ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ
Кафедра мобільних та відеоінформаційних технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Система розробки мережі доступу на основі технології XG PON для сільської місцевості»

на здобуття освітнього ступеня бакалавра (магістра)
зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка
освітньо-професійної програми Апаратура радіозв'язку, радіомовлення та телебачення

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ Михайло ШМЕЛЬОВ
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Виконав: здобувач вищої освіти
групи АРДМ-61
Шмельов Михайло

Керівник: Назарій БЛАЖЕННИЙ, PhD

Рецензент: _____

Київ 2024

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Навчально-науковий інститут телекомунікацій

Кафедра Мобільних та відеоінформаційних технологій
Ступінь вищої освіти Магістр
Спеціальність 172 Електронні комунікації та радіотехніка
Освітньо-професійна програма Апаратура радіозв'язку, радіомовлення та телебачення

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувачка кафедри МВТ
_____ Наталія РУДЕНКО
«____» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Шмельову Михайлу Миколайовичу

1.Тема кваліфікаційної роботи: «Система розробки мережі доступу на основі технології XG PON для сільської місцевості»,
керівник кваліфікаційної роботи Назарій Блаженний, доктор філософії, доцент кафедри мобільних та відеоінформаційних технологій,
затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від 15.101.2024 р. №320.

2. Строк подання кваліфікаційної роботи 25.12.2024 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:
1. Технології оптичного доступу.
2. Інфраструктура сільської телекомунікаційної мережі.
3. Оптимізація розподілу ресурсів в XG PON.
4. Науково-технічна література з технології XG PON та її застосування в сільських районах.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1. Теоретичні основи технології XG PON
2. Аналіз потреб у високошвидкісному доступі в сільській місцевості
3. Проектування мережі доступу на основі XG PON
4. Технічні проблеми та обмеження при реалізації мережі XG PON

5. Перелік ілюстративного матеріалу: презентація

6. Дата видачі завдання «___» _____ 20__ р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Підбір науково-технічної літератури	27.10.24	виконано
2	Розробка концепції та проектування мережі XG PON	31.10.24	виконано
3	Моделювання та аналіз ефективності мережі	15.11.24	виконано
4	Виконання розрахунків та техніко-економічного обґрунтування	29.11.24	виконано
5	Висновки, вступ, реферат	11.12.24	виконано
6	Розробка презентації	18.12.24	виконано

Здобувач вищої освіти _____ Михайло ШМЕЛЬОВ
(підпис) (Ім’я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник
кваліфікаційної роботи _____ Назарій БЛАЖЕННИЙ
(підпис) (Ім’я, ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістра: 72 стор., 20 рис., 7 табл., 31 джерел.

Мета роботи: розробити та дослідити мережу доступу на основі технології XG PON, яка дозволить забезпечити високошвидкісний доступ до Інтернету в сільській місцевості, підвищити якість телекомунікаційних послуг та ефективність їх використання.

Об'єкт дослідження: мережі доступу на основі технології XG PON.

Предмет дослідження: технічні характеристики та архітектура мережі XG PON, процеси проектування та впровадження у сільській місцевості.

Короткий зміст роботи: У роботі розглянуто теоретичні основи пасивних оптичних мереж, їх розвиток від стандартів GPON до XG PON. Проаналізовано специфіку використання оптичних мереж у сільській місцевості, включаючи технічні та економічні аспекти. Проектування мережі включало вибір архітектури, підбір обладнання та моделювання роботи мережі. Також виконано оцінку ефективності та витрат на впровадження технології. Основні результати роботи демонструють, що мережі XG PON є перспективним рішенням для забезпечення високошвидкісного доступу в сільській місцевості завдяки їх гнучкості, низьким експлуатаційним витратам та високій пропускній здатності.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: XG PON, оптична мережа, пасивна оптична мережа, сільська місцевість, високошвидкісний Інтернет, мережа доступу, телекомунікації.

ABSTRACT

The textual part of the qualification thesis for obtaining a master's degree: 72 pages, 20 figures, 7 tables, 31 references.

Objective: to develop and research an access network based on XG PON technology to provide high-speed Internet access in rural areas, enhance the quality of telecommunication services, and improve their efficiency.

Object of Research: access networks based on XG PON technology.

Subject of Research: technical characteristics and architecture of XG PON networks, design processes, and implementation in rural areas.

Summary: The study examines the theoretical foundations of passive optical networks and their evolution from GPON to XG PON standards. It analyzes the specifics of using optical networks in rural areas, considering technical and economic aspects. The network design includes architecture selection, equipment choice, and network operation modeling. An assessment of the efficiency and costs of implementing the technology was also conducted. The main results demonstrate that XG PON networks are a promising solution for providing high-speed access in rural areas due to their flexibility, low operational costs, and high bandwidth.

KEYWORDS: XG PON, optical network, passive optical network, rural areas, high-speed Internet, access network, telecommunications.

ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА

на кваліфікаційну магістерську роботу

здобувача вищої освіти Шмельова Михайла Миколайовича

на тему «Система розробки мережі доступу на основі технології XG PON для сільської місцевості»

Актуальність:

Зростаючий попит на високошвидкісний інтернет в сільських районах України потребує нових рішень для забезпечення доступу до інформаційних ресурсів. Технологія XG PON є перспективною для створення швидкісних та надійних мереж у сільській місцевості, де традиційні методи не забезпечують належної якості послуг. Актуальність цієї проблеми зростає в умовах цифрової трансформації країни.

Позитивні сторони:

Дослідження показує, що використання XG PON для побудови мережі доступу в сільських районах є ефективним рішенням для забезпечення високошвидкісного інтернету. Ця технологія забезпечує велику пропускну здатність і стабільний зв'язок на великих відстанях, що робить її оптимальним вибором для сільської місцевості. Однак для успішної реалізації необхідно вирішити питання високої вартості обладнання та вдосконалення інфраструктури.

Недоліки:

1. У роботі недостатньо розглянуто зменшення витрат на трудові ресурси та час будівництва, а також питання зниження вартості монтажного обладнання.
2. Робота переобтяжена англійськомовними умовними скороченнями.

Відзначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку магістерської кваліфікаційної роботи

Висновок: кваліфікаційна робота заслуговує оцінку "**відмінно**", а здобувач Шмельов Михайло Миколайович заслуговує присвоєння кваліфікації: Магістр з електронних комунікацій та радіотехніки.

Рецензент: _____

(*науковий ступінь, вчене звання*) (*підпис*) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Навчально-науковий інститут телекомунікацій

ПОДАННЯ
ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ
ЩОДО ЗАХИСТУ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
на здобуття освітнього ступеня магістра

Направляється здобувач Шмельов М.М. до захисту кваліфікаційної роботи
(прізвище та ініціали)

за спеціальністю 172 Електронні комунікації та радіотехніка
освітньо-професійної програми Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

на тему: Система розробки мережі доступу на основі технології XG PON для сільської місцевості

Кваліфікаційна робота і рецензія додаються.

В.о. директора ННІТ _____ Владислав КРАВЧЕКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Висновок керівника кваліфікаційної роботи

Здобувач Шмельов Михайло Миколайович показав гарну теоретичну та інженерну підготовку, уміння володіти технологіями нового покоління, вміло працювати з програмно-апаратними засобами мобільного зв'язку, довідковою і науково-технічною літературою. Працюючи над завданнями, які доручались керівником, проявив ініціативність, сумлінність та хист до інженерної роботи.

Все це дозволяє оцінити виконану кваліфікаційну роботу Кожум'яки Степана Даниловича на оцінку «добре» та присвоїти йому кваліфікацію «Магістр з електронних комунікацій та радіотехніки».

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Назарій БЛАЖЕННИЙ
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

" " _____ 2024 року

Висновок кафедри про кваліфікаційну роботу

Кваліфікаційна робота розглянута. Здобувач Шмельов М.М.
(прізвище та ініціали)

допускається до захисту даної роботи в Екзаменаційній комісії.

Завідувачка кафедрою
Мобільних та відеоінформаційних технологій _____ Наталія РУДЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

" " _____ 2024 року

ЗМІСТ

СПИСОК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ 10
ВСТУП 12
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ МЕРЕЖІ PON 13
1.1 Історія створення мережі PON 13
1.2 Створення та побудова стандарту PON 14
1.3. Волоконно-оптичні лінії зв'язку 22
1.3.1 Монтаж муфт і кросів ВОЛС 24
1.3.2 ONT, ONU, OLT та спліттери 29
1.3.3 Стандарт XG PON 31
РОЗДІЛ 2. СИНТЕЗ СТРУКТУРИ МЕРЕЖІ ДОСТУПУ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ XG-PON ТА ВИБІР ОБЛАДНАННЯ 36
2.1 Структура оптичної мережі доступу 36
2.2 Вибір топології побудови мережі 37
2.3 Вибір обладнання станційної ділянки 42
2.3.1 Оптичні розгалужувачі 43
2.3.2 Термінал оптичної лінії 44
2.3.3 WDM мультиплексор 46
2.3.4 Оптичний мережевий кінцевий блок (ONU) 47
2.3.5 Оптичний розгалужувач 1x4 50
2.4 Лінійна ділянка 52
2.4.1 Опис магістральної ділянки лінії PON 53
2.4.2 Опис розподільчої ділянки лінії PON 54
2.4.3 Опис абонентської ділянки лінії PON 54
2.5 Вибір типу волоконно-оптичного кабелю 55
2.5.1 Стратегія розміщення та типи оптичних розгалужувачів 59
2.6 Енергетична ефективність та екологічні аспекти мережі XG-PON 61
2.6.1 Енергетична ефективність мереж XG-PON 61
2.6.2 Порівняння з іншими технологіями 62

