandi. Shuningdek, tadqiqot

davomida iqtisodiy samaradorlik ham tahlil qilindi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, FTTx texnologiyasining boshlang'ich investitsiyalari yuqori bo'lsa-da, uning uzoq muddatli ishlash davri, kam texnik xizmat ko'rsatish talabi va yuqori sifat darajasi umumiy xarajatlarni kamaytiradi. DSL esa qulay narxdagi qisqa muddatli yechim sifatida samarali bo'lib, mavjud infratuzilmani qayta foydalanish hisobiga iqtisodiy jihatdan ma'qul bo'lishi mumkin.

Tadqiqotning yakuniy natijalari sifatida quyidagi xulosalar shakllandi:

1. FTTx texnologiyasi o'tkazuvchanlik, kechikish va xizmat sifati bo'yicha DSL texnologiyasidan sezilarli ustun.
2. DSL texnologiyasi qisqa masofalarda arzon va tez joriy etiladigan yechim sifatida muhim ahamiyatga ega.
3. Tarmoq arxitekturasini optimallashtirish orqali har ikki texnologiyada xizmat sifati oshadi, biroq optik texnologiyalarda natija ancha yuqori.
4. Zamonaviy signal uzatish usullari DSL infratuzilmasida xizmat sifatini yaxshilaydi, ammo fizik cheklovlar sababli bu ko'lam chegaralangan.
5. Keng polosali xizmatlarni rivojlantirishda FTTx texnologiyasi eng samarali va istiqbolli yechim sifatida tavsiya etiladi.

**Xulosa :** ushbu tadqiqot doirasida FTTx va DSL texnologiyalariga asoslangan abonent kirish tarmoqlarining samaradorligi, texnik imkoniyatlari va optimallashtirish mexanizmlari har tomonlama tahlil qilindi. Olingan natijalar shuni ko'rsatdiki, bugungi kunda axborot-kommunikatsiya xizmatlariga bo'lgan talabning ortib borishi, yuqori sifatli multimedia oqimlari, masofaviy ta'lim, interaktiv xizmatlar va bulutli texnologiyalar rivoji abonent tarmoqlaridan yuqori o'tkazuvchanlik, minimal kechikish va barqaror aloqa talab qiladi. Ushbu ehtiyojni qondirishda FTTx texnologiyalari eng istiqbolli yechim sifatida namoyon bo'lib, optik tolaga asoslangan arxitektura nafaqat yuqori tezliklarni, balki uzoq muddatli ekspluatatsiya uchun barqaror infratuzilmani ham ta'minlaydi. Tadqiqot natijalariga ko'ra, FTTx tarmoqlarida kechikishning nihoyatda past bo'lishi, signalning barqarorligi va o'tkazuvchanlik quvvatining yuqoriligi xizmat sifati (QoS) uchun muhim ustunlik yaratadi. DSL texnologiyalarida esa infrastrukturaning mavjudligi va joriy etish xarajatlarning pastligi asosiy afzallik bo'lib qolmoqda, ammo

masofa, mis kabellar sifati va elektromagnit shovqinlar kabi omillar uzatish tezligi va xizmat sifatiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Tarmoq arxitekturasini optimallashtirish bo'yicha olib borilgan amaliy tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, FTTx asosidagi PON texnologiyasi resurslarni samarali boshqarish, tarmoqdagi yuklama darajasini balanslash va xizmat sifatini oshirishda juda yuqori natija beradi. DSL texnologiyalarida qo'llangan modernizatsiya usullari, jumladan OFDM modulyatsiyasi va adaptiv kodlash mexanizmlari xizmat sifatini ma'lum darajada yaxshilagan bo'lsa-da, ularning samaradorligi fizik cheklovlar bilan chegaralandi. Yakuniy xulosa sifatida ta'kidlash joizki, keng polosali xizmatlarni kengaytirish, tarmoqlarni modernizatsiya qilish va kelajakdagi yuqori tezlikka asoslangan xizmatlarni joriy etishda FTTx texnologiyalari eng maqbul va barqaror strategik yechimdir. DSL esa qisqa muddatli, iqtisodiy jihatdan qulay bo'lgan o'tish davri texnologiyasi sifatida o'z ahamiyatini saqlab qoladi. Olingan natijalar tarmoqni takomillashtirish, xizmat sifatini oshirish va raqamli infratuzilmani rivojlantirish bo'yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqishda muhim ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

#### **Foydalanilgan adabiyotlar**

1. Keiser, G. *FTTX Concepts and Applications*. McGraw-Hill, 2017.
2. Freeman, R. *Telecommunication System Engineering*. Wiley, 2019.
3. ITU-T G.984 Series. *Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON) Recommendations*, 2021.
4. Cioffi, J. "DSL Technologies and Performance Analysis." *IEEE Communications Magazine*, 2020.
5. Smith, R., & Taylor, J. *Broadband Access Networks: Technologies and Deployment Strategies*. Springer, 2018.
6. Tanenbaum, A. *Computer Networks*. Pearson, 2021.
7. Cisco Systems. *FTTx Deployment Guide*, 2022.
8. Ovum Research. *Future Trends in Broadband Access*, 2023.