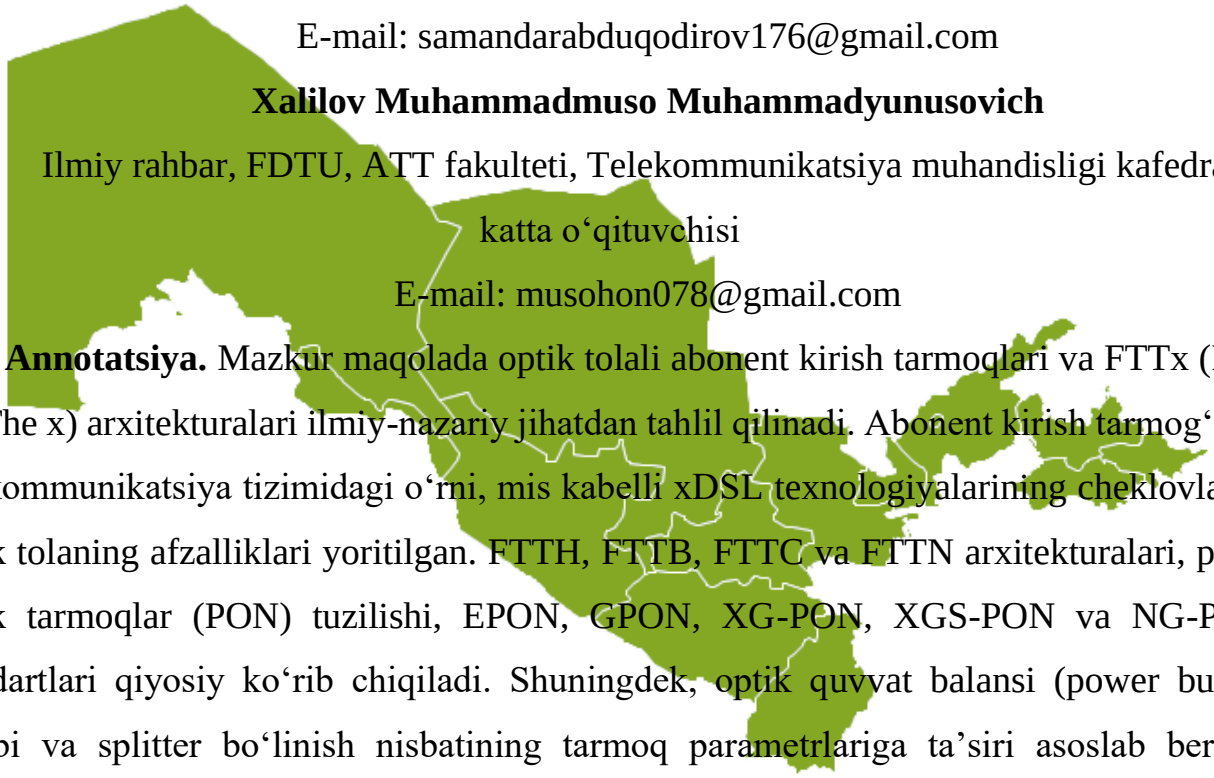
Qabul qilindi: 16-noyabr 2026-yil • Ma’qullandi: 18-noyabr 2026-yil • Nashr qilindi: 20-noyabr 2026-yil

OPTIK TOLALI ABONENT KIRISH TARMOQLARI VA FTTx ARXITEKTURALARI

Abduqodirov Samandar Abdug‘affor o‘g‘li
Farg‘ona davlat texnika universiteti
E-mail: samandarabduqodirov176@gmail.com
Xalilov Muhammadmuso Muhammadyunusovich
Ilmiy rahbar, FDTU, ATT fakulteti, Telekommunikatsiya muhandisligi kafedrasi katta o‘qituvchisi
E-mail: musohon078@gmail.com