2.6.3 Вплив на навколишнє середовище 62
2.6.4 Підвищення сталості сільських територій 63
2.7 Мережі XG-PON в умовах сільської місцевості: проблеми та перспективи 63
2.7.1 Географічні та фізичні обмеження 64
2.7.2 Вартість будівництва та технічного обслуговування 64
2.7.3 Погодні умови та їх вплив на експлуатацію мережі 65
2.7.4 Соціально-економічні фактори 65
2.7.5 Перспективи розвитку 66
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ОПТИЧНОГО БЮДЖЕТУ ЛІНІЇ PON 67
3.1 Розрахунок згасань для гілок абонентів 71
3.2 Визначення згасання між вхідним і вихідними полюсами у OP-1 74
3.3 Визначення загальних втрат і експлуатаційного запасу у мережі 75
3.4 Аналіз впливу атмосферних умов на експлуатацію мережі XG-PON 76
3.4.1 Температурні коливання та їх вплив на стабільність мережі 77
3.4.2 Вологість та атмосферні опади 77
3.4.3 Вплив вітру та атмосферного тиску 78
3.4.4 Снігопади та замерзання 79
3.4.5 Заходи для мінімізації впливу атмосферних умов 79
ВИСНОВКИ 80
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 84

СПИСОК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

1. OLT (Optical Line Terminal) – оптичний лінійний термінал, центральний вузол мережі PON.
2. ONU (Optical Network Unit) – абонентський оптичний пристрій, який забезпечує взаємодію користувача з мережею.
3. ONT (Optical Network Terminal) – оптичний термінал, встановлений у користувача для доступу до мережі.
4. ODN (Optical Distribution Network) – оптична розподільча мережа, що з’єднує OLT та ONU/ONT.
5. PON (Passive Optical Network) – пасивна оптична мережа.
6. XG PON (10-Gigabit Passive Optical Network) – стандарт пасивної оптичної мережі з пропускною здатністю до 10 Гбіт/с.
7. FTTx (Fiber to the x) – оптична технологія доступу, де "x" вказує місце завершення оптоволокна (наприклад, FTTH – Fiber to the Home).
8. WDM (Wavelength-Division Multiplexing) – мультиплексування з розділенням по довжині хвилі.
9. TDM (Time Division Multiplexing) – мультиплексування з часовим поділом каналів.
10. GFP (Generic Framing Protocol) – універсальний протокол кадрування для передачі даних.
11. APC (Angled Physical Contact) – тип оптичного роз’єму з нахиленим торцем для зменшення відбиттів.
12. LOS (Loss of Signal) – втрата сигналу.
13. QoS (Quality of Service) – якість обслуговування.
14. SNI (Service Node Interface) – інтерфейс сервісного вузла.
15. UNI (User Network Interface) – інтерфейс користувач-мережа.
16. DBA (Dynamic Bandwidth Allocation) – динамічний розподіл пропускної здатності.

17. DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) – щільне мультиплексування з поділом по довжині хвилі.
18. Mbps (Megabits per Second) – мегабіт на секунду.
19. Gbps (Gigabits per Second) – гігабіт на секунду.
20. FTTH (Fiber to the Home) – оптоволокно до будинку.
21. FTTB (Fiber to the Building) – оптоволокно до будівлі.
22. FTTC (Fiber to the Curb) – оптоволокно до тротуару.
23. FTTCabinet (Fiber to the Cabinet) – оптоволокно до шафи.

ВСТУП

Протягом усього існування людство прагнуло вдосконалити способи передачі інформації, зробивши цей процес швидшим та ефективнішим. З розвитком технологій ці засоби зазнавали еволюційних змін, стаючи дедалі досконалішими. Важливим етапом у цій історії стало створення комп’ютера, що дозволило зберігати дані, виконувати обчислення та програмування.

Становлення мережевих технологій бере свій початок із революційних ідей Пола Берена, який у 1962 році представив концепцію розподіленої мережі на основі передачі інформації у вигляді блоків. Подальший розвиток цих ідей втілився у створенні першої децентралізованої мережі ARPANET у 1969 році, яку очолили Роберт Тейлор та Лоуренс Робертс. Ця мережа поклала основу сучасному Інтернету та працювала до 1990 року, демонструючи потенціал телекомунікацій.

Сьогодні одним із головних викликів для телекомунікаційних мереж є вирішення проблеми «останньої милі» — забезпечення максимальної пропускної здатності для абонентів при мінімальних витратах. Оптичні пасивні мережі (PON) стали ефективним рішенням цієї задачі. Їхня ключова особливість полягає у створенні пасивної оптичної мережі з деревоподібною топологією між центральним вузлом OLT і абонентськими вузлами ONT.

Еволюція технологій PON призвела до появи низки стандартів, серед яких найновішим і найперспективнішим є XG-PON (10G PON). Цей стандарт забезпечує високі швидкості передачі даних, що відповідає сучасним вимогам користувачів до якості та надійності зв’язку.

