

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інститут телекомунікаційних систем

Кафедра Телекомунікаційних систем

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Леонід УРИВСЬКИЙ

«__» _____ 20__ р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

**на тему: «Організація широкосмугового доступу з використанням
технології PON»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ТС-61

Віталій ВІСТУНОВ _____

Керівник:

доц. каф. ТС, к.т.н.,
доц. Олена ГРИГОРЕНКО _____

Рецензент: _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут телекомунікаційних систем
Кафедра Телекомунікаційних систем

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 172 Телекомунікації та радіотехніка

Програма професійного спрямування (спеціалізація) – «Телекомунікаційні системи та мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Леонід УРИВСЬКИЙ

« ___ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Вістунову Віталію Дмитровичу

1. Тема роботи «Організація широкопугового доступу з використанням технології PON», керівник роботи Григоренко Олена Григорівна, кандидат технічних наук, доцент, затверджені наказом по університету від 30 березня 2020 р. № 924-с
2. Термін подання студентом роботи 12 червня 2020 р.
3. Вихідні дані до роботи: Розглянути послуги широкопугового доступу та архітектури мережі і складу устаткування. Скласти загальну структуру побудови PON мережі.
4. Зміст роботи
 - 1 Огляд існуючих технологій широкопугового доступу (xDSL, PON, бездротовий доступ)
 - 1.1 Опис послуг широкопугового доступу
 - 1.2 Технологія xDSL
 - 1.3 Технологія PON
 - 1.4 Бездротовий доступ
 - 2 Принципи технології PON
 - 2.1 Загальний опис особливостей технології PON
 - 2.2 Типи пасивних оптичних мереж

- 2.3 Области застосування PON, актуальність технології, доступні сервіси
- 2.4 Загальний опис обладнання PON, функціональний опис
- 3 Проект з будівництва мережі абонентського доступу на технології пасивної оптичної мережі
- 3.1 Загальні дані
- 3.2 Визначення типу та опис широкопasmової мережі
- 3.3 Вибір обладнання та кабелю
5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо): Презентація.
6. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Опис послуг широкопasmового доступу та огляд існуючих технологій широкопasmового доступу	13.04.2020-20.04.2020	
2	Принципи технології PON та загальний опис обладнання PON	20.04.2020-27.04.2020	
3	Проект з будівництва мережі абонентського доступу на технології пасивної оптичної мережі	27.04.2020-11.05.2020	
4	Оформлення роботи згідно вимог, висновок	11.05.2020-15.05.2020	

Студент

Віталій ВІСТУНОВ

Керівник роботи

Олена ГРИГОРЕНКО

РЕФЕРАТ

Текстова частина дипломної роботи: 68 сторінок, 13 рисунків, 9 таблиць, 25 джерел.

Метою дипломної роботи є аналіз послуг широкопasmового доступу, а саме послуг, що надаються за технологією PON, аналіз особливостей побудови мереж PON, розгляд архітектури мережі і складу устаткування.

Робота складається з трьох розділів і присвячена особливостям побудови мереж зв'язку, що базуються на технології PON, опису технології PON, розгляду типів пасивних оптичних мереж, перспективам розвитку технології PON.

Розглянуті в даній дипломній роботі особливості технології PON дозволяють правильно підійти до проектування і подальшої фізичної реалізації мереж доступу на її основі з метою надання якісних послуг для кінцевого користувача.

ШИРОКОСМУГОВИЙ ДОСТУП, ПАСИВНІ ОПТИЧНІ МЕРЕЖІ (PON), МЕРЕЖІ ДОСТУПУ, ТОПОЛОГІЇ МЕРЕЖ ДОСТУПУ, ПРИЙМАЛЬНО-ПЕРЕДАЮЧИЙ МОДУЛЬ ЦЕНТРАЛЬНОГО ВУЗЛА OLT, АБОНЕНТСЬКИЙ ТЕРМІНАЛ, ОПТИЧНЕ ВОЛОКНО, СПЛІТТЕР, ОПТИЧНИЙ РОЗГАЛУЖУВАЧ.

ABSTRACT

The purpose of the thesis is to analyze broadband access services, namely services provided by PON technology, analysis of the peculiarities of the construction of PON networks, consideration of network architecture and equipment.

The work consists of four sections and is devoted to the peculiarities of the construction of communication networks based on PON technology, description of PON technology, consideration of types of passive optical networks, prospects for the development of PON technology.

The features of PON technology considered in this thesis allow to approach the design and further physical implementation of local networks on its basis in order to provide quality services to the end user.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП	9
1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ШИРОКОСМУГОВОГО ДОСТУПУ (XDSL, PON, БЕЗДРОТОВИЙ ДОСТУП).....	11
1.1 Опис послуг широкосмугового доступу.....	11
1.2 Технологія xDSL	14
1.3 Технологія PON.....	19
1.4 Бездротовий доступ.....	20
1.5 Висновки до розділу 1	24
2 ПРИНЦИПИ ТЕХНОЛОГІЇ PON	25
2.1 Загальний опис особливостей технології PON	25
2.2 Типи пасивних оптичних мереж.....	28
2.3 Області застосування PON, актуальність технології, доступні сервіси	38
2.4 Загальний опис обладнання PON, функціональний опис	49
2.5 Висновки до розділу 2	56
3 ПРОЕКТ З БУДІВНИЦТВА МЕРЕЖІ АБОНЕНТСЬКОГО ДОСТУПУ НА ТЕХНОЛОГІЇ ПАСИВНОЇ ОПТИЧНОЇ МЕРЕЖІ.....	57
3.1 Загальні дані.....	57
3.2 Визначення типу та опис широкосмугової мережі.....	58
3.3 Вибір обладнання та кабелю	60
3.4 Висновки до розділу 3	63
ВИСНОВКИ.....	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	67

					<i>КПІ.924-с.04.ТС-61.2020.ПЗ</i>			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Вістунів В. Д.			<i>Організація широкосмугового доступу з використанням технології PON</i>	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Григоренко О.Г.				6	68	
Реценз.						Організація		
Н. Контр.		Новіков В. І.						
Затверд.		Уривський Л.О.						
					<i>Пояснювальна записка</i>			

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- GFP General Framing Procedure - загальна процедура розбиття на кадр
- WDM Wavelength Division Multiplexing
- CEM Метод інкапсуляції GPON
- EES Пряма корекція помилок
- ATM Asynchronous Transfer Mode
- QoS Quality of Service - якість обслуговування
- FSAN Full service access network
- LAN Local Area Network - Локальна обчислювальна мережа.
- MAN Metropolitan area network - Міська обчислювальна мережа.
- WAN Wide Area Network - Глобальна комп'ютерна мережа.
- 10GEPON 10 Gigabit Ethernet PON
- RBOC Regional Bell Operating Company - регіональна телефонна компанія системи Bell.
- CLEC Competitive local exchange carrier - конкуруючий постачальник місцевих телефонних послуг.
- ILEC Incumbent Local Exchange Carriers - традиційні оператори місцевого зв'язку.
- POTS Plain old telephone service - звичайний телефонний зв'язок.
- OAM Operation, Administration and Maintenance - система технічної експлуатації, технічного обслуговування і адміністративного управління.
- DSCP Differentiated Services Code Point - точка коду диференційованих послуг
- GEM GPON Encapsulation Method
- DSLAM Digital Subscriber Line Access Multiplexer - мультиплексор доступу цифрової абонентської лінії xDSL.
- OMCI ONT Management and Control Interface - використовується OLT

для контролю ONT

- FCAPS Модель Міжнародної організації зі стандартизації (ISO)
- (F) Fault Management / Управління відмовами
 - (C) Configuration Management / Управління конфігурацією
 - (A) Accounting Management / Облік
 - (P) Performance Management / Управління продуктивністю
 - (S) Security Management / Управління безпекою
- SDTV Standard-definition television - Телебачення стандартної чіткості
- HDTV High-Definition Television - Телебачення високої чіткості
- VoD Video on Demand - Відео за запитом
- Backbone Магістральний канал передачі даних
- MPEG Moving Picture Experts Group - Експертна група по рухомому зображенню
- Ku- Діапазон частот сантиметрових довжин хвиль, діапазон використовуваних в супутниковому телебаченні (10,7 і 18 ГГц).
- STM Synchronous Transport Module - Синхронний транспортний модуль

ВСТУП

Телекомунікаційні технології відіграють величезну роль у всіх без винятку сферах сучасного суспільства, коли від швидкості, якості та своєчасної передачі інформації залежить правильність прийняття стратегічно важливих рішень. Крім того, телекомунікаційні системи виключно важливі в передачі і доведенні до кожного члена суспільства політичної, громадської, культурної, освітньої та іншої інформації. Галузь зв'язку виконує найважливішу державну функцію передачі інформації для забезпечення політичної та економічної безпеки країни, життєдіяльності людей, суспільного виробництва, управління на всіх ієрархічних і територіальних рівнях.

Метою даної дипломної роботи є розгляд особливостей послуг широкопasmового доступу і докладне вивчення принципів технології PON.

На початку 90-х років, з метою забезпечення передачі зростаючих обсягів інформації без необхідності побудови абсолютно нових мереж, були розроблені технології сімейства xDSL. Основною їх особливістю і великим плюсом було використання існуючих мереж загального користування - це рішення не вимагало кардинальних змін фізичного середовища передачі, однак, накладало істотні обмеження. Ці обмеження пов'язані з неможливістю забезпечити якісну передачу інформації з високою швидкістю і на велику відстань по існуючій абонентській лінії.

У більшості українських міст, послуги з передачі даних по теперішній час надаються на основі морально і технічно застарілої технології, нездатною забезпечити прийнятну якість послуг.

Важливим проривом за останні роки стає поява технології PON - це надання послуг з оптичного волокна, а не по мідним мережам, які не відповідають вимогам сьогоdnішнього дня, а саме: не забезпечують належного рівня якості; не мають можливості одночасно надавати послуги великій кількості абонентів. Оптичні мережі, в свою чергу, покривають

величезні відстані, на основі технології PON можна розвивати телекомунікаційні сервіси і підвищувати якість послуг.

Зважаючи на наведені вище аргументи, тема роботи є актуальною. Об'єктом дослідження є мережі широкосмугового доступу (ШСД). Предметом дослідження є побудова мереж ШСД на основі технології PON. Завданнями роботи є аналіз послуг широкосмугового доступу, а саме послуг, що надаються за технологією PON, аналіз особливостей побудови мереж PON, розгляд архітектури мережі і складу устаткування.

У першому розділі дипломної роботи розглянуті етапи розвитку широкосмугового доступу і послуги, які надаються на його основі та вивчені існуючі технології широкосмугового доступу (xDSL, PON, бездротовий доступ) та виявлено їх основні особливості.

У другому розділі виконано аналіз технології PON, розглянуті різновиди мереж PON, область їх застосування, а також особливості архітектури і обладнання, що застосовується для побудови таких мереж.

У третьому розділі представлено проект з будівництва мережі абонентського доступу з використанням технології пасивної оптичної мережі.

1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ШИРОКОСМУГОВОГО ДОСТУПУ (XDSL, PON, БЕЗДРОТОВИЙ ДОСТУП)

1.1 Опис послуг широкосмугового доступу

Першим по-справжньому широкосмуговим (ШС) сигналом був сигнал кольорового телебачення. Свій подальший розвиток широкосмуговий сигнал отримав в розподільних телевізійних мережах, створених за принципом «антена на під'їзд». Ця технологія збереглася в деяких містах і по сьогоднішній день, але в більшості випадків їй на зміну прийшла система колективного прийому ТВ (СКПТ). У СКПТ сигнал з ефірних і супутникових джерел приймається по широкій смузі на головних станціях кожного району міста і далі транслюється по коаксіальним мережам до кінцевих користувачів. Найбільшим недоліком таких мереж є мала пропускна здатність коаксіального кабелю і великий рівень завад. [1]

З 90-х років в широкосмугових мережах став використовуватися оптичний кабель. Крім забезпечення найвищої швидкості широкосмугового доступу, до його плюсів можна віднести мале погонне загасання сигналу (що дозволило створювати як міські, так і міжміські мережі зв'язку), високу завадозахищеність (малу схильність до електричних завад і шумів) і захищеність мереж від несанкціонованого доступу. Спершу ціна на оптичний кабель та приймально-передавальне обладнання для широкосмугового доступу значно перевищували ціну коаксіального аналога, тому для реалізації широкосмугового доступу деякий час використовувалася технологія гібридних волоконно-коаксіальних мереж (ГВКМ), яка об'єднувала розрізнені коаксіальні мережі в одну велику мережу. Зараз для нових споруджуваних широкосмугових мереж рішення лежить в рамках більш широкого використання оптоволокна, з огляду на зниження цін на оптичне обладнання та оптичний кабель.

Залежно від глибини проникнення оптоволокна від головної станції та вузла передачі даних до абонента, стали виділяти ряд технологій

широкопasmового доступу. Технологія FTTx концепція реалізації будівництва мережі доступу або будь-якої комп'ютерної мережі, у якій від вузла зв'язку до певного місця (точка X) доходить волоконно-оптична лінія передачі. Вузол доступу FTTx можна розділити на дві складові: активна частина (Ethernet-комутатор, джерело безперебійного живлення, контролер моніторингу стану вузла) і пасивна частина (захисна шафа, оптичний крос, ввідно-розподільчий пристрій).

Всі оператори, і фіксовані, і мобільні, почали гонку за швидкістю передачі даних, все більш активно впроваджуючи послуги широкопasmового доступу. У операторів мобільного зв'язку на роль послуг широкопasmового доступу «претендують» сервіси 3G та 4G, в операторів фіксованого зв'язку - широкопasmовий доступ за технологіями xDSL, PON, що перетворилися на масову послугу, а також широкопasmовий бездротовий доступ, що надається з використанням технологій Wi-Fi і WiMAX. Не можна не згадати і операторів кабельного телебачення, що надають послуги ШСД.