Annotatsiya. Mazkur maqolada optik tolali abonent kirish tarmoqlari va FTTx (Fiber To The x) arxitekturalari ilmiy-nazariy jihatdan tahlil qilinadi. Abonent kirish tarmog‘ining telekommunikatsiya tizimidagi o‘rni, mis kabelli xDSL texnologiyalarining cheklovlari va optik tolaning afzalliklari yoritilgan. FTTH, FTTB, FTTC va FTTN arxitekturalari, passiv optik tarmoqlar (PON) tuzilishi, EPON, GPON, XG-PON, XGS-PON va NG-PON2 standartlari qiyosiy ko‘rib chiqiladi. Shuningdek, optik quvvat balansi (power budget) hisobi va splitter bo‘linish nisbatining tarmoq parametrlariga ta’siri asoslab beriladi. Olingan natijalar keng polosali kirish tarmoqlarini loyihalashda amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so‘zlar: Abonent kirish tarmoqlari, optik tola, FTTx, FTTH, FTTB, PON, GPON, OLT, ONT, splitter, optik quvvat balansi, keng polosali kirish

KIRISH

Bugungi kunda raqamli xizmatlarga, xususan, yuqori sifatli video, bulutli ilovalar, masofaviy ta’lim va ish hamda elektron hukumat xizmatlariga bo‘lgan talab keskin oshmoqda. Bunday xizmatlar sifati ko‘p jihatdan foydalanuvchini operator tarmog‘iga ulaydigan abonent kirish tarmog‘iga bog‘liq. Abonent kirish tarmog‘i (access network) — bu abonent qurilmasi bilan operatorning stansiyasi yoki tugun uskunasi o‘rtasidagi aloqa qismi bo‘lib, uni ko‘pincha «so‘nggi mil» (last mile) deb ham atashadi [3, 5].

An’anaviy abonent kirish tarmoqlari mis juft kabellarga asoslangan bo‘lib, ularning o‘tkazish qobiliyati masofa oshgan sari keskin kamayadi. ADSL2+ texnologiyasida eng yuqori tezlik stansiyaga yaqin abonentlar uchun taxminan 24 Mbit/s ni tashkil etsa, VDSL2 da bu ko‘rsatkich 100 Mbit/s atrofida bo‘lib, uzunlik bir necha yuz metrdan oshmasligi kerak. Optik tola esa bir necha o‘n kilometr masofada ham gigabit tezliklarni elektromagnit xalaqitlarsiz uzatish imkonini beradi. Shu sababli dunyo bo‘ylab operatorlar mis kabelli tarmoqlarni optik tolali tarmoqlar bilan almashtirishga o‘tmoqda [6, 7].

O‘zbekistonda keng polosali aloqa tarmoqlarini rivojlantirish davlat siyosatining ustuvor yo‘nalishi hisoblanadi. «Raqamli O‘zbekiston – 2030» strategiyasida telekommunikatsiya infratuzilmasini, jumladan, optik tolali aloqa liniyalarini kengaytirish va aholining internetdan foydalanish imkoniyatini oshirish vazifalari belgilangan [2]. Soha faoliyati «Telekommunikatsiyalar to‘g‘risida»gi Qonun asosida tartibga solinadi [1]. Shu bois FTTx arxitekturalarini o‘rganish va ularni loyihalash usullarini bilish zamonaviy telekommunikatsiya mutaxassislari uchun dolzarb masaladir.

Mazkur maqolaning asosiy maqsadi optik tolali abonent kirish tarmoqlarining turlarini, PON texnologiyasining ishlash prinsipini va FTTx arxitekturalarini qiyosiy tahlil qilishdan iborat.