У даній дипломній роботі буде розглянуто стандарт XG-PON як один із найактуальніших у контексті розвитку мереж доступу, зокрема для потреб сільської місцевості.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ МЕРЕЖІ PON

1.1 Історія створення мережі PON

Початок історії розвитку глобальних мереж передачі даних можна віднести до 1969 року, коли було здійснено перший успішний комп'ютерний сеанс зв'язку на відстані 640 км у США. Ця подія стала відправною точкою для створення ARPANET — прототипу сучасного Інтернету. Попри обмежений доступ до ARPANET, доступ до мережі для звичайних користувачів став можливим лише у 1991 році, а розвиток веб-технологій значно пришвидшився завдяки появі браузера NCSA Mosaic у 1993 році, що дало поштовх масовій популяризації Інтернету.

На ранніх етапах мережі будувалися на базі телефонних ліній, що використовували технології xDSL. Серед них особливе місце займала модемна технологія ADSL2+, яка забезпечувала швидкість завантаження до 24 Мб/с і вивантаження до 1,2 Мб/с. Ця технологія тривалий час була домінуючою у багатьох країнах світу, забезпечуючи широкий доступ до Інтернету.

Однак фізичне та моральне старіння «мідної» інфраструктури стало очевидним викликом для телекомунікаційної галузі. Це сприяло переходу на сучасні оптичні мережі FTTx, які забезпечують удвічі вищу швидкість обміну даними, ніж їхні попередники. Завдяки перевагам оптичних мереж, за останнє десятиліття співвідношення між мідними та оптичними лініями значно змінилося на користь останніх.

Оптичні пасивні мережі (PON) стали ключовим технологічним рішенням, що поєднує високу продуктивність та низькі витрати. Серед основних переваг PON можна виділити:

- Мінімальне використання активного обладнання, що знижує енергоспоживання;
- Спрощену кабельну інфраструктуру, що зменшує витрати на встановлення;
- Низьку вартість обслуговування, що робить технологію доступною для багатьох користувачів;

- Інтеграцію з кабельним телебаченням, що розширює спектр послуг;
- Високу масштабованість, яка дозволяє легко збільшувати кількість абонентів;
- Щільність абонентських портів, що оптимізує використання ресурсів.

1.2 Створення та побудова стандарту PON

Технологія пасивних оптичних мереж (PON) стала революційним рішенням у телекомунікаціях завдяки своїй здатності забезпечувати високошвидкісний доступ до Інтернету із використанням лише одного оптоволокна. Принцип роботи PON базується на організації множинного доступу через тимчасове мультиплексування (Time Division Multiplexing Access – TDMA) і частотному поділу сигналів прийому та передачі (Wavelength-Division Multiplexing – WDM). У цій системі сигнали розподіляються по різних довжинах хвиль: прямий сигнал передається на довжині 1,49 мкм, зворотний — 1,31 мкм, а додатковий сигнал кабельного телебачення — на довжині хвилі 1,55 мкм.

Перший стандарт у сімействі PON, відомий як APON (ATM PON), було затверджено наприкінці 1998 року. Цей стандарт базувався на протоколі ATM, який передбачав передачу даних у вигляді фіксованих осередків (ATM-осередків) зі швидкістю 155 Мб/с. Завдяки цьому рішення американські та японські оператори зв’язку вже у 1999 році почали активно будувати пасивні оптичні лінії.

Поступовий розвиток технології APON призвів до створення оновленого стандарту BPON (Broadband PON). Цей "дочірній" стандарт запропонував підвищену швидкість передачі даних до 622 Мб/с, а також підтримку нових функцій, таких як динамічне призначення смуги пропускання, трансляція відеоконтенту та інтеграція різноманітних протоколів (SDH, FE, GE, SDI PAL тощо). Вперше в технології PON було додано третю довжину хвилі для трансляції мовного та телевізійного контенту.

Подальший розвиток пасивних оптичних мереж знайшов своє втілення у стандарті GPON (Gigabit PON). Цей стандарт запропонував гнучкі режими роботи

мережі: симетричний (з однаковою швидкістю в прямому і зворотному напрямках) та асиметричний, який найчастіше використовується на практиці. У асиметричному режимі швидкість передачі даних у прямому потоці досягає 2,488 Гб/с, а у зворотному — 1,244 Гб/с. Стандарт GPON також забезпечує можливість підключення різноманітних пристроїв, таких як домашні ПК, телевізори та телефони, через оптичний модем (ONT) за допомогою дротового або бездротового з'єднання [1].

На рисунку 1.1 зображено топологію мережі GPON.