Оператори, які мають мережі широкопasmового доступу, бажаючи наповнити мережі вмістом, впроваджують варіанти IPTV, яке сміливо можна віднести до контент-пasmуг.

Широкопasmовий доступ в Інтернет називають також високошвидкісним доступом, що відображає сутність даного терміну - доступ в Мережу на високій швидкості - від 128 кбіт/с і вище. Сьогодні, коли і 100 Мбіт/с є доступними для домашніх абонентів, поняття «висока швидкість» стало суб'єктивним, залежним від потреб користувача. Але термін широкопasmовий доступ був введений за часів широкого поширення комутованого доступу (dial-up), коли з'єднання з Інтернетом встановлюється за допомогою модему, підключеного до телефонної мережі загального користування. Ця технологія підтримує швидкість максимум у 56 кбіт/с. Широкопasmовий доступ передбачає застосування інших технологій, які забезпечують значно більш високі швидкості.

Приблизно на початку 2000-х рр. технологію dial-up активно почали заміщати технології xDSL (ADSL, HDSL та ін.), що забезпечують значно більш високу швидкість доступу. Так, наприклад, технологія ADSL2 + дозволяє завантажувати дані з максимальною швидкістю 24 Мбіт/с, а віддавати - зі швидкістю 3,5 Мбіт/с. Для отримання доступу за технологією xDSL також використовується модем і телефонна лінія, однак, на відміну від комутованого доступу, лінія не займається повністю, тобто залишається можливість користуватися і телефоном, і Інтернетом одночасно.

На сьогоднішній день широкопasmовий доступ в Інтернет надається за різними технологіями - як дротовим, так і бездротовим. До перших відносяться сімейство технологій xDSL, Ethernet (передача даних в комп'ютерних мережах з використанням витої пари, оптичного кабелю або коаксіального кабелю), сімейство технологій FTTx і PLC (Power line communication - передача даних з використанням ліній електропередачі).

Сьогодні активно впроваджуються і розвиваються технології бездротового інтернет-доступу, особливо мобільного. Фіксований бездротовий доступ забезпечується за допомогою супутникового Інтернету, технологій Wi-Fi і фіксованого WiMAX. Однак вже багато операторів стільникового зв'язку і бездротові провайдери пропонують мобільний Інтернет. Стільникові оператори розвивають технології третього та четвертого покоління (3G, 4G), куди входять такі стандарти зв'язку, як UMTS, CDMA, HSDPA та ін. Конкурує з даними технологіями мобільний WiMAX.

Найбільшим оператором широкопasmового доступу в Україні є компанія «Укртелеком», представлена в усіх регіонах країни.

1.2 Технологія xDSL

xDSL являє собою сімейство технологій високошвидкісного доступу до онлайн-служб по існуючій мідній абонентській телефонній лінії, що з'єднує телефонні станції з індивідуальними абонентами. Для організації лінії DSL (Digital Subscriber Line) використовуються існуючі телефонні лінії; дана технологія не вимагає прокладання нових телефонних кабелів. В результаті ми отримуємо цілодобовий доступ в мережу Інтернет зі збереженням штатної роботи звичайного телефонного зв'язку. Завдяки багатьом технологіям DSL користувач може вибрати відповідну саме йому швидкість передачі даних - від 32 Кбіт/с до більш ніж 50 Мбіт/с. Ці технології дозволяють використовувати звичайну телефонну лінію для таких широкосмугових систем, як відео за запитом або дистанційне навчання. Технології сьогодення DSL приносять можливість організації високошвидкісного доступу в Інтернет до кожного будинку або до кожного підприємства середнього та малого бізнесу, перетворюючи звичайні телефонні кабелі в високошвидкісні цифрові канали. При цьому швидкість передачі даних залежить тільки від якості і протяжності лінії, що знаходяться між користувачем і провайдером. При цьому провайдери найчастіше дають можливість користувачеві вибрати швидкість передачі, найбільш відповідну його індивідуальним потребам.

Телефонний апарат сприймає акустичні коливання, що являють собою природні аналогові сигнали і перетворює їх в електричний сигнал, амплітуда і частота якого постійно змінюється. Модем дозволяє демодулювати аналоговий сигнал і перетворити його в послідовність нулів і одиниць цифрової інформації, яка сприймається комп'ютером.

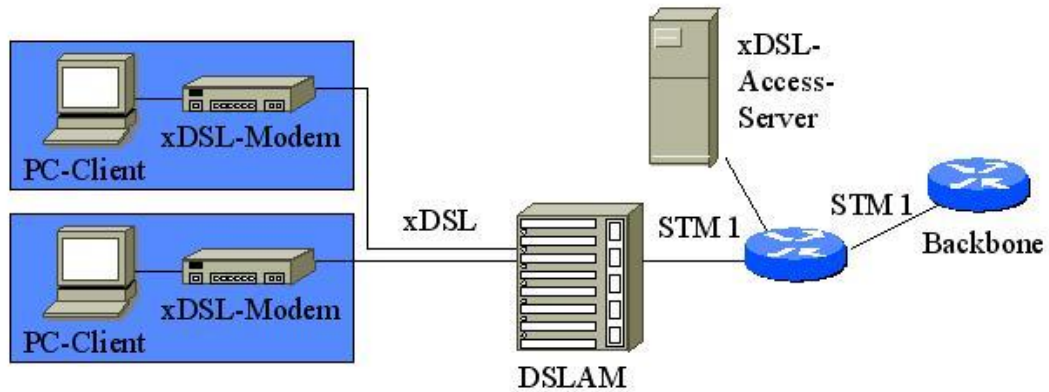


Рисунок 1.1 - Технологія xDSL [10]

DSL - це технологія, яка виключає необхідність перетворення сигналу з аналогової форми в цифрову форму і навпаки. Цифрові дані передаються на ваш комп'ютер без змін, що дозволяє використовувати ширшу смугу частот телефонної лінії. При цьому можливо одночасно використовувати й аналоговий телефонний зв'язок, і цифрову високошвидкісну передачу даних по тій самій лінії, розділяючи спектри цих сигналів.

У сімействі xDSL об'єднані як симетричні, тобто мають однакову швидкість прийому і передачі, так і асиметричні технології, у яких швидкість від абонента істотно нижче потоку даних, що надходить до абонента.

Асиметричні технології

“ADSL - Asymmetric Digital Subscriber Line - асиметрична цифрова абонентська лінія. У даній технології швидкість передачі даних від мережі до користувача значно вище, ніж швидкість передачі даних від користувача в мережу. Така асиметрія, у поєднанні зі станом «постійно встановленого з'єднання» (коли виключається необхідність кожного разу набирати телефонний номер і чекати установки з'єднання), робить технологію ADSL ідеальною для організації доступу в мережу Інтернет і т.д.[20] При організації таких з'єднань користувачі зазвичай отримують набагато більший обсяг інформації, ніж передають. Технологія ADSL забезпечує швидкість «низхідного» потоку даних в межах від 1,5 Мбіт/с до 8 Мбіт/с і швидкість

«висхідного» потоку даних від 640 Кбіт/с до 1,5 Мбіт/с. ADSL дозволяє передавати дані зі швидкістю 1,54 Мбіт/с на відстань до 5,5 км по одній парі проводів. Швидкість передачі близько 6 - 8 Мбіт/с може бути досягнута при передачі даних на відстань не більше 3,5 км по проводах діаметром 0,5 мм.»[20]

Варіанти ADSL:

- R-ADSL - Rate-Adaptive Digital Subscriber Line - цифрова абонентська лінія з адаптацією швидкості з'єднання – технологія забезпечує таку саму швидкість передачі даних, що і технологія ADSL, але до цього ж дозволяє адаптувати швидкість передачі до протяжності і стану використовуваної витої пари проводів. Використовуючи технологію R-ADSL з'єднання на різних телефонних лініях матиме різну швидкість передачі даних. Швидкість передачі даних може вибиратися при синхронізації лінії, під час з'єднання або за сигналом, що надходить від станції.

- ADSL2 і ADSL2 + (G.992.3, G.992.4 і G.992.5) були спеціально розроблені для того, щоб досягти кращої продуктивності на протяжних лініях і збільшити швидкості передачі до 12 Мбіт/с в одному напрямку і до 1 Мбіт/с - в другому. Стандарт ADSL2 + базується на ADSL та дозволяє збільшити частоту downstream-передачі з 1,1 до 2,2 МГц. Теоретично пікова швидкість передачі даних при використанні ADSL2 + може досягати 25 Мбіт/с.[5]

G.Lite (ADSL.Lite) являє собою більш дешевий і простіший в установці варіант технології ADSL, що забезпечує швидкість «низхідного» потоку даних до 1,5 Мбіт/с і швидкість «висхідного» потоку даних до 512 Кбіт/с або по 256 Кбіт/с в обох напрямках.

IDSL - ISDN Digital Subscriber Line - цифрова абонентська лінія ISDN - забезпечує повністю дуплексну передачу даних на швидкості до 144 Кбіт/с. У порівнянні з ADSL можливості IDSL обмежуються тільки передачею даних. На відміну від ISDN лінія IDSL не є комутованою лінією, тобто це не приводить до збільшення навантаження на комутаційне обладнання

провайдера. Також лінія IDSL є постійно увімкненою (як і будь-яка лінія, організована з використанням технології DSL), в той час як ISDN вимагає встановлення з'єднання.

Симетричні технології

HDSL - High Bit-Rate Digital Subscriber Line - цифрова високошвидкісна абонентська лінія - зі швидкостями передачі даних 1,544 Мбіт/с по двом парам проводів і 2,048 Мбіт/с по трьом парам проводів. Телекомунікаційними компаніями HDSL використовується як альтернатива лініям T1 / E1. Лінії T1 використовуються в Північній Америці і забезпечують швидкість передачі даних 1,544 Мбіт/с, а лінії E1 використовуються в Європі і забезпечують швидкість передачі даних 2,048 Мбіт/с. Не дивлячись на те, що відстань, на яку система HDSL передає дані (а це близько 3,5 - 4,5 км), менше, ніж при використанні технології ADSL, для недорогого, але ефективного, збільшення довжини лінії HDSL телефонні компанії встановлюють спеціальні повторювачі.[21]

HDSL2 - результат розвитку технології HDSL, забезпечує аналогічні HDSL характеристики, але по одній парі проводів.

SDSL - Single Line Digital Subscriber Line - цифрова однолінійна абонентська лінія передає потік даних по двох проводах зі швидкістю до 2,048 Мбіт/с на відстань до 3 км. На цій відстані технологія SDSL може навіть забезпечувати роботу системи організації відеоконференцій, коли потрібно підтримувати однакові потоки передачі даних в обидві сторони. У певному сенсі технологія SDSL є попередником технології HDSL2.

SHDSL - Simmetric High Speed Digital Subscriber Line - симетрична цифрова абонентська лінія високої швидкості - забезпечує швидкість передачі даних до 2,312 Мбіт/с по двох проводах і вдвічі більшу швидкість по чотирьох. Причому дальність передачі даних може бути досить великою (до 10 км).

VoDSL - Voice over DSL, тобто "Голос через DSL" - можливість реалізації пакетної, накладеної на існуючу мережу доступу xDSL. У абонента

ставляться інтегровані пристрої доступу (IAD). Інформація від абонента надходить в мультиплексор доступу DSLAM і далі на маршрутизатор Інтернет і шлюз мовних сигналів, який забезпечує взаємне перетворення телефонних сигналів мережі доступу DSL в пакетному форматі і сигналів з тимчасовим поділом каналів TDM комутаційної станції PSTN(Public Switched Telephone Network). Смуга пропускання каналу розподіляється динамічно між додатками, що її використовують. VoDSL є результатом конкурентної боротьби традиційних та альтернативних операторів зв'язку. Устаткування VoDSL дозволяє передавати від 2 до 16 мовних каналів через DSL лінію.

VDSL - Very High Bit-Rate Digital Subscriber Line - супершвидкісної цифрова абонентська лінія - технологія, яка може працювати як в асиметричному, так і в симетричному режимі. У асиметричному режимі швидкість "вхідного" потоку знаходиться в межах від 13 до 52 Мбіт/с і "висхідного" - від 1,5 до 2,3 Мбіт/с по одній мідній парі телефонних дротів; в симетричному режимі підтримуються швидкості до 26 Мбіт/с. Однак максимальна відстань передачі даних для цієї технології - 1300 м. "Технологія VDSL може розглядатися як економічно ефективна альтернатива прокладанню волоконно-оптичного кабелю до кінцевого користувача. Технологія VDSL може використовуватися з тими ж цілями, що і ADSL; крім того, вона може використовуватися для передачі сигналів телебачення високої чіткості (HDTV), відео за запитом і т.д." [20]

Технології DSL, що дозволяють передавати голос, дані і відеосигнал по існуючій кабельній мережі, що складається з витих пар телефонних дротів, найкращим чином відображають потребу користувачів в високошвидкісних системах передачі.

Проблема даної технології – це якість передачі голосових сигналів: затримки, пропажа пакетів, які дуже залежать від якості каналу і від величини Інтернет трафіку. Пом'якшує проблему настройка служби QoS, в

якій мовний трафік має пріоритетне значення, але при дуже перевантажених каналах якість зв'язку може погіршуватися.