ADABIYOTLAR TAHLILI

Abonent kirish tarmoqlari bo‘yicha o‘zbek tilidagi ilmiy ishlarda ushbu tarmoqlar foydalanuvchilarni markaziy tarmoqqa ulovchi bo‘g‘in sifatida qaralib, ular mis simli (xDSL), optik tolali (FTTx), simsiz (Wi-Fi, 4G, 5G) hamda sun’iy yo‘ldosh texnologiyalariga asoslanishi mumkinligi ta’kidlanadi [3]. TATU Samarqand filiali tomonidan chop etilgan ishda esa FTTH, FTTB, PON va GPON kabi optik texnologiyalarning abonent kirish tarmoqlarida qo‘llanilishi yoritilgan [4].

Xorijiy adabiyotlarda FTTx konsepsiyasi optik tolaning abonentga qanchalik yaqinlashtirilishiga qarab tasniflanadi. Girard o‘z kitobida PON arxitekturasi, uning asosiy tarkibiy qismlari, topologiyalari va ish ko‘rsatkichlarini batafsil bayon qiladi, shuningdek, tarmoqni o‘rnatish va sinash tartiblarini ko‘rsatadi [6]. Keiser esa passiv optik tarmoq tushunchalarini, FTTX muqobil variantlarini hamda ularni abonent binosigacha (FTTP)

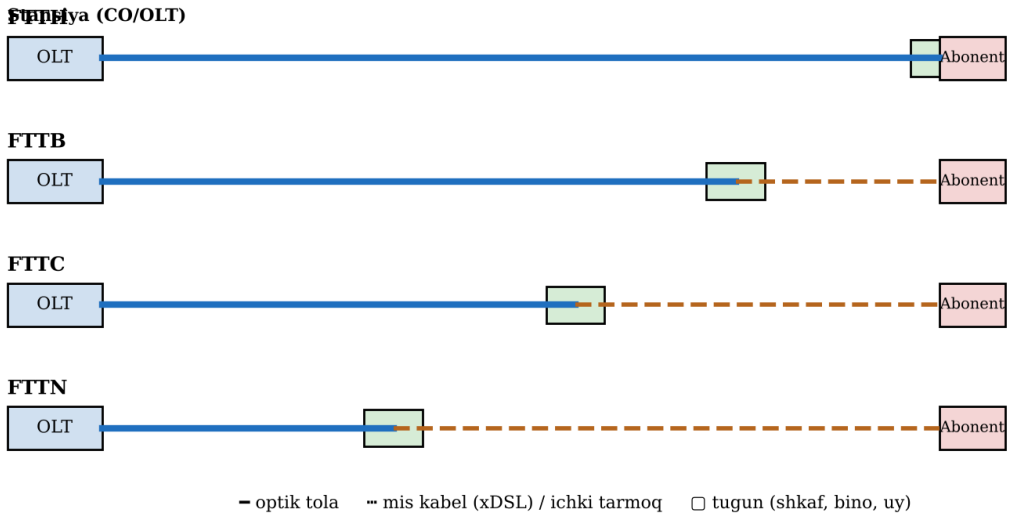
qo‘llash masalalarini yoritadi [7].

PON tarmoqlari standartlari bo‘yicha IEEE 802.3ah standarti Ethernet asosidagi EPON ni belgilaydi [11], ITU-T G.984 seriyasi GPON texnologiyasini [8], G.987 seriyasi 10 Gbit/s tezlikdagi XG-PON ni [9], G.989 seriyasi esa to‘lqin uzunligi bo‘yicha multiplekslashni qo‘llovchi NG-PON2 ni tavsiflaydi [10]. Optik tola xususiyatlari bo‘yicha G.652 tavsiyasi bir modali tolaning asosiy parametrlarini belgilab beradi [12]. Optik aloqa tizimlarining fizik asoslari, jumladan, so‘nish va dispersiya masalalari Agrawal asarida tahlil qilingan [13].

Mavjud adabiyotlarni tahlil qilish shuni ko‘rsatadiki, PON texnologiyasi iqtisodiy jihatdan eng samarali yechim hisoblanadi, chunki u magistral tolani ko‘plab abonentlar o‘rtasida bo‘lish imkonini beradi va aktiv uskunalarni abonent tomonda o‘rnatish zaruratini bartaraf etadi.