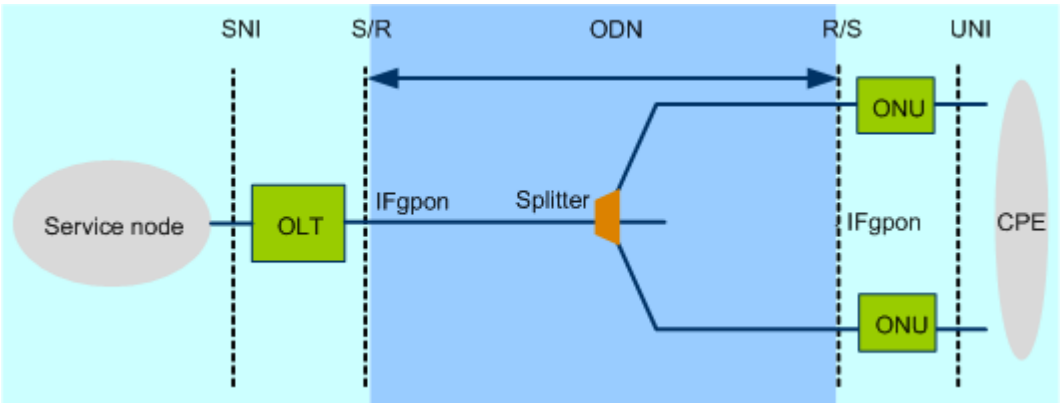


Рис.1.1 Топологія мережі GPON

Складові:

- OLT – оптичний лінійний термінал.
- ONU – абонентський пристрій.
- ODN — оптична розподільча мережа, що з'єднує оптичні лінійні термінали OLT та абонентські пристрої ONU.
- IFgpon – інтерфейс GPON.
- SNI – сервісний вузол.
- UNI - інтерфейс "користувач-мережа".
- CPE – обладнання в приміщенні абонента.

У мережах GPON швидкість передачі даних у прямому потоці становить

2,5 Гб/с, а до одного оптоволокна може підключатися до 64 абонентських вузлів. Це дозволяє зменшити витрати на один порт в оптичному терміналі оператора, побудованому за стандартом GPON, і значно скоротити енергоспоживання станційного обладнання. Структура мережі GPON включає магістральні та розподільчі лінії зв'язку [2]. Довжина магістральних трас може досягати 60 км. Для прокладання магістральних ліній використовуються традиційні методи — повітряні або підземні. Застосовуються оптичні кабелі із захисною оболонкою, яка гарантує тривалий термін служби навіть за умов підвищеної вологості та значних перепадів температур. На рисунку 1.2 схематично зображено мережу GPON в житловому секторі.



Рис.1.2. Схема мережі GPON в жилому секторі

У розподільчій інфраструктурі GPON, що використовується, наприклад, у багатоквартирних будинках, застосовуються райзер-кабелі та дроп-кабелі. Основною

особливістю поверхових дроп-кабелів, призначених для підключення оптичної лінії до підвісного розподільчого кабелю, є їх конструкція, яка дозволяє прокладати кабелі з невеликими радіусами вигину, забезпечуючи при цьому гнучке трасування. На рисунку 1.3 схематично зображено складові мережі GPON.

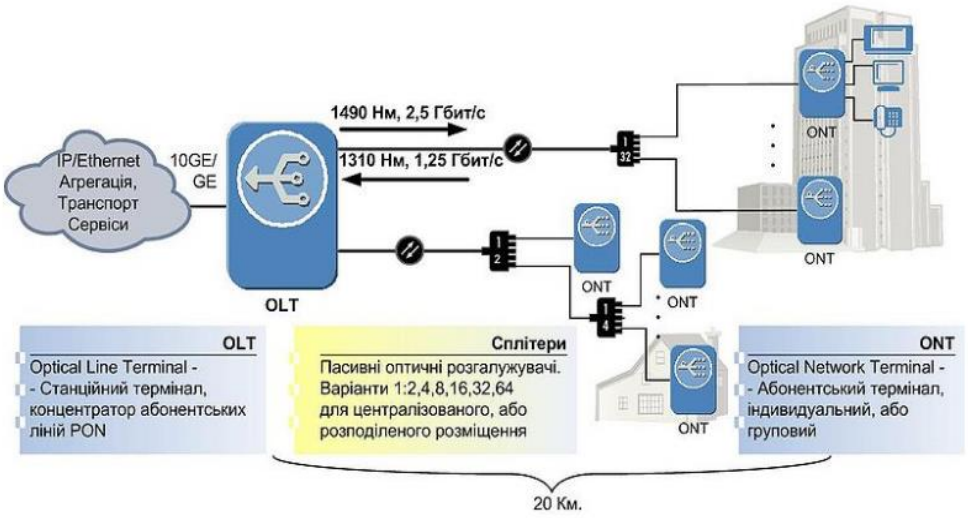


Рис.1.3 Складові мережі GPON

Райзер-кабелі, що використовуються для вертикального розведення між поверхами, зазвичай містять від 6 до 12 оптичних волокон. Вони легко укладаються в касети, і процес їх зварювання займає значно менше часу порівняно з зварюванням волокон в інших типах кабелів.

Мережа GPON складається з таких основних компонентів:

- Станційний термінал OLT (Optical Line Terminal), який включає кілька портів GPON (від 4 до 112) та порти Gigabit Ethernet або 10 Gigabit Ethernet для підключення до транспортної IP мережі.
- Абонентський термінал ONT (Optical Network Terminal), який може бути орієнтований як на одного користувача (із портами Ethernet, POTS та RF TV), так і на групу користувачів або організацію (із портами Ethernet, xDSL, POTS, E1, RF TV).
- Повністю пасивна оптична розподільча мережа між ними, що складається зі сплітерів з коефіцієнтом розділення від 1:2 до 1:64. Сплітери можуть бути розташовані як централізовано, так і розподілено.