Залежність максимальної довжини абонентської лінії від швидкості передачі представлена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Залежність максимальної довжини абонентської лінії від швидкості передачі

Технологія доступу	Швидкість передачі, Мбіт/с	Довжина лінії, км
SDSL	0,75	3,6
ADSL/HDSL	2,0	4,8
ADSL	6,0	3,6
	9,0	2,7
VDSL	13,0	1,4
	26,0	0,9
	52,0	0,3

1.3 Технологія PON

Технологія PON (Passive Optical Network) - технологія пасивних оптичних мереж. Розподільна мережа доступу заснована на волоконно-кабельній архітектурі з пасивними оптичними розгалужувачами на вузлах і забезпечує можливість високошвидкісної передачі різних додатків (голос, дані, відео). При цьому архітектура PON володіє необхідною ефективністю нарощування і вузлів мережі, і пропускної здатності, в залежності від теперішніх і майбутніх потреб абонентів.[2]

Основна ідея архітектури PON - використання лише одного приймально-передавального модуля OLT (Optical Line Terminal) для передачі інформації безлічі абонентських пристроїв ONT (Optical Network Terminal), що також називають ONU (Optical Network Unit) і прийому інформації від них. Детально дана технологія буде розглянута в розділі 2.[22]

1.4 Бездротовий доступ

Організація мережі на базі бездротових ліній подібна до структури кабельної мережі. Основна відмінність полягає в тому, що сигнал цифрових даних (наприклад, що містить запитану з мережі Інтернет інформацію), модулюється в радіочастотний канал, по якому здійснюється передача на антену, встановлену на будівлі користувача. Від антени коаксіальний кабель йде до конвертер, який перетворює сигнал з СВЧ-діапазону в частотний діапазон кабельного телебачення. Після цього сигнал надходить на модем, розташований в приміщенні користувача. Модем демодулює вхідний сигнал даних і направляє його на персональний комп'ютер (рисунок 1.2.)



Рисунок 1.2 - Бездротовий доступ [11]

Технологія бездротової абонентської лінії має кілька переваг у порівнянні з альтернативними технологіями доступу. Бездротові лінії можуть бути розгорнуті в тих місцях, де через неможливість проведення робіт, щільності або «давнини» забудови просто не може бути прокладена кабельна лінія. По-друге, для певних відстаней і розташування населених пунктів

організація бездротового доступу може бути просто набагато економічно ефективнішою в порівнянні з альтернативними технологіями. Тут необхідно враховувати і витрати праці, і довжину абонентської лінії. Вартість кабельних систем в значній мірі залежить від відстані між будівлями і від ступеня концентрації груп абонентів. У той же час вартість бездротових систем залежить в основному від вартості абонентського обладнання, яке має тенденцію до здешевлення паралельно з удосконаленням технологій. Той факт, що радіосистеми забезпечують охоплення певної зони, означає набагато легше планування мережі в порівнянні з кабельними системами. Бездротові системи дозволяють набагато більш оперативно реагувати на зміни потреб і кількості користувачів, в той час як планування кабельних систем багато в чому базується на попередніх оцінках. На практиці можливість використання супутників для доступу в Інтернет і високошвидкісної передачі даних розділяється на рішення двох великих завдань - організація магістральних ліній передачі даних і організація високошвидкісного доступу окремих кінцевих користувачів. Під кінцевими користувачами слід розуміти не тільки індивідуальних користувачів, а й великі корпорації, середні і малі підприємства, а також різні офіси. Супутникові системи мають кілька привабливих рис з точки зору надання послуг високошвидкісної передачі даних і доступу в мережу Інтернет. Перш за все - це економічна ефективність для провайдера. Зона охоплення супутника така, що він може обслуговувати дуже велику кількість абонентів. Причому вартість організації обслуговування абсолютно не залежить від географічного положення користувача в межах зони охоплення супутника. Супутниковий канал може прийматися в будь-якій точці зони охоплення, незалежно від умов місцевості. Хоча супутникові системи мають багато плюсів, що дозволяють розглядати їх в якості однієї з провідних технологій організації високошвидкісної передачі даних, є також і негативні аспекти. Супутникові системи доступу мають не найвищу швидкість передачі даних.

Тепер зупинимося на деяких конкретних технологіях бездротового широкосмугового доступу. Почнемо з короткого розгляду двох досить відомих. Серед безлічі технологій бездротового доступу місцева мультисотова, «точка - многоточка» система розподілу сигналів LMDS (Local Multipoint Distribution System), є однією з систем, що надають користувачеві послуги широкосмугового мультимедіа. Цю систему іноді називають системою стільникового КТВ («cellular cable TV»). Використання стільникового принципу дозволяє уникнути багатьох проблем, пов'язаних з умовою прямої видимості, виконання якого є обов'язковим у системі бездротового широкосмугового доступу MMDS. Несучі сусідніх сот мають однакові номінали частот, але різну поляризацію. LMDS здатна забезпечити користувача новими видами послуг інтерактивного мультимедіа, включаючи телефон і високошвидкісну передачу даних. Ця технологія дозволяє деяким провайдерам (наприклад, провайдерам послуг міжміського та міжнародного зв'язку), які не мають власної інфраструктури абонентського доступу, надавати порівняно недорого і дуже швидко послуги зв'язку користувачам зі сфери бізнесу і індивідуальним користувачам. При цьому антена користувача повинна знаходитися в межах прямої видимості LOS (Line of Sight) з стільниковим вузлом, підключеним до мережі, що забезпечує користувача всіма необхідними послугами зв'язку.

LMDS особливо добре підходить для міських умов з високою щільністю населення, а, отже, і потенційних користувачів, де малі габарити передавача і мала площа соти є цілком прийнятними і де завдяки цьому ціни за надані послуги є привабливими для користувача. Однак настільки малі розміри сот можуть виявитися неприйнятними в приміських і сільських районах, де потрібно мати велике число передавачів для виконання умови прямої видимості.

Іншою досить відомою системою широкосмугового бездротового доступу є багатоканальна багатоточкова або мікрохвильова багатоточкова розподільна система абонентського доступу MMDS (Multichannel

(Microwave) Multipoint Distribution System (Service)). Ця система дуже схожа на LMDS, але працює в діапазоні частот 2,4 ГГц, причому робочий діапазон частот MMDS обмежений в порівнянні з LMDS. В даний час діапазон частот MMDS використовується провайдерами кабельного телебачення (КТБ) для подачі широкоповного аналогового телевізійного сигналу користувачам через головні вузли мережі КТБ. В результаті процесу лібералізації послуг зв'язку цей діапазон частот відкритий також для надання інших послуг, включаючи телефон і безліч інтерактивних послуг.

На відміну від LMDS, MMDS менш чутлива до зовнішніх впливів у вигляді дощу і грози. Тому вимоги до допустимого віддалення від стільникового вузла є менш суворими в порівнянні з LMDS. Так, MMDS покриває площу в радіусі близько 80 кілометрів, в той час як LMDS має радіус дії не більше 10 кілометрів.

Смуга частот 2,2-2,7 ГГц в системі MMDS використовується для передачі відеосигналу 33-х телевізійних каналів від передавальних антен до приймальних антен користувачів. Абоненти в межах зони радіусом близько 50 кілометрів можуть приймати ці сигнали. При цифровій обробці і компресії відеосигналу кількість каналів може бути збільшено до 100-150.

MMDS може використовуватися для передачі як аналогових, так і цифрових відеосигналів. Прийом аналогового телевізійного сигналу вимагає відносно простої антени, встановленої на даху будинку користувача, яка містить перетворювач лінійного телевізійного сигналу в відеосигнал. У разі цифрового варіанту MMDS необхідний більш складний і дорогий перетворювач. У виробленому в даний час обладнанні MMDS передбачена можливість не тільки передачі телевізійних сигналів, але і надання послуг передачі мови і високошвидкісної передачі даних.

В якості ще одного прикладу технологій бездротового широкопсмугового доступу зупинимося на системі прямого супутникового мовлення DBS (Direct Broadcast Satellite). Це нове покоління обладнання супутникового телевізійного мовлення. При використанні цифрових методів

перетворення і передачі телевізійних сигналів і малогабаритної прийомної антени ця технологія стає дуже привабливою для користувачів. Декодування прийнятого в цифровому форматі сигналу відбувається в блоці розділення/об'єднання і перетворення сигналів обладнання користувача STB (Set Top Box), що має вбудовані інтелектуальні функції, які забезпечують надання безлічі нових послуг - таких, як інтерактивне телебачення і надання інформації на вимогу.

Технологія прямого супутникового мовлення BSS (Broadcast satellite services) працює в частині Ku - діапазону, займаючи спектр частот 12,2 - 12,7 ГГц. Користувачі DBS можуть приймати 150 - 200 відеоканалів, використовуючи компресію типу MPEG - 2. Крім передачі відео, деякі провайдери мережевих послуг планують широкопasmову передачу даних в Ku - діапазоні. Сучасні системи DBS підтримують передачу даних від мережі Інтернет до абонента зі швидкістю до 400 Кбіт/с, а для передачі сигналів управління від абонента до мережі використовують стандартний канал тональної частоти (ТЧ).

1.5 Висновки до розділу 1

У даному розділі розглянуто технології широкопasmового доступу, що на даний момент використовуються, такі як: xDSL – це технологія високошвидкісного доступу до онлайн-служб по існуючій мідній абонентській телефонній лінії, що з'єднує телефонні станції з індивідуальними абонентами, PON – це технологія пасивних оптичних мереж, розподільна мережа доступу якої заснована на волоконно-кабельній архітектурі з пасивними оптичними розгалужувачами на вузлах і забезпечує можливість високошвидкісної передачі різних додатків та бездротовий доступ, основна відмінність якого, полягає в тому, що сигнал цифрових даних модулюється в радіочастотний канал, по якому здійснюється передача на антену, встановлену на будівлі користувача.

2 ПРИНЦИПИ ТЕХНОЛОГІЇ PON

2.1 Загальний опис особливостей технології PON

Розробка оптичного волокна з його практично необмеженою пропускною здатністю, відкрила двері для масового впровадження магістральних і міських волоконно-оптичних мереж. Використання волоконно-оптичного кабелю замість мідного дозволило істотно зменшити вартість обладнання і експлуатації і значно збільшило якість обслуговування (QoS). На цих підставах відбувається перехід від мідних кабельних систем до систем FTTC (Fiber-To-The-Curb), коли волокно доходить до оптичного розподільного вузла, одного на кілька будівель, далі - до систем FTTB (Fiber-To-The-Building), коли волокно доходить до конкретного будинку, і, нарешті, до систем FTTH (Fiber-To-The-Home), коли волокно заводиться в квартиру користувача. На даний момент в Україні здійснюються всі перераховані системи. На рисунку 2.1. представлена типова мережа FTTx.

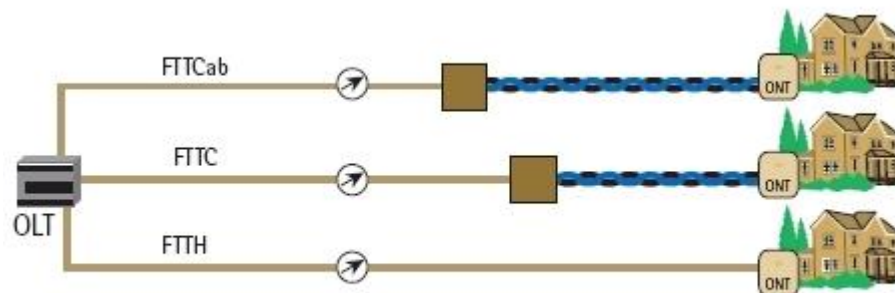


Рисунок 2.1 - Типова мережа FTTx [12]

- Fiber-to-the-Cabinet (FTTCab) - Волокно-у-розподільчу шафу
- Fiber-to-the-Curb (FTTC) - Волокно-у-колодязь/розподільчу вуличну тумбу/шафу і т.д.
- Fiber-to-the-Home (FTTH) - Волокно-у-дім
- Fiber-to-the-Premises (FTTP) - Волокно-в-приміщення

- Fiber-to-the-Office (FTTO) - Волокно-в-офіс
- Fiber-to-the-User (FTTU) - Волокно-до-користувача і т.д.

Як відомо, в активній оптичній мережі для розподілу оптичного сигналу використовуються активні мережеві пристрої - комутатори, маршрутизатори, мультиплексори. В результаті роботи цих пристроїв трафік потрапляє саме до того користувача, якому він адресований, тобто імітується з'єднання «точка-точка». Трафік, що надходить від користувачів в зворотньому напрямку, не зазнає колізій за рахунок буферизації пакетів в активному обладнанні. В технології пасивних оптичних мереж PON, не використовується активне обладнання для побудови мережі. Тому пасивна оптична мережа реалізує топологію «точка-багатоточка», дозволяючи по одному оптичному волокну надавати послуги доступу 32 окремим користувачам, а в деяких випадках - навіть 128.

Суть технології PON полягає в тому, що між приймальнопередавальним модулем центрального вузла OLT (optical line terminal - термінал оптичної лінії) і віддаленими абонентськими вузлами ONT (optical network terminal - оптичний мережевий термінал) створюється повністю пасивна оптична мережа, що має топологію дерева. Архітектура описаної мережі представлена на рисунку 2.2.