MATERIALLAR VA USULLAR

Tadqiqot jarayonida optik tolali abonent kirish tarmoqlarini o‘rganish uchun nazariy tahlil, qiyosiy tahlil va hisoblash usullaridan foydalanildi. Tahlil obyekti sifatida FTTx arxitekturalarining to‘rt asosiy ko‘rinishi (FTTH, FTTB, FTTC, FTTN), PON tarmog‘ining topologiyasi hamda EPON, GPON, XG-PON, XGS-PON va NG-PON2 standartlari tanlab olindi. FTTx arxitekturalarining o‘zaro farqi 1-rasmda keltirilgan.



1-rasm. FTTx arxitekturalarining turlari: FTTH, FTTB, FTTC va FTTN.

TADQIQOT METODOLOGIYASI

Tadqiqot to‘rt bosqichda olib borildi. Birinchi bosqichda ilmiy manbalar va ITU-T, IEEE standartlari o‘rganildi. Ikkinchi bosqichda FTTx arxitekturalari optik tolaning abonentga yaqinlik darajasi, so‘nggi qism muhiti va tezlik imkoniyati bo‘yicha solishtirildi. Uchinchi bosqichda PON tarmog‘ining ishlash prinsipi, pastga va yuqoriga yo‘nalishlarda ma’lumot uzatish usullari tahlil qilindi. To‘rtinchi bosqichda optik quvvat balansi hisoblab chiqildi.

Optik tarmoqning ishlashini baholashda quyidagi shart tekshiriladi: $L_{jami} = L_{tola} + L_{splitter} + L_{ulagich} + L_{payvand} \leq B - M$, bunda B — uskunaning quvvat balansi (masalan, GPON Class B+ uchun 28 dB), M — zaxira (marja), odatda 3 dB. Tola so‘nishi $L_{tola} = \alpha \times l$ formulasi bilan aniqlanadi, bunda α — tolaning solishtirma so‘nishi (1310 nm da taxminan 0,35 dB/km), l — uzunlik.

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, FTTx arxitekturalari orasida asosiy farq optik tolaning abonentga qanchalik yaqin keltirilishida. FTTH (Fiber To The Home) arxitekturasida tola to‘g‘ridan-to‘g‘ri abonent xonadoniga yetkaziladi va so‘nggi qismda mis kabel ishlatilmaydi. FTTB (Fiber To The Building) da tola bino kirishigacha, FTTC (Fiber To The Curb/Cabinet) da ko‘cha shkafigacha, FTTN (Fiber To The Node) da esa tarmoq tuguniga qadar keltiriladi, undan keyingi qism mis kabel (xDSL) yoki ichki tarmoq orqali amalga oshiriladi. FTTx variantlarining qiyosiy tavsifi 1-jadvalda keltirilgan.