Передача сигналу від OLT здійснюється на довжині хвилі 1490 нм зі швидкістю 2,5 Гбіт/с, а прийом сигналу — на довжині хвилі 1310 нм зі швидкістю 1,25 Гбіт/с [3].

Це дозволяє організувати роботу системи по одному волокну за принципом WDM (довжина хвилі поділу). Асиметричність швидкостей потоку пояснюється характером низхідного трафіку, що включає завантаження файлів та передачу відео. Нижче на рисунку 1.4 схематично зображено опис висхідного та низхідного потоку мережі GPON.

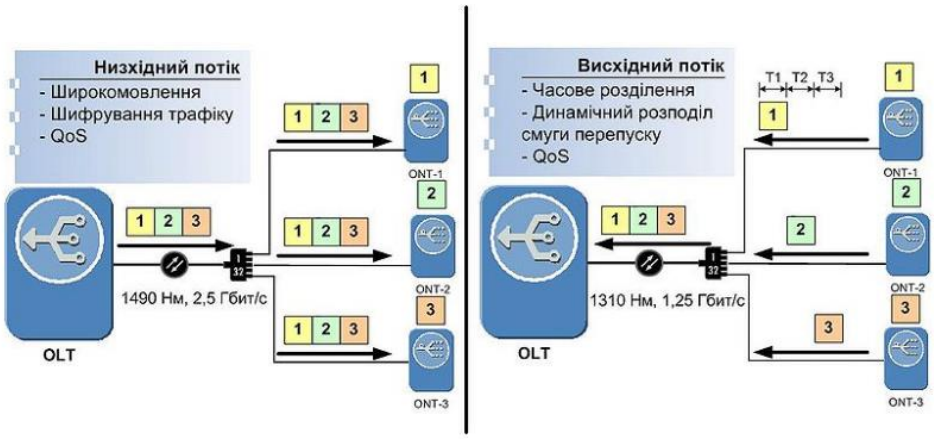


Рис.1.4. Опис висхідного та низхідного потоку мережі GPON

Одночасна робота численних абонентів в одному оптичному волокні досягається такими методами:

1. У низхідному потоці (від OLT до ONT) застосовується принцип широкомовлення, при якому всі кадри передаються всім абонентам у зашифрованому вигляді (128-бітним ключем), і кожен ONT має доступ тільки до своїх кадрів [4].

2. У висхідному потоці реалізовано використання принципу TDM (Time Division Multiplexing), де кожен ONT передає дані тільки в межах свого тимчасового інтервалу.

3. Забезпечення стабільної та гнучкої роботи системи досягається завдяки синхронізації мережі та динамічному розподілу смуги пропускання.

Передача даних з OLT здійснюється на довжині хвилі 1490 нм зі швидкістю 2,5 Гбіт/с, а прийом — на довжині хвилі 1310 нм зі швидкістю 1,25 Гбіт/с. Така організація дозволяє ефективно використовувати одне волокно для обміну даними, застосовуючи принцип WDM (розподіл за довжинами хвиль). Асиметричність

швидкостей потоку пояснюється типовим характером низхідного трафіку, який

включає завантаження файлів і передачу відео.

Практична організація мережі GPON передбачає:

- Наявність терміналу OLT у АТС або у провайдера, який відповідає за розподіл даних. Кабельні лінії підключаються до цього терміналу та розгалужуються на абонентські ділянки.
- На кожну жилу кабелів встановлюється сплітер — електронний пристрій, що розділяє сигнал одного оптичного волокна на кілька окремих каналів. Від сплітерів сигнал направляється до користувачів або додаткових розгалужувачів.
- Для кожного абонента встановлюється Optical Network Terminal (ONT), який оснащений кількома роз'ємами для підключення LAN та інших пристроїв, таких як телефони.

Будівництво розподільної мережі GPON є не тільки технічним, але й економічно обґрунтованим процесом, де враховуються різні топології та потреби в ресурсах. У міських районах оптимальним є використання сплітерів малої ємності (1:2 — 1:4) на зовнішніх мережах, з подальшим підключенням більш потужних сплітерів в будинках, в залежності від кількості абонентів (1:8, 1:16, 1:24, 1:32, 1:64). У сільській місцевості також проявляються переваги GPON, де можна встановлювати кінцеві сплітери в межах групи сусідніх будинків. Окрім FTTH, ця технологія використовується і в FTTB та FTTC топологіях, де застосовуються групові ONT [5].

Завдяки високим швидкостям і передовим механізмам управління трафіком, технологія GPON дозволяє пропонувати якісні послуги та збільшувати прибутковість операторів. Оптимізація капітальних витрат досягається шляхом концентрації великої кількості абонентів на одному волокні та зменшенням кількості активного обладнання. Операційні витрати значно знижуються завдяки централізованому управлінню мережею, спрощеній та надійній пасивній інфраструктурі, а також мінімальному використанню активного обладнання, що веде до значної економії на енергоспоживанні та орендних витратах.