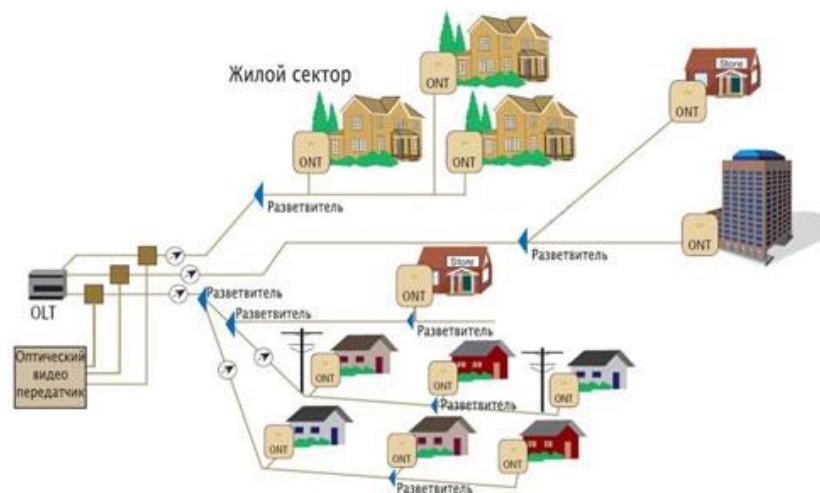


Рисунок 2.2 - Архітектура мережі PON [12]

У проміжних вузлах дерева розміщуються пасивні оптичні розгалужувачі (сплітери) - компактні пристрої, які не потребують живлення і обслуговування. Один приймально-передавальний модуль OLT дозволяє передавати інформацію безлічі абонентських пристроїв ONT. Число ONT, підключених до одного OLT, може бути досить великим, наскільки дозволяє бюджет потужності і максимальна швидкість приймально-передавальної апаратури. В OLT і ONU вбудовані мультиплексори WDM, що розділяють вхідні і вихідні потоки.[25] OLT забезпечує передачу голосу і даних (прямий потік) на довжині хвилі 1490 нм, а ONT забезпечує зворотний потік на довжині хвилі 1310 нм, що дозволяє здійснювати передачу в обох напрямках по одному волокну без взаємного впливу сигналів. Ще одна довжина хвилі - 1550 нм - використовується для передачі відеосигналу.

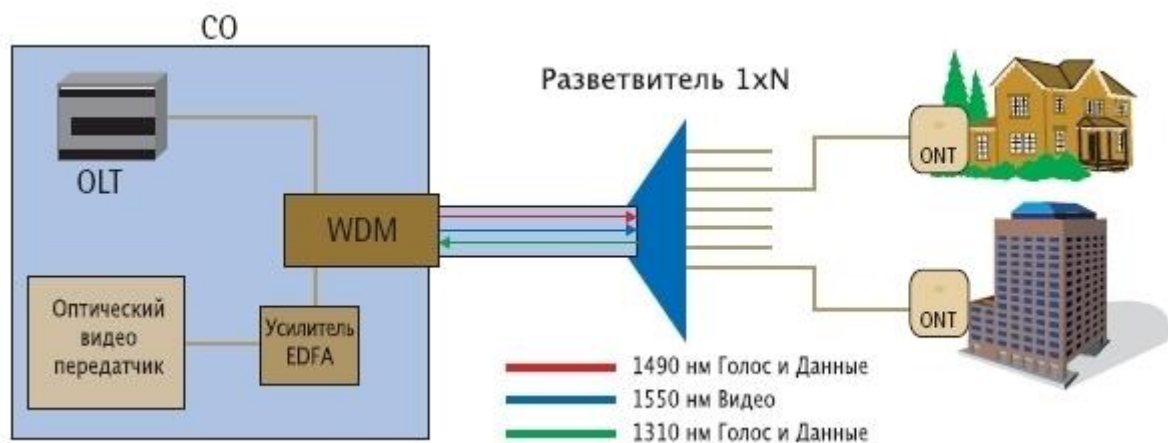


Рисунок 2.3 - Довжини хвиль і сервіси в FTTx мережі [12]

Прямий потік на рівні оптичних сигналів, є широкомовним. Кожен ONT, читаючи адресні поля, виділяє з загального потоку призначену лише йому частину інформації. Тобто, ми маємо справу з розподіленим демультиплексором. Всі абонентські вузли ONT ведуть передачу у зворотному потоці на одній і тій самій довжині хвилі, використовуючи концепцію множинного доступу з тимчасовим поділом TDMA. Для виключення можливості перетину сигналів від різних ONT, для кожного

встановлюється свій індивідуальний розклад по передачі даних з урахуванням поправки на затримку, що пов'язана з віддаленням даного ONT від OLT. Це завдання вирішує протокол TDMA MAC.[25] У зворотному напрямку, тобто до OLT, PON мережа являє собою мережу типу багатоточка - точка. Для запобігання колізій в передачі даних, які прибувають на розгалужувач одночасно від різних ONT, застосовується множинний доступ з поділом за часом (TDMA). TDMA дозволяє відправляти дані від кожного ONT на OLT в певний проміжок часу. OLT виділяє тимчасовий слот кожному ONT для передачі даних, і таким чином пакети, що приходять від різних ONT не конфліктують один з одним.

Сьогодні прийнятна ціна в комбінації з широкими можливостями робить технологію PON дуже привабливою, економічною і здатною забезпечити високу пропускну здатність. При цьому архітектура PON володіє необхідною ефективністю нарощування і вузлів мережі, і пропускну здатності, в залежності від теперішніх і майбутніх потреб абонентів.

2.2 Типи пасивних оптичних мереж

Мережі PON мають декілька різновидів, що відрізняються базовими протоколами передачі.

Таблиця 2.1 - Відповідність технології PON стандартам

Назва	Стандарт (Рекомендація)
EPON (Ethernet PON)	Стандарти IEEE 802.3ah/ IEEE 802.3av
BPON (Broadband PON)	Рекомендація ITU-T G.983.x
APON (ATM PON)	Рекомендація ITU-T G.983.x
GPON (Gigabit PON)	Рекомендація ITU-T G.984.x

Спочатку було розроблено технологію APON, яка базувалася на передачі інформації в осередках структури ATM зі службовими даними. В

цій технології забезпечувалася швидкість передачі прямого і зворотного потоків по 155 Мбіт/с в симетричному режимі або 622 Мбіт/с в прямому потоці і 155 Мбіт/с у зворотному в асиметричному режимі. Задля уникнення накладення даних, що надходять від різних абонентів, OLT надсилав на кожен ONU (Optical Network Unit – оптичний мережний блок) службові повідомлення з дозволом на відправлення даних. В даний час APON в своєму первісному вигляді майже не використовується.

Подальше вдосконалення технології призвело до створення нового стандарту - BPON. У ньому швидкість прямого і зворотного потоків доведена до 622 Мбіт/с в симетричному режимі або 1244 Мбіт/с і 622 Мбіт/с в асиметричному режимі. Передбачена можливість передачі трьох основних типів інформації (голос, відео, дані), при цьому для потоку відеоінформації виділена довжина хвилі 1550 нм. BPON дозволяє організовувати динамічний розподіл смуги між окремими абонентами. Після розробки високошвидкісної технології GPON, BPON майже перестало використовуватися через економічні причини.

Успіх технології Ethernet в локальних мережах і побудова на їх основі оптичних мереж доступу визначив розробку в 2000 р. нового стандарту - EPON. Мережі EPON розраховані на передачу даних зі швидкістю прямого і зворотного потоків 1 Гбіт/с на основі IP-протоколу для 16 або 32 абонентів.[8] Виходячи зі швидкості передачі, в інформаційному просторі часто фігурує назва GEPON - Gigabit Ethernet PON, яке також відноситься до стандарту IEEE 802.3ah.[7] Дальність передачі таких систем досягає 20 км. Для прямого потоку використовується довжина хвилі 1490 нм, 1550 нм резервується для відео. Зворотній потік передається на довжині хвилі 1310 нм. Щоб уникнути конфліктів між сигналами зворотнього потоку застосовується спеціальний протокол управління безліччю вузлів MPCP (Multi-Point Control Protocol). GEPON має підтримку операції обміну інформацією між користувачами (bridging).

Для операторів, що будують масштабні розгалужені мережі з системами резервування, найвдалішою вважається технологія GPON, швидкість передачі якої - 1244 Мбіт/с і 2488 Мбіт/с в асиметричному режимі і 1244 Мбіт/с в симетричному режимі. За основу прийнято базовий протокол SDH - Synchronous Digital Hierarchy з усіма наслідками, що мають свої переваги і недоліки. Можливе підключення до 32 або 64 абонентів на відстані до 20 км (з можливістю розширення до 60 км). GPON має підтримку як трафіку ATM, так і IP, мова і відео (інкапсульовані в кадри GEM - GPON Encapsulated Method), а також SDH. Мережа працює в синхронному режимі з постійною тривалістю кадру. Лінійний код NRZ - Non Return to Zero зі скремблюванням забезпечують високу ефективність смуги пропускання. Єдиним значущим недоліком GPON є висока вартість обладнання.[23]

Порівняльна таблиця по характеристикам трьох видів PON представлена в таблиці 2.2.

Наступним досить ефективним кроком для збільшення швидкості передачі побудованих систем PON є застосування систем оптичного ущільнення WDM - Wavelength Division Multiplexing (WDM PON). В Рекомендації ITU-T G.983.2 зазначена можливість передачі сигналів на виділених окремо для кожного абонента довжинах хвиль. У мережі передається загальний потік, а кожен абонентський термінал має оптичний фільтр для «розпізнання» своєї довжини хвилі. Технічно можливо забезпечити продуктивність системи зі швидкостями близько 4-10 Гбіт/с по кожному каналу. Після даної реконструкції провайдери можуть отримати можливість налаштовувати пропускну здатність відповідно до вимог клієнта і додавати або видаляти пристрої ONU без втручання в загальну систему. Деякі різновиди PON мають свої переваги і недоліки, але в цілому BPON, заснований на платформі ATM, в даний час не забезпечує високу швидкість передачі і практично не має перспектив. Технологія GPON вдала для мереж великої протяжності і ємності. Базова платформа SDH забезпечує добрий захист інформації в мережі, досить широку смугу пропускання та інші

переваги. Однак більш складне і дороге обладнання добре окупається при високому ступені завантаження.

Таблиця 2.2 - Порівняльна таблиця по характеристикам трьох видів PON[23]

Характеристики	BPON	EPON/GEAPON	GPON
Швидкість передачі, прямий/зворотній потік, Мбіт/с	622/155, 622/622	1000/1000	1244/1244, 2488/1244, 2488/2488
Базовий протокол	ATM	Ethernet	SDH /GFP
Лінійний код	NRZ	8B10B	NRZ
Максимальне число абонентів	32	32 (64)	32 (64)
Максимальний радіус мережі, км	20	10 (20)	20
Довжина хвилі, прямий/зворотній потік (відео), нм	1490/1310 (1550)	1490/1310 (1550)	1490/1310 (1550)
Динамічний діапазон, дБ:			
– клас А	5-20		5-20
– клас В	10-25		10-25
– клас С	15-30		15-30
Інтерфейс РХ-10 (10 км)		5-20	
Інтерфейс РХ-20 (20 км)		10-24	

У GEAPON, на відміну від GPON, відсутні специфічні функції підтримки TDM, синхронізації і захисних перемикачів, що робить цю технологію найбільш економічною з усього сімейства. Зокрема це стосується невеликих операторів, орієнтованих на IP-трафік і IPTV. До того передбачається подальший розвиток цього сімейства - 10GEAPON (по аналогії з 10 Gb Ethernet). Тому через найкраще співвідношення ціни та якості при середньому розмірі мережі, в нашій країні варіант GEAPON набув найбільшого поширення. Як показано в таблиці 2.3, для PON є кілька різних технологій.[23]

Таблиця 2.3 - Характеристики технологій PON

Тип	APON (PON с АТМ)	BPON (широкоосмуг. PON)	GPON (Gigabit-PON)		EPON (Ethernet PON)
Протокол	АТМ	АТМ	АТМ	АТМ и СЕМ	Ethernet+FEC
Стандарт	ITU-T G.983.1 (вкл. Поправку1)	ITU-T G.983.3	ITU-T G.983.1 (Поправка 2)	ITU-T G.984	IEEE 802.3 ah
Архітектура	Симетрична: FTTCab/В/С/Н Асиметрична: FTTCab/В/С	Симетрична: FTTCab/В/С/Н Асиметрична: FTTCab/В/С	Симетрична: FTTCab/В/С/Н Асиметрична: FTTCab/В/С	Симетрична: FTTCab/В/С/Н для багатоквартирних будинків(MDU), FTТВ для бізнесу Асиметрична: FTTCab С/Н/В-MDU	1000BASE-PX10 1000BASE-PX20
Сервіси	Телекомунікаційні послуги для малого бізнесу, телеконсультацій и т.д. Симетрична: FTTCab С/Н/В Цифрові ширококомвні послуги, відео-за-запитом, Інтернет, дистанційне навчання, телемедицина і т.д. Асиметрична: FTTCab С/Н/В Голос: FTTCab С/Н/В	Голос/Дані/Відео/Інші цифрові послуги (ADS)	Голос/Дані	Мовлення, email, обмін файлами, дистанційне навчання і т.д. Симетрична: FTTCab С/Н/В- MDU/Business Послуги цифрового мовлення, відео-за-запитом, завантаження файлів і т.д. Асиметрична:FTTCab С/Н/В-MDUГолос: FTTCab С/Н/В-MDU/Business xDSL: FTTCab С	Послуги «три-в-одному»