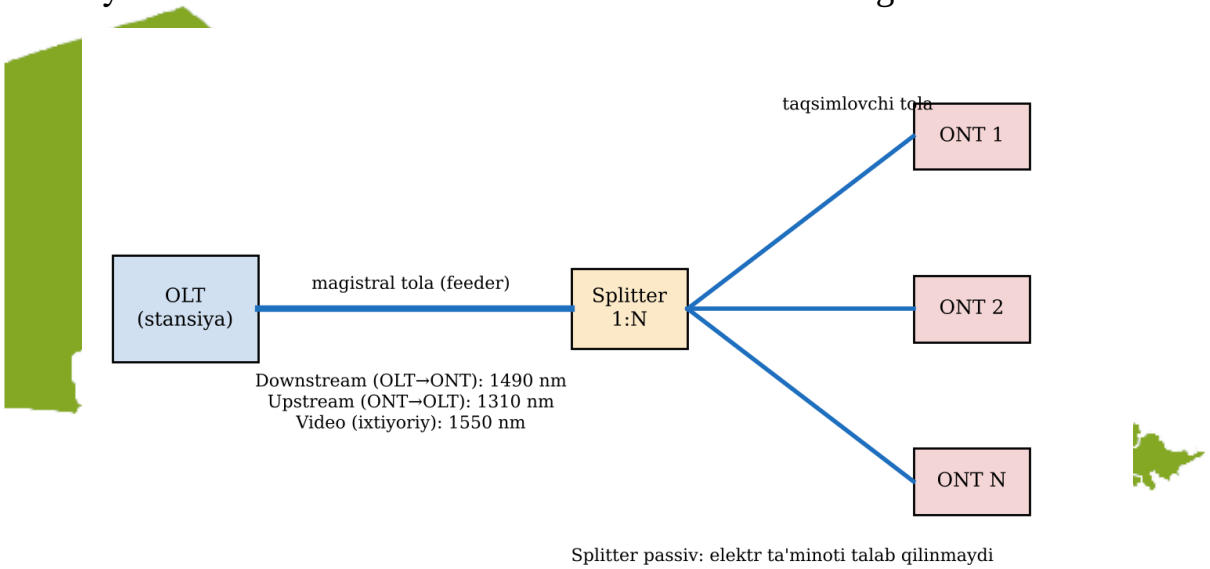
1-jadval. FTTx arxitekturalarining qiyosiy tavsifi.

Arxitektura	Tola qayergacha	So‘nggi qism	Tezlik	Xarajat
FTTH	Abonent xonadoni	Optik tola	Eng yuqori (1 Gbit/s va undan ortiq)	Yuqori
FTTB	Bino kirishi	Ichki kabel (Ethernet)	Yuqori (100 Mbit/s–1 Gbit/s)	O‘rta
FTTC	Ko‘cha shkafi	Mis kabel (VDSL2)	O‘rta (≈50–100 Mbit/s)	Past
FTTN	Tarmoq tuguni	Mis kabel (ADSL2+/VDSL2)	Past (≈10–50 Mbit/s)	Eng past

Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, optik tola abonentga yaqinlashgan sari tezlik va xizmat sifati oshadi, biroq qurilish xarajatlari ham ortadi. Shu sababli zich joylashgan ko‘p qavatli binolarda FTTB, yangi qurilayotgan turar-joylarda FTTH, mavjud mis kabel infratuzilmasi

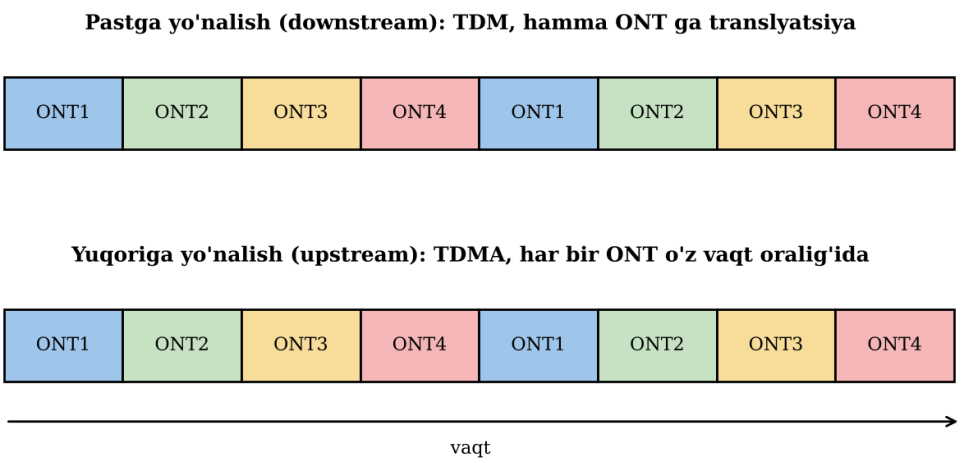
saqlanib qolgan hududlarda esa bosqichma-bosqich o‘tish sifatida FTTC/FTTN maqsadga muvofiqdir.