Після вдосконалення специфікації GPON у 2004 році, що забезпечила пропускну здатність 2,5 Гбіт/с (низхідний потік) і 1,25 Гбіт/с (висхідний потік), організація FSAN зосередилася на збільшенні пропускної здатності PON. У 2010 році була випущена специфікація XG-PON, яка підтримує швидкість 10 Гбіт/с у низхідному потоці та 2,5 Гбіт/с у висхідному. У 2015 році з'явилася нова архітектура наступного покоління — NG-PON2, що дозволяє досягти пропускної здатності до 40 Гбіт/с у кожному напрямку завдяки мультиплексуванню за довжиною хвилі (WDM). Того ж року був стандартизований менш функціональний, але більш простий XGS-PON, що забезпечує швидкість 10 Гбіт/с [6].

При тестуванні мережі PON операторів зазвичай виникають два основні питання:

1. Реальне згасання сигналу в оптичній лінії між центральним вузлом і абонентським пристроєм.

2. Локалізація проблемних ділянок, якщо виявлене згасання перевищує очікуване.

Для вирішення першого питання зазвичай використовують оптичний тестер, що дозволяє виміряти згасання на ділянці лінії. Друге питання складніше і вимагає застосування оптичного рефлектометра (OTDR) для детального аналізу рефлектограм.

Найкраще, якщо всі вимірювання проводяться без відключення абонентів, використовуючи спеціальне обладнання (хвильові мультиплексори DWDM, фільтри), щоб уникнути перешкод для основного сигналу. У мережах PON для основного каналу (від OLT до ONT) зазвичай використовується довжина хвилі 1490 або 1550 нм (для передачі відео), а для зворотного каналу — 1310 нм. Для тестування використовують хвилю 1625 нм, що дозволяє проводити вимірювання без відключення користувачів, якщо в мережі встановлено хвильові мультиплексори і фільтри [7].

При вимірюванні згасання лінії між OLT і ONT тестер підключається до вільного кінця хвильового мультиплексора на OLT, а приймач — перед фільтром

на абонентському пристрої. Для вимірювання без відключення абонента використовується хвильовий мультиплексор, подібний до того, що використовується на центральному вузлі.

Оптичний рефлектометр (OTDR) допомагає локалізувати проблемні ділянки в мережі, виявляючи деградацію волокна до виникнення серйозних проблем. Регулярне зняття рефлектограм і їх порівняння з базовими даними дозволяє своєчасно виявити відхилення і вжити необхідних профілактичних заходів для підтримки стабільної роботи мережі.

Під час будівництва мереж FTTx PON потрібно виконати кілька ключових вимірів:

- односпрямований вимір втрат в кабельній секції перед зварюванням;
- двосторонній вимір оптичних поворотних втрат (ORL);
- двосторонній вимір оптичних втрат між двома кінцевими точками;
- двостороннє зняття характеристик лінії;
- зняття рефлектограми для кожної ділянки оптичної лінії, включаючи спліттери.

При введенні в експлуатацію мереж FTTx PON необхідно виконати два основні виміри:

- вимір оптичної потужності на виході OLT;
- вимір оптичної потужності для прямого та зворотного потоків на кожній гілці мережі PON під час підключення нових ONT.

Основні переваги такої архітектури включають:

- відсутність проміжних активних вузлів;
- економія оптичних приймачів на центральному вузлі;
- зниження витрат на волокна;
- спрощене підключення нових абонентів та зручність в обслуговуванні [8].

1.3. Волоконно-оптичні лінії зв'язку

Волоконно-оптичні лінії зв'язку (ВОЛС) мають ряд суттєвих переваг у порівнянні з традиційними мідними та радіорелейними системами. Ось деякі з них:

- Низьке загасання сигналу: Однією з головних переваг ВОЛС є низький рівень загасання сигналу — лише 0,15 дБ/км в третьому вікні прозорості. Це дозволяє передавати інформацію на великі відстані без необхідності в частих підсилювачах. У випадку ВОЛС підсилювачі зазвичай встановлюються через 40, 80 або навіть 120 кілометрів, що залежить від класу кінцевого обладнання.
- Висока пропускна здатність: Оптичне волокно має здатність передавати дані на значно більшій швидкості, ніж будь-яка інша система зв'язку, що робить його ідеальним для високошвидкісних мереж.
- Висока надійність: Оптичні волокна не схильні до корозії та не вбирають вологу. Вони також менш чутливі до слабкого електромагнітного випромінювання, що забезпечує високу надійність оптичного середовища.
- Захищеність від міжволоконних впливів: ВОЛС мають вражаючий рівень захисту від міжволоконних впливів, досягаючи понад 100 дБ. Випромінювання в одному волокні не заважає сигналу в іншому, що дозволяє забезпечити стабільну передачу даних.
- Малі розміри і легкість: ВОЛС мають компактні розміри та низьку масу, що робить їх зручними для використання в різноманітних умовах, де обмеженість простору є важливим фактором.