Продовження таблиці 2.3 - Характеристики технологій PON

Тип волокна	ITU-T G.652 (одне або два волокна)	ITU-T G.652 (одне волокно)	ITU-T G.652 (одне або два волокна)	ITU-T G.652 (одне або два волокна)	1000BASE-PX10: одне 1000BASE-PX20: два (тип волокна не визначений)
Макс. фізична відст. (ONT- OLT)	20 км	20 км	20 км	10 км (лазерні діоди для 1244.16 МБ/с та вище) 20 км (с різними типами волокон)	1000BASE-PX10:10 км 1000BASE-PX20:20 км
Поділ	До 32	До 32	До 32	До 128	1:16 До 32
Діапазон довжин хвиль	Одне волокно: Прямий потік: 1480-1580 нм Зворотній потік: 1260-1360 нм Два волокна: 1260-1360 нм	Прямий потік: 1260-1360 нм (ATM-PON) Зворотній потік та/або прямий потік: діапазон 1360-1480 Діапазон 1,5 мкм: Основний діапазон: 1480- 1500 нм(прямий потік ATM-PON) Розширений діапазон: (1)1539-1565нм(ADS) (2) 1550-1650 нм (послуги відео)	Одне волокно: Прямий потік: 1480-1580 нм Зворотній потік: 1260-1360 нм Два волокна: 1260-1360 нм	Одне волокно: Прямий потік: 1480-1580 нм Зворотній потік: 1260-1360 нм Два волокна: Прямий/Зворотній 1260-1360 нм	1000BASE-PX10 «три-в-одному» Прямий потік:1490 нм+ PIN Rx Зворотній потік: 1300 нм (недорога PF оптика PIN Rx) 1000BASE-PX20 Прямий потік: 1490 нм+APD Rx Зворотній потік: 1300 нм (DFB оптика+ PIN Rx)

Продовження таблиці 2.3 - Характеристики технологій PON

Швидкість передачі	Симетрична: 155,52/622,08 МБ/с Асиметрична: Прямий потік: 622,08 МБ/с Зворотній потік: 155,52 МБ/с	Симетрична: 155,52/622,08 МБ/с Асиметрична: Прямий потік: 622,08 МБ/с Зворотній потік: 155,52 МБ/с	Симетрична: 155,52/622,08 МБ/с Асиметрична: Прямий потік: 622,08/1244,16М Б/с Зворотній потік: 155,52/622,08 МБ/с	1244,16/ 2488,32 МБ/с Асиметрична: Прямий потік: 1244,16/ 2488,32 МБ/с Зворотній потік: 155,52/622,08/ 1244,16 МБ/с	Симетрична 1,25 ГБ/с
--------------------	--	--	---	--	-------------------------

APON/BPON

“В середині 90-х років загальноприйнятою була точка зору, що тільки протокол АТМ здатний гарантувати прийнятну якість послуг зв'язку QoS між кінцевими абонентами. Тому FSAN, бажаючи забезпечити транспорт мультисервісних послуг через мережу PON, вибрав за основу технологію АТМ. В результаті в жовтні 1998 року з'явився перший стандарт ІТУ-Т G.983.1, що базується на транспорті осередків АТМ в дереві PON і отримав назву АPON (АТМ PON). Далі протягом кількох років з'являється безліч нових поправок і рекомендацій в серії G.983.x швидкість передачі збільшується до 622 Мбіт/с. У березні 2001 р. з'являється рекомендація G.983.3, що додає нові сутності в стандарт PON:

- передачу різноманітних додатків (голосу, відео, дані) - це фактично дозволило виробникам додавати відповідні інтерфейси на OLT для підключення до магістральної мережі і на ONT для підключення до абонентів;

- розширення спектрального діапазону - відкриває можливість для додаткових послуг на інших довжинах хвиль в умовах одного і того ж дерева PON, наприклад, ширококомовне телебачення на третій довжині хвилі (triple play). За розширеним стандартом АPON закріплюється назва ВРОН (broadband PON). АPON сьогодні допускає динамічний розподіл смуги DBA (dynamic bandwidth allocation) між різними додатками і різними ONT і розрахований на надання як широкосмугових, так і вузькосмугових послуг.

Устаткування АPON різних виробників підтримує магістральні інтерфейси: SDH (STM-1), АТМ (STM-1/4), Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, відео (SDI PAL), і абонентські інтерфейси Е1 (G.703), Ethernet 10 / 100Base - TX, телефонія (FXS). Через ширококомовну природу прямого потоку в дереві PON і потенційно існуючу можливість несанкціонованого доступу до даних з боку ONT, якому ці дані не адресовані, в АPON передбачена можливість даних в прямому потоці з використанням техніки шифрування з відкритими

ключами. Необхідності в шифруванні зворотного потоку немає, оскільки OLT знаходиться на території оператора.”[25]

EPON

У листопаді 2000 року комітет LMSC (LAN / MAN standards committee) IEEE створює спеціальну комісію під назвою "Ethernet на першій милі" (EFM, Ethernet in the first mile) 802.3ah, реалізуючи тим сам побажання багатьох експертів побудувати архітектуру мережі PON, найбільш наближену до широко поширеним в даний час мереж Ethernet.[3] “Паралельно йде формування альянсу EFMA (Ethernet in the first mile alliance), який створюється в грудні 2001 р. Фактично альянс EFMA і комісія EFM доповнюють один одного і тісно працюють над стандартом. Якщо EFM концентрується на технічних питаннях і розробці стандарту в рамках IEEE, то EFMA більше вивчає індустріальні та комерційні аспекти використання нової технології.[4] Мета спільної роботи - досягнення консенсусу між операторами і виробниками обладнання та вироблення стандарту IEEE 802.3ah, повністю сумісного з технічною характеристикою магістрального пакетного кільця IEEE 802.17”.[25]

Комісія EFM 802.3ah повинна стандартизувати три різновиди рішення для мережі доступу:

EFMC (EFM copper) -рішення "точка-точка" з використанням витих мідних пар. На сьогоднішній день робота з цього стандарту завершена. З двох альтернатив, між якими розгорнулася основна боротьба - G.SHDSL і ADSL + - вибір був зроблений на користь G.SHDSL.

EFMF (EFM fiber) -рішення, засноване на з'єднанні "точка-точка" по волокну. Тут належить стандартизувати різні варіанти: "дуплекс одним волокном, на однакових довжинах хвиль", "дуплекс одним волокном, на різних довжинах хвиль", "дуплекс по парі волокон", нові варіанти оптичних приймачів.

EFMP (EFM PON) -рішення, засноване на з'єднанні "точка-багатоточка" по волокну. Це рішення, яке є, по суті, альтернативою APON, отримало

схожу назву EPON. Аргументи на користь технології EPON підкріплюються орієнтацією мережі Internet виключно на протокол IP і стандарти Ethernet.

GPON

“Архітектуру мережі доступу GPON (Gigabit PON) можна розглядати як органічне продовження технології APON. При цьому реалізується як збільшення пропускної здатності мережі PON, так і підвищення ефективності передачі різноманітних мультисервісних додатків. Стандарт GPON ITU-T Rec. G.984.3 GPON був прийнятий в жовтні 2003 року.

GPON надає масштабовану структуру кадрів при швидкостях передачі від 622 Мбіт/с до 2,5 Гбіт/с, підтримує як симетричну бітову швидкість в дереві PON для низхідного і висхідного потоків, так і асиметричну і базується на стандарті ITU-T G.704.1 GFP (generic framing protocol - загальний протокол кадрів), забезпечуючи інкапсуляцію в синхронний транспортний протокол будь-якого типу сервісу (в тому числі TDM). Дослідження показують, що навіть в найгіршому випадку розподілу трафіку і коливань потоків утилізація смуги становить 93% в порівнянні з 71% в APON, не кажучи вже про EPON”.[9]

Якщо в SDH розподіл смуги відбувається статично, то GFP (generic framing protocol), зберігаючи структуру кадру SDH, дозволяє динамічно розподіляти смугу.[25]

Порівняння технологій APON, EPON, GPON.

У таблиці 2.4 представлений порівняльний аналіз цих трьох технологій.

Таблиця 2.4 - Порівняльний аналіз технологій PON

Характеристики	APON(BPON)	EPON	GPON
Інститути стандартизації	ITU-T SG15/FSAN	IEEE/EFMA	ITU-T SG15/FSAN
Дата прийняття стандарту	жовтень 1998	липень 2004	жовтень 2003
Стандарт	ITU-T G.981.x	IEEE 802.3ah	ITU-T G.984.x

Продовження таблиці 2.4 - Порівняльний аналіз технологій PON

Швидкість передачі, Прямий/зворотній потік, МБ/с	155/155 622/155 622/622	1000/1000	1244/155,622,1244 2488/622,1244,2488
Базовий протокол	ATM	Ethernet	SHD
Лінійний код	NRZ	8B/10B	NRZ
Максимальний радіус мережі, км	20	20 (>30)	20
Макс. число абонентських вузлів на одне волокно	32	16	64 (128)
Додатки	будь-які	IP, дані	будь-які
Корекція помилок FEC	передбачена	відсутня	необхідна
Довжини хвиль прямого/зворотнього потоків, нм	1550/1310 (1480/1310)	1550/1310 (1310/1310)	1550/1310 (1480/1310)
Динамічний розподіл смуги	наявний	підтримується	наявний
IP-фрагментація	наявна	відсутня	наявний
Захист даних	шифрування відкритими ключами	відсутній	шифрування відкритими ключами
Резервування	наявне	відсутнє	наявне
Оцінка підтримки голосових додатків і QoS	висока	низька	висока

2.3 Області застосування PON, актуальність технології, доступні сервіси

У 1995 році компанії British Telecom, Bell South, Bell Canada, NTT і п'ять інших міжнародних телекомунікаційних компаній зібралися, щоб

сформувати консорціум Full-Service Access Network (FSAN), який був створений для полегшення розвитку стандартів для обладнання мереж доступу. У 1996 році в Сполучених Штатах був підписаний Телекомунікаційний Акт «для підтримки і зменшення регулювання, захисту низьких цін, підвищення якості обслуговування американських споживачів телекомунікаційних послуг і заохочення якнайшвидшого впровадження нових телекомунікаційних технологій».

Міжнародний союз електрозв'язку (ITU) звернув специфікації FSAN в рекомендації. У 1998 році специфікації FSAN для ATM-PON стали міжнародним стандартом і були прийняті ITU як рекомендації G.983.1.

У 2001 році була сформована Рада FTTH, покликана підтримати розвиток FTTH в Північній Америці і виступати в ролі консультанта для законодавства США. В результаті це призвело до появи в 2001 році акту про доступ до Інтернету і широкосмугових послуг, який забезпечив податкові пільги для компаній, які інвестують в широкосмугове обладнання нового покоління.

У 2003 році Федеральна комісія зв'язку США (FCC) скасувала вимоги щодо розв'язування цін на FTТх мережах (зобов'язання RBOC дозволяти CLEC використовувати свою мережу) роблячи, таким чином, цю технологію більш привабливою для основних операторів. Це означає, що RBOC можуть інвестувати в волоконну інфраструктуру на останній милі, без зобов'язання надавати її своїм конкурентам, що має спонукати до масового розгортання FTТх мереж. За деякими оцінками обсяг ринку становить один мільярд доларів тільки для RBOC компаній.

Як результат всіх цих останніх дій, інтерес до FTТх зріс експоненційно:

1. Малий бізнес і абоненти житлового сектора вимагають велику пропускну здатність і більшу кількість послуг

2. FTТх має велику пропускну спроможність оптичного волокна і пропонує велику різноманітність послуг (передачу даних, телефонію, відео) за помірну плату, через те, що велика кількість кінцевих користувачів

спільно використовують пропускну здатність одного волокна, і тому що все обладнання є пасивним.

3. Нові стандарти, які були встановлені ІТУ і Інститут інженерів з електротехніки та електроніки (IEEE) значно поліпшили уніфікованість, ємність, виживаність, безпеку і гнучкість PON відкрили можливість широкомасштабної економії і різкого зниження вартості, які неможливо було уявити до цього.

4. Тепер FTTx пропонується багатьма типами операторів: традиційними операторами місцевого зв'язку (ILEC) і регіональними операторами, сільськими операторами зв'язку (RLEC), компаніями, що надають комунальні послуги, муніципалітетами і т.д.

У таблиці 2.5 наведені можливі сервіси, які можуть бути забезпечені за допомогою PON.

Таблиця 2.5 - Сервіси, які можуть бути забезпечені за допомогою PON[6]

Дані	- високошвидкісний Інтернет; - дані корпоративних користувачів; - приватні лінії; - Frame Relay; - з'єднання АТМ; - інтерактивні ігри; - системи безпеки і моніторингу;
POTS	- одна або декілька телефонних ліній
Відео	- цифрове і аналогове широкомувне відео - телебачення високої чіткості (HDTV) - відео-на-вимогу (VoD) - інтерактивне TV / платне TV

PON для triple play

Більшість великих українських операторів фіксованого зв'язку сьогодні вибирають технології PON з метою впровадження широкомугових послуг, і перш за все triple play.

Вектор розвитку сучасного ринку послуг зв'язку все більш зміщується від кількісного показника, орієнтованого на збільшення ємнісних показників

до якісного, націлений на розширення мережевих можливостей. Якщо ще 10-15 років тому основним завданням телекомунікаційного ринку було задоволення попиту на послугу телефонії, а найбільш важливим показником розвитку мереж зв'язку вважався рівень телефонної щільності, то сьогодні ця проблема в основному вирішена, і подальший розвиток телекомунікацій зв'язується з розширенням спектра послуг, що надаються. Все зростаюча конкуренція за кінцевого користувача не тільки з боку операторів фіксованого зв'язку, а й операторів мобільних мереж, мереж передачі даних, мереж кабельного ТБ вимагає ефективних маркетингових і технічних рішень по створенню нової мережевої інфраструктури. Одним з таких рішень для операторів фіксованого зв'язку є *triple play* - в технічному плані це означає створення універсальної мережевої інфраструктури, орієнтованої на масове надання комплексу широкосмугових послуг зв'язку. Перехід до нової концепції мережевого розвитку на основі NGN передбачає кардинальну модернізацію інфраструктури існуючих мереж зв'язку і вимагає серйозних інвестицій. Серед найбільш витратних етапів - створення інфраструктури мережі доступу. До останнього часу при модернізації мереж доступу основним постулатом було максимальне збереження існуючої інфраструктури, що для оператора фіксованого зв'язку, як правило, означало максимальне збереження існуючих абонентських ліній. Досягалося це за рахунок впровадження xDSL-технологій, що дозволяють значно підвищити пропускну здатність абонентської лінії і зробити доступним надання таких ресурсномістких послуг, як широкосмуговий доступ в Інтернет, IPTV, VoD та ін.