FTTx arxitekturalarining aksariyati passiv optik tarmoq (PON) texnologiyasiga asoslanadi. PON tarmog‘ida stansiyadagi optik liniya terminali (OLT) bitta magistral tola orqali passiv splitterga ulanadi, splitter signalni N ta abonent terminali (ONT) o‘rtasida taqsimlaydi. Splitter elektr ta’minotini talab qilmagani uchun tarmoq ishonchli va ekspluatatsiyasi arzon bo‘ladi. PON tuzilishi 2-rasmda ko‘rsatilgan.



2-rasm. Passiv optik tarmoq (PON) tuzilishi.

Pastga yo‘nalishda (OLT dan ONT ga) ma’lumotlar 1490 nm to‘lqin uzunligida translyatsiya tarzida barcha ONT larga uzatiladi, har bir ONT esa faqat o‘ziga mo‘ljallangan paketlarni ajratib oladi. Yuqoriga yo‘nalishda (ONT dan OLT ga) 1310 nm to‘lqin uzunligi ishlatiladi va to‘qnashuvlarni oldini olish uchun vaqt bo‘yicha bo‘lib kirish (TDMA) usuli qo‘llaniladi, ya’ni har bir ONT ga alohida vaqt oralig‘i ajratiladi. Bu jarayon 3-rasmda tasvirlangan. Ixtiyoriy ravishda 1550 nm to‘lqin uzunligi kabel televideniyesi signalini uzatish uchun ishlatiladi.

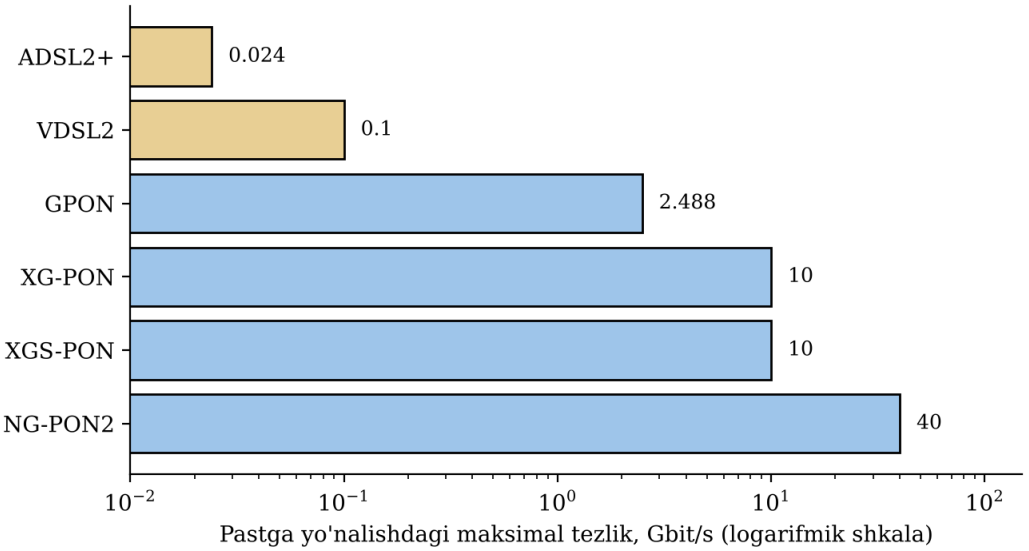


3-rasm. PON tarmog‘ida pastga (TDM) va yuqoriga (TDMA) yo‘nalishlarda uzatish.

PON standartlarining rivojlanishi o‘tkazish qobiliyatining sezilarli oshishiga olib keldi. Asosiy standartlarning qiyosiy ko‘rsatkichlari 2-jadvalda, ularning pastga yo‘nalishdagi maksimal tezliklari mis kabelli texnologiyalar bilan solishtirilgan holda 4-rasmda keltirilgan.