Таким чином, на основі існуючої кабельної інфраструктури доступу якісне і масове надання послуг *triple play* стає проблематичним і перед оператором постає завдання пошуку нових технологічних рішень по створенню сучасної інфраструктури доступу. Важлива складова цього завдання - вибір фізичного середовища передачі. В даний час поширені три типи ліній зв'язку - на основі металевого кабелю, волоконно-оптичного

кабелю і радіотракту. При цьому металевий кабель поступається волоконно-оптичному як за технічними характеристиками, так і за вартістю. Радіотракт ефективний з точки зору швидкості розгортання та вартості, але його слабке місце - пропускна здатність. Крім того, він вимагає отримання дозволів на використання, а це збільшує вартість впровадження і, що ще важливіше, - експлуатації. Тому найпривабливішим рішенням для оператора фіксованого зв'язку виявляється використання волоконно-оптичних структур.

На сьогоднішній день найбільш відомі п'ять технологій PON, що розвиваються в двох напрямках. Перше - еволюційна гілка рішень на основі протоколу ATM, що включає в себе технології APON, BPON і GPON, друге - еволюційна гілка на базі Ethernet-рішень, куди входять технології EPON і GEPON. Еволюційний розвиток PON-технологій описаний в пункті 2.2., тому відразу звернемося до верхніх ступенів їх розвитку - GPON і GEPON.

Технологія GPON розроблена під егідою ITU-T і стандартизована в рекомендації G.984, прийнятої в 2005 р., технологія GEPON створювалася в рамках IEEE і регламентується стандартом 802.3ah, прийнятим у 2004 р.

Відзначимо, що в різних джерелах, які в цілому однаково визначають GPON, по-різному описані можливості GEPON. Найбільш серйозні відмінності зустрічаються при визначенні коефіцієнта розгалуження, відстані, що покривається, підтримки механізмів забезпечення QoS, безпеки і технічної експлуатації (OAM). Коефіцієнт розгалуження в GPON визначається рекомендацією G.984 і не може перевищувати 1: 128. На ринку сьогодні доступні рішення з коефіцієнтом розгалуження 1:32, рідше - 1:64. У GEPON стандарт не визначає максимальний коефіцієнт розгалуження, на практиці ж використовуються в основному рішення з коефіцієнтом 1:32 і в окремих реалізаціях 1:64. Підтримка механізмів QoS на фізичному рівні спирається на механізми динамічного розподілу смуги (DBA). Реалізації DBA в GEPON і в GPON різні з точки зору стандартів, але практично ідентичні в функціональному плані і регламентують правила розподілу загальної смуги між абонентським кінцем (ONT) в сегменті (дереві) PON, а

також забезпечують гарантовану і максимально доступну смугу для кожного ONT. Пріоритети різних типів трафіку для GEPON повністю відповідає стандартам мереж Ethernet (802.1p, DSCP), так як GEPON забезпечує передачу IP-пакетів без будь-якої інкапсуляції.

У GPON реалізація механізмів QoS залежить від технології, що застосовують для передачі інформації, і може базуватися як на ATM-, так і на GEM-протоколі. І в тому і в іншому випадку показники якості обслуговування краще, ніж при використанні протоколів Ethernet. Однак якщо через мережу доступу GPON не передаються потоки E1, то така функціональність стає надмірною, оскільки і з боку IP-мережі оператора, і з боку абонента пріоритезація трафіку здійснюється відповідно до стандартів мереж Ethernet. При цьому мережа доступу GPON з точки зору QoS стає відокремленим фрагментом, і якщо перехід від IP QoS до ATM QoS був відпрацьований виробниками на DSLAM, то протокол GEM є новим для мереж передачі даних і потрібно звернути увагу на коректну обробку QoS в точках підключення до GPON –мережі.

Таблиця 2.6 - Технічні характеристики технологій GPON и GEPON

Характеристика	GEPON (IEEE 802.3ah)	GPON (ITU-T G.984)
Фізична швидкість: upstream/downstream, Гбіт/с	1,25/1,25	1,25/2,5
Коефіцієнт розгалуження	1:16/1:32/1:64	1:32/1:64/1:128
Швидкість при озгалуженні 1:32 upstream/downstream, Гбіт/с	0,91/0,96	1,1/2,3
Кодування, біт	128	128
Протокол	Ethernet	ATM або GEM
Дальність дії, км	10/20	20
Безпека	AES (up/downstream)	AES (тільки downstream)
Забезпечення QoS	DBA+802.1p	DBA+ATM или GEM
ОАМ	IEEE 802.3ah OAM	OMCI, FCAPS у відповідності з ITU-T G.984
Транспорт TDM	Circuit Emulation зверху Ethernet	ATM ,GEM або Circuit Emulation зверху Ethernet

Підтримка функцій безпеки і OAM в GPON - невід'ємна частина стандарту G.984. У стандарті IEEE 802.3ah такі функції в явному вигляді не прописані, однак це не означає, що вони не підтримуються. Справа в різних підходах до стандартизації: ITU-T в G.984 визначає всі атрибути технології, а IEEE - тільки функціональність, необхідну для реалізації Ethernet-мережі «точка-багатоточка», якою, по суті, і є дерево GPON. Методи OAM і інші протоколи більш високого рівня вже визначені в стандартах IEEE для Ethernet-мереж.

Зауважимо, що для GPON використання 128-бітного шифрування можливо як в напрямку downstream, так і upstream, що викликано необхідністю захисту IP-пакетів, що легко читаються при перехопленні, що передаються в Ethernet-мережі. Для мереж GPON завдяки застосуванню ATM- або GEM-інкапсуляції розпізнати інформацію в цьому випадку важко, тому 128-бітне шифрування застосовується тільки для downstream.

Отже, основні технічні переваги GPON перед GEPON - більш висока швидкість в потоці downstream і більш ефективні механізми для передачі трафіку мереж з комутацією каналів (TDM). Технологія GEPON не має явних технічних переваг перед GPON, але вона значно простіше і зрозуміліше з точки зору міжмережевої взаємодії з існуючими мережами оператора та абонентськими пристроями. При рівному коефіцієнті розгалуження на абонента мережі GPON доводиться вдвічі більша швидкість передачі downstream в порівнянні з абонентом мережі GEPON. Тобто при коефіцієнті розгалуження 1:32 абонент GPON отримує смугу 73 Мбіт/с, а абонент GEPON - 30 Мбіт/с, а при розподілі 1:64 - відповідно 36 Мбіт/с і 15 Мбіт/с. Таким чином, технології GPON і GEPON надають користувачеві практично однаковий ресурс за умови, що в одному PON-дереві мережі GPON вдвічі більше користувачів. Але так як основна частина вартості системи доводиться на оптичні модеми, а ефект від зменшення кількості волокон і портів на OLT за рахунок переходу від розгалуження 1:32 до 1:64

згладжується ускладненням розподільної мережі, то в реальних мережах для обох технологій зазвичай використовується розподіл 1 : 32.

При аналізі ефективності використання ресурсу слід зазначити ще один аспект. В даний час для побудови ядра мультисервісної мережі застосовуються, як правило, рішення на базі Ethernet, які використовують стандартні інтерфейси в 1 Гбіт/с і 10 Гбіт/с. Технологія GEPON, що базується на 1-о гігабітних потоках, значно краще адаптована до організації взаємодії з інтерфейсами підключення до обладнання ядра мережі, ніж технологія GPON, яка використовує нестандартні для Ethernet 2,5/1,25 Гбіт/с-потоки. У крайньому випадку, якщо від обладнання OLT реалізується одне PON-дерево, для підтримки його в GEPON потрібно 1-о гігабітний інтерфейс в напрямку ядра, а в технології GPON - три таких інтерфейсу.

GPON і GEPON для triple play

Проаналізуємо можливості технологій GPON і GEPON для підтримки послуг triple play, під якими сьогодні розуміється сукупність послуг телефонії, доступу в Інтернет і передачі відеоінформації, що надаються в одній мережевий точці і з використанням одного типу носія інформації. Досить потужний профіль послуг triple play можна сформулювати так: одному кінцевому користувачеві повинні бути доступні три канали IPTV - один HDTV (15 Мбіт/с) і два SDTV (2x4 Мбіт/с), доступ в Інтернет (2 Мбіт/с), доступ до локальних ресурсів (1 Мбіт/с), три лінії VoIP (0,3 Мбіт/с). Тобто загальний ресурс на одного користувача становить близько 28 Мбіт / с, за умови, що він користується всіма сервісами одночасно. Такий профіль послуг може підтримуватися в одному PON-дереві як для 32 користувачів GEPON, так і для 64 користувачів GPON. Насправді ж передається в розрахованому на багато користувачів режимі (Multicast) трафік, що включає трафік IPTV, в дереві PON для кожного користувача не дублюється, тому всі абоненти одного дерева PON можуть одночасно дивитися всі потрібні в ньому IPTV-канали. В результаті послуги IPTV фактично не накладають обмежень на коефіцієнт розгалуження, а реальна смуга, доступна абоненту,

значно ширше. У GPON реалізація режиму Multicast в дереві PON, стандартизована IEEE, базується на обробці пакетів з Multicast-адресами і близька до технологій, що застосовуються в Ethernet-мережах. У GPON підтримка Multicast в дереві PON стандартизована ITU-T тільки для ATM-протоколу. При використанні GEM кожен виробник GPON реалізує режим Multicast, базуючись на різних доповненнях до протоколу GEM, що розробляються самостійно або на основі сторонніх патентів.

Крім технічних характеристик технологій, при виборі того чи іншого рішення важливими є такі показники, як вартість обладнання, можливість подальшої модернізації, організація взаємодії з існуючими мережами зв'язку, особливості технічного обслуговування і експлуатації, поширеність технологічних рішень.

Вартість обладнання визначається цілою низкою чинників - як об'єктивних, так і суб'єктивних. До об'єктивних факторів належать складність технології виробництва, вартість компонентів, обсяги виробництва. До суб'єктивних можна віднести маркетингову політику постачальника обладнання та дії держорганів з регулювання ринку. Вплив суб'єктивних факторів на вартість виробництва погано передбачувано і не може бути підставою для об'єктивної оцінки, тому розглянемо докладніше об'єктивні чинники.

З точки зору технології виробництва рішення GPON простіші, оскільки базуються на вже відпрацьованих технологіях виробництва обладнання для Ethernet-мереж і менш вимогливі до параметрів використовуваних компонентів. Компоненти технології Ethernet значно дешевше компонентів ATM, що визначається як великими обсягами виробництва (рішення Ethernet використовуються в кожному ПК), так і менш жорсткими вимогами до підтримки параметрів на рівні елементної бази. Наприклад, вимоги до параметрів лазерів, що використовуються в GPON, в кілька разів нижче, ніж в GPON. Програмне забезпечення для Ethernet-рішень також дешевше в силу своєї масовості і універсальності.

Що стосується обсягів виробництва кінцевого продукту, тобто ONT і OLT, то сьогодні на кожен проданий ONT для GPON припадає 10 ONT для GEPON. Для визначення перспективного обсягу виробництва можна використовувати дані про потенційний обсяг ринку кожного з рішень. Для GPON в даний час основними є ринки Північної Америки та частково Європи. Технологія GEPON поширена в Південно-Східній Азії (Японія, Китай, Корея та ін.), Латинській Америці і частково в Європі. При порівнянні чисельності населення в кожній з цих груп видно, що аудиторія потенційного поширення GEPON в кілька разів вище, ніж у GPON. У будь-якому випадку за об'єктивними показниками вартість виробництва рішень для GEPON виявляється нижче, ніж для GPON, що і підтверджується ринковою ціною на обладнання: для рішень GEPON вона приблизно вдвічі нижче, ніж для GPON. З іншого боку, ці порівняння відносяться до вартості активного обладнання (ONT і OLT), а при створенні інфраструктури доступу істотна частка витрат припадає на лінійно-кабельні споруди, які, як було показано, технологією GPON використовуються в два рази ефективніше. Проаналізуємо можливості розвитку цих технологій.[9]

GPON або GEPON?

Технологія GEPON базується на стандартах Ethernet, які вже працюють зі швидкостями 10 Гбіт/с і мають прийнятну вартість. Розроблено стандарт 10GEPON і еволюція платформ GEPON до 10 Гбіт/с швидкості передачі. Дослідження ITU-T в частині розвитку GPON показали недоцільність збільшення швидкості в одній довжині хвилі. Тому дослідження ITU-T пов'язані з WDM-PON, де кожен ONT працює на своїй довжині хвилі, що дозволяє в кілька разів збільшити загальну швидкість передачі.

Рішення GEPON використовують досить прості процедури конфігурації і управління, багато в чому аналогічні процедурам, виконуваним в звичайних Ethernet-мережах. Фахівців, які займаються адмініструванням Ethernet-мереж, на ринку праці достатньо, і вони легко можуть освоїти адміністрування рішень PON. Рішення GPON, в свою чергу,

базуються на сукупності технологій SDH, ATM / GEM і Ethernet, що висуває підвищені вимоги до адміністрування мережевої інфраструктури в цілому і до персоналу зокрема.

Таким чином, вибір на користь рішення GPON або GEPON в умовах конкретної мережі зв'язку повинен визначатися не тільки параметрами пропускної здатності, а й низкою інших аспектів, яким на початковому етапі надають мало значення, що потім негативно позначається на експлуатації та розвитку мережі.

Переваги архітектури PON:

- відсутність проміжних активних вузлів;
- економія волокон в абонентських оптичних кабелях;
- відсутня необхідність електроживлення мережевих елементів (крім кінцевих);
- можливість динамічного розширення смуги - збільшення швидкості передачі працюючих абонентів за рахунок непрацюючих в даний момент;
- подальша можливість значного збільшення швидкості передачі для кожного користувача за рахунок застосування технології оптичного мультиплексування (CWDM або DWDM).
- економія оптичних приймачів в центральному вузлі;
- легкість підключення нових абонентів і зручність обслуговування (підключення, відключення або вихід з ладу одного або декількох абонентських вузлів ніяк не впливає на роботу інших).
- можливість надання трьох видів інформації (згідно з концепцією Triple Play) - голос, відео і дані;
- невеликі витрати на обслуговування;
- подальше збільшення швидкості передачі (до 10 Гбіт/с) і вище без заміни обладнання лінійного тракту (оптичні кабелі, розгалужувачі, з'єднувачі);

2.4 Загальний опис обладнання PON, функціональний опис

Обладнання лінійної частини

Лінійна частина складається з обладнання і компонентів, розташованих між СО та приміщеннями абонента. Вона включає в себе як оптичні, так і неоптичні компоненти мережі і представлена на рисунку 2.4.

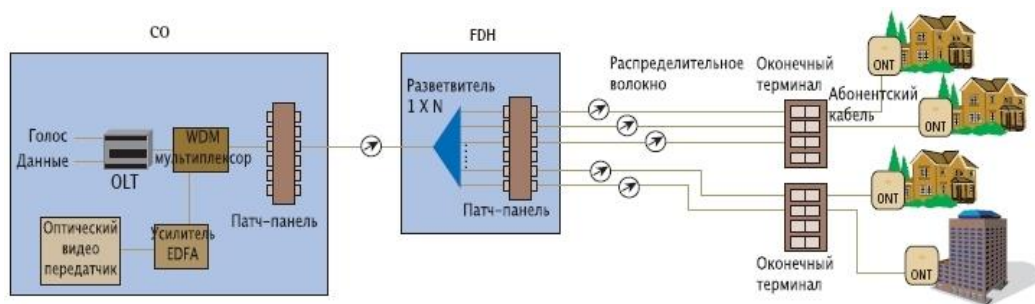


Рисунок 2.4 - Обладнання лінійної частини [13]

Оптичні компоненти складають оптичну розподільну мережу (ODN), яка включає в себе: волоконно-оптичні кабелі, WDM мультиплексори, з'єднувальні шнури, зварні з'єднання, коннектори, розгалужувачі і кінцеві термінали. Неоптичні компоненти включають в себе: вуличні тумби, колодязі, патч-панелі і різне допоміжне обладнання.

Устаткування лінійної частини включає:

- Волоконно-розподільні модулі (або патч-панелі) в СО;
- Волоконно-оптичні кабелі.

Кабелі живлення складають ділянку між СО та першим перехідником. Розподільні волокна пов'язують розгалужувач з кінцевими терміналами, розташованими поруч з абонентами. Кінцеві кабелі з'єднують окремі ONT з кінцевими терміналами.

Волоконно-розподільний хаб включає шафи, тумби, муфти (повітряні або в ґрунті), розгалужувачі, патч-панелі

- Кінцеві термінали

- Коннектори: SC / APC (з кутом 8° для зменшення відбиття, типові втрати 0,5 дБ)

Розгалужувачі

Прилад, що використовується в PON, що працює в двох напрямках і має один вхідний порт і кілька вихідних портів називається розгалужувачем. Вхідний оптичний сигнал (прямий потік) розподіляється між вихідними портами, що дозволяє багатьом користувачам спільно використовувати одне оптичне волокно і, отже, пропускну здатність. У зворотному напрямку оптичні сигнали від багатьох ONT об'єднуються в одному волокні.

Розгалужувачі є пасивними пристроями, тому що вони не вимагають зовнішнього джерела живлення. Вони є широкосмуговими і вносять втрати через те, що вони поділяють потужність вхідного (прямого) потоку. Ці втрати називаються втратами на розгалужувачі або коефіцієнтом ділення, які зазвичай виражаються в дБ і залежать в основному від кількості вихідних портів. Залежність коефіцієнту ділення від кількості портів зазначено у таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 - Залежність коефіцієнту ділення від кількості портів

Кількість портів	Втрати на розгалужувачі (дБ) (виключаючи коннектори та додаткові втрати розгалужувача)
2	3
4	6
8	9
16	12
32	15
64	18

Розгалужувач також додає приблизно ті ж втрати і для сигналів, що прямують у зворотному напрямку.

Залежно від мережевої топології в FTТх мережі може розташовуватися один або декілька розгалужувачів з'єднаних каскадами. В даний час рекомендаціями ІТU-Т С.983 дозволяється поділ до 32, а рекомендації G.984 збільшують це значення до 64.

Розгалужувачі можуть мати різні форми і розміри в залежності від застосовуваної технології виготовлення, представлені на рисунку 2.5. Типи, що найбільш часто зустрічаються це плоский хвилевід (зазвичай для великої кількості розгалужень), зварні біконічні розгалужувачі (FBТ) (зазвичай для малої кількості розгалужень). Обидва типи виготовляються для монтажу в муфту.

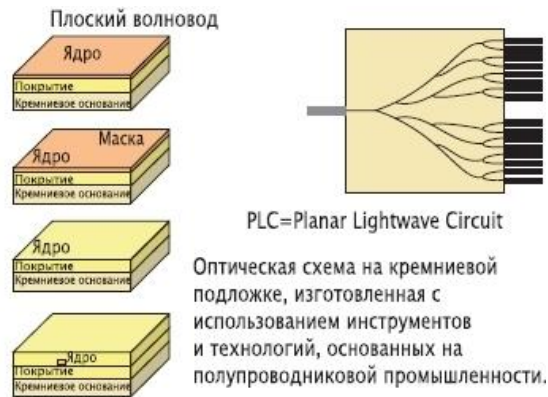


Рисунок 2.5 – Розгалужувачі

Активне обладнання включає наступне:

- OLT (приймач / передавач даних і голосу), розташований в СО
- Відео обладнання (передавач) і легований ербієм волоконний підсилювач (EDFA), застосовуваний для попереднього посилення відеосигналу перед введенням в WDM мультиплексор
- ONT, його джерело живлення і резервне живлення, які розташовані в приміщеннях абонента.

До активного устаткування відносяться кінцеві оптичні блоки: станційний (OLT) і абонентський.[23]

Оптичні кабелі і муфти для PON.

“Згідно з вимогами Рекомендації ITU-T G.983, для будівництва PON повинні застосовуватися кабелі з одномодовими оптичними волокнами типу G.652 або сумісні з ними (наприклад, G.657A).

Оскільки PON використовує оптичні кабелі, що прокладаються на різних ділянках (магістральний, розподільний, абонентський) і в різних умовах (в каналізації, підвіска на опорах, в будівлях абонентів), то і конструкції кабелів для цієї мережі можуть відрізнятися досить сильно.

Конструкції кабелів визначаються, в першу чергу, умовами прокладки кабелю (прокладка в ґрунт, в кабельну каналізацію, підвіска на опорах, прокладка у внутрішніх каналах і стояках будівлі і т.д.), а також необхідною кількістю волокон. Тут лише коротко відзначимо, що при числі волокон до 12 ... 24 економічно доцільне використання кабелів з однотрубчатим сердечником (типу UT), а при більшій кількості - з модульним сердечником (типу LT). При підземному прокладанні кабелю принципово важливо мати захист від гризунів (зазвичай - броня зі сталеві гофрованої стрічки) і попадання вологи (товста поліетиленова оболонка, вологозахисний бар'єр, гідрофобне заповнення сердечника), а також від розтягуючих зусиль, випадкових механічних пошкоджень та інших факторів. Для підвісних оптичних кабелів дуже важливим є стійкість до розтягуючих зусиль (забезпечується підбором несучого тросу або іншими силовими елементами) і перепадів температур (забезпечується, в основному, матеріалом і конструкцією зовнішньої оболонки). До основних вимог до кабелів, що прокладається всередині приміщень, відносяться: нерозповсюдження горіння (застосовуються не підтримуючі горіння оболонки) і гнучкість, а також легкість, захист від випадкових ударів, розтягування, скручування, здавлювання.” [23]

У таблиці 2.8. вказані чинники, які впливають на оптичні кабелі, прокладені в різних умовах і конструктивні методи захисту від них.

Таблиця 2.8 - Чинники, які впливають на оптичні кабелі

Умови прокладання	Основні впливаючі фактори	Конструктивні методи захисту
Безпосередньо в ґрунт	Атаки гризунів	Броня
	Розтягуюче зусилля	Повздожні силові елементи
	Випадкові удари	Броня
	Проникнення вологи	Вологозахисний бар'єр, гідрофобний заповнювач
	Раздавлююче зусилля	Конструкція сердечника, броня
В кабельній каналізації	Проникнення вологи	Вологозахисний бар'єр, гідрофобний заповнювач
	Розтягуюче зусилля	Повздожні силові елементи
	Скручування	Зовнішня оболонка
	Атаки гризунів	Броня, прокладка в захисних трубках
Підвіска на опорах	Розтягуюче зусилля	Повздожні силові елементи
	Перепади температур	Зовнішня оболонка
	Проникнення вологи	Вологозахисний бар'єр, гідрофобний заповнювач
	Випадкові удари	Броня, оболонки, арамідні нитки
	Ультрафіолетове опромінення	Зовнішня оболонка
Кабельні вводи у дім	Загоряння	Оболонка з LSZH або PVC
	Атаки гризунів	Броня
	Проникнення вологи	Вологозахисний бар'єр
	Розтягуюче зусилля	Повздожні силові елементи
Усередині приміщення	Загоряння	Оболонка з LSZH або PVC
	Вигин з малим радіусом	Оболонки
	Розтягуюче зусилля	Арамідні нитки
	Випадкові удари	Оболонки, арамідні нитки
	Раздавлююче зусилля	Оболонки, арамідні нитки

Під час з'єднання довжин кабелю між собою або в місцях розгалуження кабельних ліній повинні встановлюватися кабельні муфти. Їх основне завдання - розмістити і захистити з'єднання оптичних волокон. Конструкції муфт містять сплайс-касети, в яких розміщуються зварні з'єднання в захисних термоусаджуваних гільзах. У середині касет, з допустимим радіусом вигину (не менше 30 мм), укладається запас оптичних волокон. Корпус муфти повинен захищати волокна і зростки від проникнення вологи, механічних і кліматичних впливів.

“По розташуванню введень розрізняють прохідні муфти (кабельні введення зроблені з протилежних сторін) і тупикові (введення з одного боку). Конструкція корпусу також може бути плоскою або круглою. Вибір типу корпусу муфти багато в чому визначається умовами її установки. Плоскі муфти, наприклад, зручніше кріпити до стін в підвалах, на горищах будинків, у колодязях. Тупикові муфти зручні при підводі кабелю з одного боку, наприклад, для установки на опорах (освітлювальних, контактної мережі транспорту і ін.) За допомогою металевої скоби або для кріплення на стінах за допомогою металевого кронштейна. Прокідні муфти більше придатні для прокладки в ґрунт в колодязях кабельної каналізації (укладання на консолях), а також для повітряних кабелів при підвісці на несучому тросі за допомогою спеціальних скоб.”[23]

Кабельні введення в муфти повинні бути герметизовані надійно, незалежно від перепадів зовнішніх температур, доступу вологи та інших довготривалих факторів, що впливають. “Найбільш популярна організація введення за допомогою термоусаджуваних трубок. Усадка проводиться досить швидко і, при правильному виконанні всіх операцій, забезпечує надійну герметичність введів. Однак усадку бажано проводити спеціальним монтажним феном, для чого ще потрібно електроживлення. В крайньому випадку, застосовується пальник, що передбачає роботу з відкритим полум'ям. Інший спосіб передбачає використання герметизуючої стрічки, яка намотується на зовнішню оболонку кабелю в місці його введення в муфту.

Після затиску накидної гайки на ввідній втулці м'яка стрічка заповнює весь вільний простір в місці введення, надійно його герметизуючи. Такий спосіб не вимагає гарячих методів монтажу, але тут важлива акуратність і ретельність проведення монтажних операцій. Крім того, муфти з такими введеннями не бажано використовувати в місцях постійного впливу вологи”.[23]

Кросові та розподільні пристрої для PON.

Введені в будівлі оптичні кабелі прокладаються по внутрішніх стояках і каналах і закінчуються підключенням до кінцевих кабельних пристроїв (боксів). У боксах проводиться з'єднання волокон оптичних лінійних кабелів зі сполучними кабелями або шнурами, що підключаються до абонентських терміналів (ONU). В оптичних боксах також може проводитися розгалуження кабельних ліній.

Оптичні бокси складаються з корпусу, що закривається з кабельними введеннями, всередині нього розміщуються сплайс-касети. У корпусі також є отвори з ущільнювачами для виведення з'єднувальних шнурів або одноволоконних кабелів. Бокси можуть містити панель для установки рознімних адаптерів.

Спосіб розміщення боксів залежить від реальних умов в приміщеннях замовників. Пристрій може розташовуватися як в технічних нішах, шафах, так і просто кріпитися до стін, балок, опор, колон у всіх доступних приміщеннях.

Оптичні з'єднувальні шнури для PON.

“Оптичні шнури є важливим елементом PON, оскільки використовуються у великій кількості і зазвичай на ділянках, де відбуваються різні маніпуляції по перекомутації. Таким чином, від їх параметрів передачі і надійності багато в чому залежить якісна робота всієї мережі”.[23]

“Для з'єднання між двома оптичними портами обладнання використовуються з'єднувальні шнури, окінцьовані з двох сторін (патч-

корди) діаметром 3 мм. Зверху волокна накладається шар арамідних волокон і щільна зовнішня оболонка з полівінілхлориду (PVC) або негорючого малодимного безгалогенного пластику (LSZH).