2-jadval. PON standartlarining qiyosiy ko‘rsatkichlari.

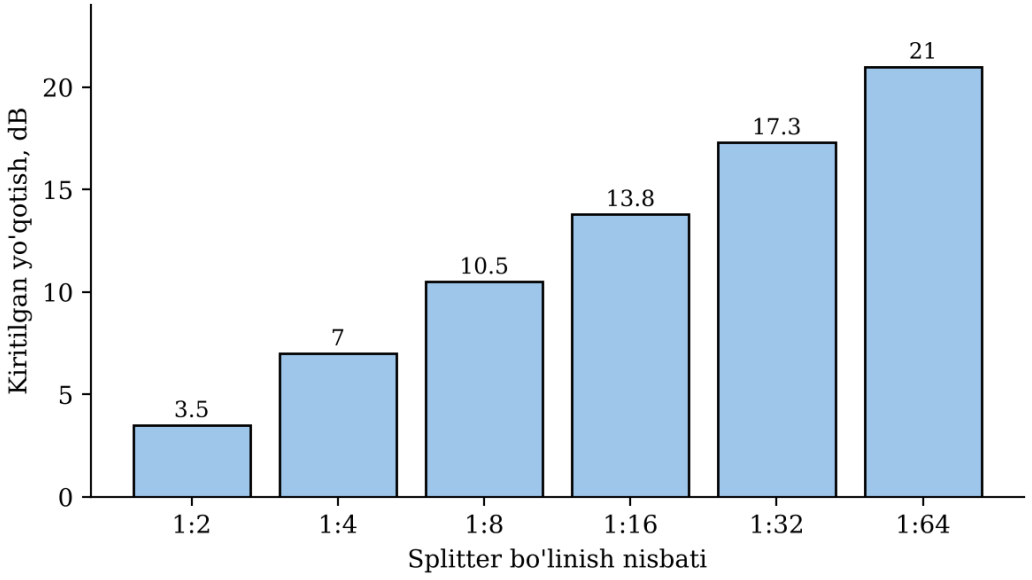
Standart	Tezlik (pastga/yuqoriga)	Bo‘linish nisbati	Masofa	Tavsiya
EPON	1,25/1,25 Gbit/s	1:16 – 1:32	10–20 km	IEEE 802.3ah
GPON	2,488/1,244 Gbit/s	1:64 gacha	20 km	ITU-T G.984
XG-PON	10/2,5 Gbit/s	1:128 gacha	20–40 km	ITU-T G.987
XGS-PON	10/10 Gbit/s	1:128 gacha	20–40 km	ITU-T G.9807.1
NG-PON2	40/10 Gbit/s (TWDM)	1:256 gacha	40 km	ITU-T G.989



4-rasm. Kirish texnologiyalarining pastga yo‘nalishdagi maksimal tezliklari.

Rasmdan ko‘rinib turibdiki, GPON tezligi ADSL2+ ga nisbatan yuz martadan ortiq, NG-PON2 esa bir necha ming marta yuqori. Mis kabelli texnologiyalar uchun esa tezlik masofa ortgan sari keskin pasayadi, optik tolada bunday cheklov yo‘q. Bu holat operatorlarni FTTx tarmoqlarini kengaytirishga undamoqda.

Splitterning bo‘linish nisbati tarmoqdagi abonentlar soniga va optik quvvat balansiga bevosita ta’sir qiladi. Bo‘linish nisbati ikki barobar oshganda splitter yo‘qotishi taxminan 3,5 dB ga ortadi (5-rasm). Shu sababli ko‘p abonentga xizmat ko‘rsatish uchun splitter nisbatini oshirish tola uzunligini qisqartirishga olib keladi.



5-rasm. Splitter yo‘qotishining bo‘linish nisbatiga bog‘liqligi.

Amaliy hisob misolini ko‘rib chiqamiz. GPON Class B+ uskunasi uchun quvvat balansi 28 dB, zaxira 3 dB deb olamiz. 1:32 splitterning yo‘qotishi taxminan 17,3 dB, 10 km tola uchun 10 × 0,35 = 3,5 dB, to‘rtta ulagich uchun 4 × 0,5 = 2 dB, oltita payvand uchun 6 × 0,1 = 0,6 dB. Jami yo‘qotish 17,3 + 3,5 + 2 + 0,6 = 23,4 dB bo‘lib, u ruxsat etilgan 28 − 3 = 25 dB dan kichik. Demak, tarmoq berilgan parametrlarda ishonchli ishlaydi, zaxira esa taxminan 1,6 dB ni tashkil etadi.

XULOSA

Optik tolali abonent kirish tarmoqlari va FTTx arxitekturalarini ilmiy-nazariy hamda amaliy jihatdan o‘rganish natijasida quyidagi xulosalarga kelindi: birinchidan, mis kabelli xDSL texnologiyalari masofa va tezlik bo‘yicha cheklangan bo‘lib, optik tola zamonaviy keng polosali xizmatlar uchun asosiy muhitga aylanmoqda; ikkinchidan, FTTH, FTTB, FTTC va FTTN arxitekturalari optik tolaning abonentga yaqinligi, tezlik va qurilish xarajatlari bo‘yicha farqlanadi, tanlov hududning xususiyatiga bog‘liq; uchinchidan, PON texnologiyasi passiv splitter orqali magistral tolani ko‘plab abonentlar o‘rtasida taqsimlab, tarmoq xarajatlarini kamaytiradi va ishonchliligini oshiradi; to‘rtinchidan, GPON dan NG-PON2 gacha bo‘lgan standartlar tezlikni bosqichma-bosqich oshirish imkonini beradi; beshinchidan, tarmoqni loyihalashda optik quvvat balansi hisobi va splitter nisbatini to‘g‘ri tanlash muhim ahamiyatga ega. Kelajakda 25G/50G PON, 5G tarmoqlari bilan integratsiya va tarmoqlarni virtuallashtirish ushbu sohaning rivojlanish yo‘nalishlari bo‘lishi kutilmoqda.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. O‘zbekiston Respublikasining «Telekommunikatsiyalar to‘g‘risida»gi Qonuni.

2. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining «Raqamli O‘zbekiston – 2030» strategiyasini tasdiqlash va uni samarali amalga oshirish chora-tadbirlari to‘g‘risida»gi PF-6079-son Farmoni. 2020-yil 5-oktyabr.

3. Abonent kirish tarmoqlari: ilmiy maqola. – Zenodo, 2025. https://zenodo.org/records/15087281

4. Abonent kirish optik tarmoqlarining arxitekturasini tadqiq qilish. – TATU Samarqand filiali: «Zamonaviy AKT va AT ta’lim tatbiqi muammolari», 2021.

https://scienceweb.uz/publication/25161

5. Axborot-kommunikatsiya texnologiyalari izohli lug‘ati. – Toshkent: BMT Taraqqiyot dasturi (UNDP). https://www.undp.org

6. Girard, A. (2005). FTTx PON Technology and Testing. Quebec City: EXFO Electro-Optical Engineering Inc.

7. Keiser, G. (2006). FTTX Concepts and Applications. Wiley-Interscience.

8. ITU-T Recommendation G.984.1. Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics.

9. ITU-T Recommendation G.987.1. 10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): General requirements.

10. ITU-T Recommendation G.989.1. 40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2): General requirements.

11. IEEE Std 802.3ah-2004. Ethernet in the First Mile (EPON).

12. ITU-T Recommendation G.652. Characteristics of a single-mode optical fibre and cable.

13. Agrawal, G. P. (2010). Fiber-Optic Communication Systems (4th ed.). John Wiley & Sons.