Для підключення оптичних кабелів до кінцевого або розподільного обладнання застосовуються шнури з одним коннектором і одним вільним волокном (пігтейли). У них використовуються волокна в щільному покритті діаметром 0,9 мм без зовнішньої оболонки.

Технологія пасивних оптичних мереж, на сьогоднішній день, є однією з найбільш розвинених і досконалих для забезпечення абонентського доступу до трьох основних типів інформації (телефонії, передачі даних і телебачення). За останні кілька років розроблена достатня кількість надійних пасивних компонентів, а великий асортимент активного обладнання OLT і ONU дозволяє застосовувати їх для мереж різного типу, масштабу і передачі інформації різних видів. Важливо і те, що PON продовжує розвиватися. Удосконалюється програмне забезпечення OLT і його функціональні характеристики. Розробляється новий стандарт за розширеною версією PON (до 60 км)".[23]

2.5 Висновки до розділу 2

У другому розділі наведено особливості технології PON та її можливі варіанти виконання (FTTx). Також було розглянуто та наведено порівняння типів пасивних оптичних мереж, таких як: APON, BPON, EPON, GPON. Проаналізувавши надану інформацію можна зазначити, що нині найпоширенішими технологіями є GPON та GEPON. Але варто зазначити, що у GPON на один порт OLT припадає вдвічі більше можливих підключень ONT. Тобто можна сказати, що навіть при більшій вартості OLT і ONT, GPON використовує ресурс мережі більш ефективно.

3 ПРОЕКТ З БУДІВНИЦТВА МЕРЕЖІ АБОНЕНТСЬКОГО ДОСТУПУ НА ТЕХНОЛОГІЇ ПАСИВНОЇ ОПТИЧНОЇ МЕРЕЖІ

3.1 Загальні дані

Проект альтернативного методу побудови оптичної мережі абонентського доступу в Києві на базі технології PON в зоні АТС-547.

Через те, що дані про розташування діючих об'єктів та магістралей «Укртелекому», якому належить АТС-547 не можуть бути надані у відкритому доступі або передані третім особам без спеціального дозволу, даний проект має альтернативний характер.

Даний проект з будівництва мережі абонентського доступу на технології пасивної оптичної мережі (PON - Passive Optical Network). Будівництво сучасної оптичної мережі забезпечить можливість прокладки в кожному квартиру оптичної лінії і підключення якісних послуг телефонного зв'язку, високошвидкісного доступу в Інтернет і цифрового телебачення.

Даний проект містить рішення по побудові розподільної мережі при організації пасивної оптичної мережі (PON) від АТС-547 до існуючого житлового будинка за адресою: Київ, вул. Оноре де Бальзака, 20.

Карта місцевості, де планується розгортання мережі зображена на рисунку 3.1.

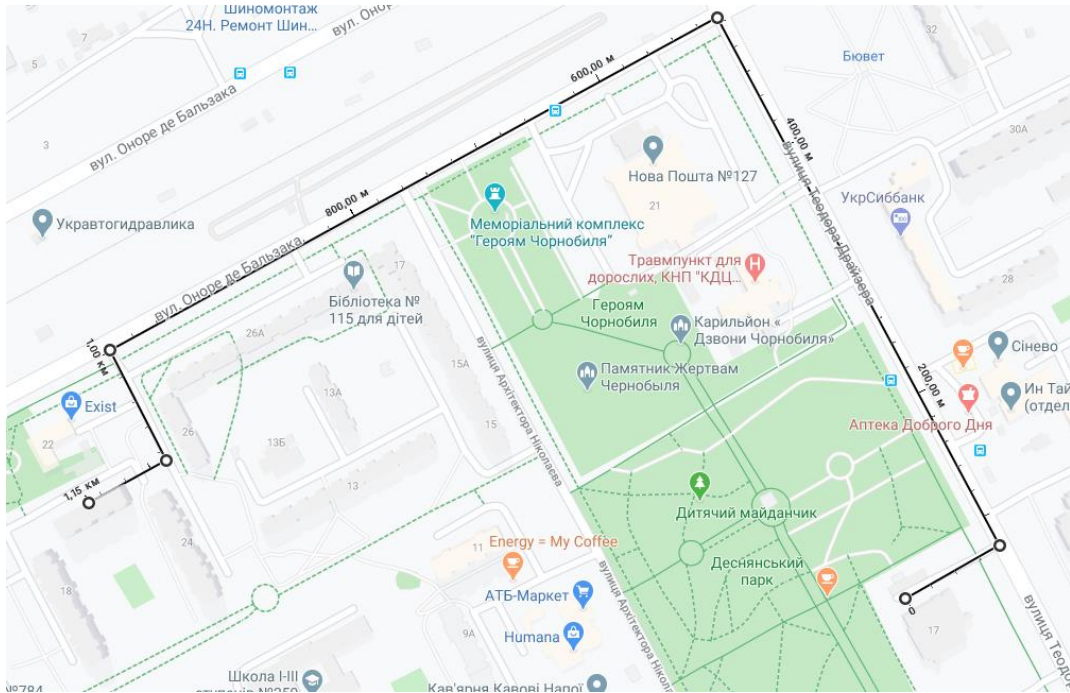


Рисунок 3.1 - Карта місцевості [14]

Схеми розподільної мережі розроблені відповідно до наступних ключових моментів:

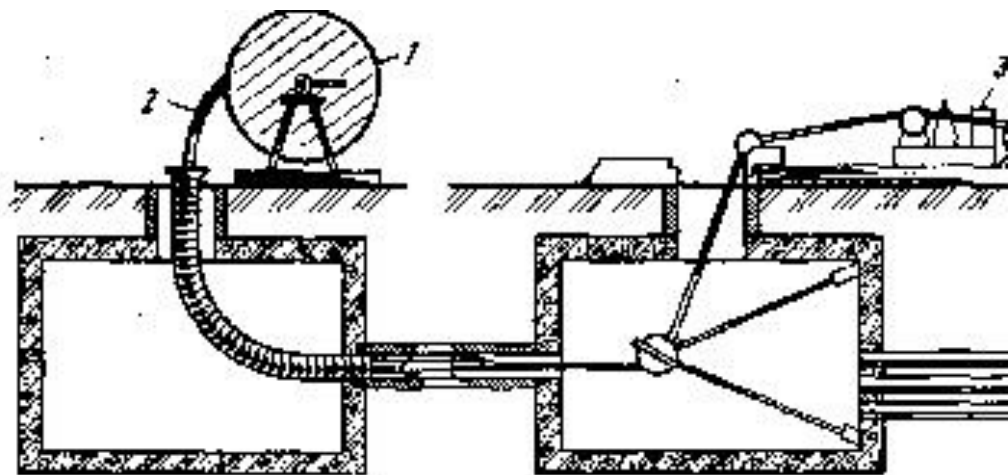
- ВОК по будівлі виготовлений з негорючої оболонки.
- ОРШ можна розмістити на стіні у підвальному приміщенні.
- Прокладка проектованого ВОК по підвалу і стінам з пробивкою міжповерхових перекриттів передбачена в трубі з самогасаючого ПВХ пластика з кріпленням скобами.
- Від міжповерхових каналів до ОРК передбачені пластикові кабель-канали з кріпленням на стіні.

3.2 Визначення типу та опис широкопasmової мережі

Звернувши увагу на карту, одразу можна визначити відстань магістральної частини, яка становить 1,15 кілометрів. Оскільки головна магістральна траса проходить уздовж вулиць Драйзера та Бальзака, то найбільш вигідною є топологія магістральної частини у вигляді – дерево.

Оскільки будинок, до якого буде проводитись широкосмуговий оптоволоконний доступ побудований не поодиноким, а має поруч ще декілька сусідніх будинків, то топологія була вибрана з можливістю подальшого розвитку мережі.

Прокладка буде здійснюватися в підземній кабельній каналізації (схема зображена на рисунку 3.2), яка вже побудована уздовж вулиць Драйзера та Бальзака. У цьому випадку достатньо лише мати пристрій закладки кабелю (ПЗК), кабельний чулок необхідного діаметра, та пару роликів для запобігання тертя ізоляції кабелю та кромки кабельного люка. Даний метод не вимагає застосування різних дорогих пристроїв. І найважливішою перевагою такого способу прокладки є швидкість прокладки.



1-барaban з кабелем, 2-кабель та кабельний чулок, 3-лебідка

Рисунок 3.2 – Схема прокладки кабелю у кабельній каналізації [15]

Головна функція ОРШ - це перехід від довгої магістрального ділянки до короткої розподільчої ділянки зі зміною типу волоконно-оптичного кабелю і одночасним значним збільшенням ємності ОВ, доступного до підключення абонентів. У ОРШ також проводиться комутація ОВ, їх оптимізація, вимірювання магістралі до центрального вузла і діагностика абонентських підключень.

ОРШ монтується всередині будівлі або на вулиці (при обслуговуванні групи будівель). ОРШ, монтовані всередині будівлі, встановлюються переважно на першому поверсі або в підвальному приміщенні. При відсутності місця для установки ОРШ на першому поверсі допускається установка на внутрішній стіні будівлі в підвальному приміщенні.

В даному проекті відбувається обслуговування лише одної будівлі, тому ставити ОРШ на вулиці недоцільно. У цій роботі ОРШ буде встановлено у підвальному приміщенні будинку задля забезпечення більшої надійності мережі через зменшення стороннього доступу до обладнання мережі.

У даному проекті буде реалізована мережа FTTH. ОВ з ОРШ буде підключатися до ОРК, що буде встановлена на кожному поверсі будинку, волокно з якої вже буде простягатися до кожної квартири на поверсі. У квартирі клієнта буде встановлений ONT термінал із входом для ОВ, що йде від ОРК і виходами для мідної витої пари, яку вже можна безпосередньо підключати до комп'ютера або інших користувацьких пристроїв.

3.3 Вибір обладнання та кабелю

Магістральний кабель - FinMark LT024-SM-02, структура якого зображена на рисунку 3.3.

Призначений для прокладання в ґрунтах 1-3 категорій (без мерзлотних деформацій), в кабельній каналізації та трубопроводах, на мостах і естакадах, у тунелях, колекторах при введенні в будівлю, в тому числі в місцях, заражених гризунами, а також по зовнішніх стінах будівель і споруд . Оптичний кабель з 24 оптичними модулями, навитими навколо центрального силового елемента, всього - 288 оптичних волокон.

Порожнечі між оптичними модулями заповнені гідрофобним водоблокуючим компаундом. У кабелі з малою кількістю волокон, замість відсутніх оптичних модулів застосовуються т.зв. «заповнюючі» модулі. Шар

якості будинкового розподільного вузла в підвальних приміщеннях, на технічних поверхах або горищах житлових будинків. Конструкція кросу передбачає його кріплення безпосередньо на стіни приміщень. ОРШ виконаний у вигляді металевої шафи з дверцятами на прихованих петлях, має вбудований замок. Корпус виготовлений із сталі товщиною 1,5-2 мм. Для захисту від впливу зовнішнього середовища на дверцятах корпусу закріплена герметизуюча стрічка, всі отвори для введення кабелю закриваються герметичними гумовими заглушками.



Рисунок 3.4 - ОРШ Optolink - ПВК-64 [17]

ОРК

Оптична розподільна коробка для встановлення на кожному поверсі будинку і подальшого розведення ОВ до абонента.

Optolink PMA2(рисунок 3.5) на 8 абонентських портів виготовлений з негорючого АБС-пластику із класом захисту IP54.



Рисунок 3.5 – ОРК Optolink PMA2 [18]

Розподільчий кабель

FinMark FTTH002-SM-18(стандартне одномодове волокно G.652.D). Розподільчий оптичний кабель призначений для прокладки всередині будівель, в стояках, горищах, підвалах, трубопроводах, офісах і квартирах, а також для перекидання між будинками і стовпами (самонесуча конструкція). Легко кріпиться до будь-яких плоских поверхнях, простий і зручний при обробці і монтажі.

ONU

У приміщенні абонента встановлюється ONU(рисунок 3.6). На його вхід приходять оптичний кабель, а користувач може підключати пристрої за допомогою звичайного мідного кабелю, витої пари.



Рисунок 3.6 - ONU ZTE F601 [19]

3.4 Висновки до розділу 3

Даний розділ присвячений проекту можливої побудови мережі PON у місті Києві в зоні дії АТС-547. Він складається з декількох етапів. По-перше треба визначитися, де буде прокладено кабель та яким способом це буде зроблено. Далі, виходячи с теперішніх та майбутніх потреб визначено топологію мережі(у даному випадку – дерево, для можливості подальшого

розширення мережі). Після цих етапів визначено обладнання та кабель, що буде використовуватися для розгортання мережі.

треба визначитися, де буде прокладено кабель та яким способом це буде зроблено. Далі, виходячи з теперішніх та майбутніх потреб визначено топологію мережі(у даному випадку – дерево, для можливості подальшого розширення мережі). Після цих етапів визначено обладнання та кабель, що буде використовуватися для розгортання мережі.

У ході роботи були детально обговорені найважливіші ідеї, пов'язані з технологією PON, які дозволяють абонентам отримувати сучасне обладнання на основі їх фактичного розташування, оптичного кабелю та споживання кабельної мережі.

Технологія FTTH - привабливе рішення для забезпечення широкосмугового зв'язку між житлом або малими та середніми підприємствами та компаніями. FTTH - це економічно вигідне рішення завдяки використанню пасивних оптичних мереж (PON). Ці системи дотримуються тих же принципів, що і традиційні волоконно-оптичні мережі, дозволяючи використовувати те саме обладнання в будівництві та обслуговуванні.