Попри численні переваги, волоконно-оптичні лінії мають і деякі недоліки:

- Крихкість волокна: Оптичне волокно є відносно крихким матеріалом.

При сильних вигинах кабелю, зокрема, коли силовим елементом служить склопластиковий пруток, можливе виникнення мікротріщин, що може призвести до поломки або замутнення волокна.

- Складність з'єднання волокон: У разі розриву волокна або необхідності в його ремонті, процес з'єднання вимагає спеціального обладнання та досвіду, що робить його складним.
- Складність технології виготовлення: Як виготовлення самого оптичного волокна, так і інших компонентів ВОЛС, вимагає високих технологічних стандартів, що додає складнощів та вартості у виробництво.
- Перетворення сигналу: Процес перетворення оптичного сигналу в електричний для інтерфейсного обладнання є досить складним і потребує спеціалізованого устаткування.
- Висока вартість: Хоча вартість ВОЛС є відносно високою, вона виправдовується завдяки високій пропускній здатності та довгостроковій економії на енергоспоживанні і обслуговуванні. Співвідношення ціни та пропускної здатності у ВОЛС значно вигідніше порівняно з іншими системами зв'язку.
- Застарівання волокна: З часом оптичне волокно може втрачати прозорість через старіння, що призводить до зниження його ефективності.

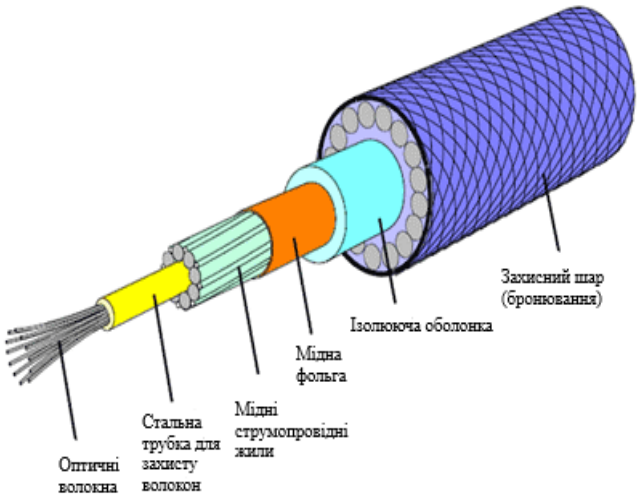


Рис.1.5. Складові оптичного кабелю

З появою оптичних кабелів була впроваджена архітектура FTTx (Fiber to the x), яка є складовою частиною оптоволоконних ліній зв'язку. Ця архітектура з'єднує з одного боку оптичний лінійний термінал OLT (Optical Line Terminal), розташований на стороні оператора, а з іншого — з приймально-передавальними

модулями абонентів, такими як ONT (Optical Network Terminal) або ONU (Optical Network Unit) [9].

Оптичний кабель для таких ліній зв'язку може бути прокладений різними способами:

- Через кабельні канали або в кабельних колекторах;
- Безпосередньо в ґрунт, при цьому використовують кабелеукладальника для броньованих кабелів або задувають кабель у вже прокладену трубку для полегшених або звичайних кабелів;
- Підвішування кабелю на повітряних лініях зв'язку. Для кожного методу укладання розробляються спеціальні кабелі з відповідними оболонками, які мають різні типи броні, здатність витримувати розтягуючі зусилля та інші характеристики.

1.3.1 Монтаж муфт і кросів ВОЛС

Ця система передачі даних зазвичай використовується для створення зовнішніх магістралей, які з'єднують окремі будівлі або комплекси, а також багатоповерхові споруди. Вона може застосовуватись і в якості внутрішнього компонента структурованої кабельної системи (СКС), хоча повністю оптичні СКС використовуються рідше через високу вартість будівництва оптичних ліній зв'язку.

Використання ВОЛЗ дозволяє ефективно поєднувати робочі місця на великих територіях, забезпечуючи високу швидкість Інтернет-з'єднання для всіх користувачів, стабільний телефонний зв'язок та телевізійний прийом.

Для з'єднання оптичних кабелів застосовуються оптичні муфти — пластикові

контейнери, в середині яких розташована сплайс-пластина, що утримує волокна в необхідному положенні.

Оптичний крос — це пристрій, що забезпечує з'єднання оптичних волокон кабелю з роз'ємами стандартів. Крос виготовляється у вигляді металевого корпусу, на зовнішній панелі якого розташовані оптичні роз'єми, а всередині — сплайс-

пластина. З'єднання волокон кабелю з роз'ємами в кросі здійснюється за допомогою пігтейлів — коротких відрізків оптичного волокна, оснащених роз'ємами. Один кінець пігтейлу підключається до внутрішнього роз'єму кросу, а інший — до волокна кабелю за допомогою зварювання. Нижче на рисунку 1.6 зображено складові оптичної муфти [10].

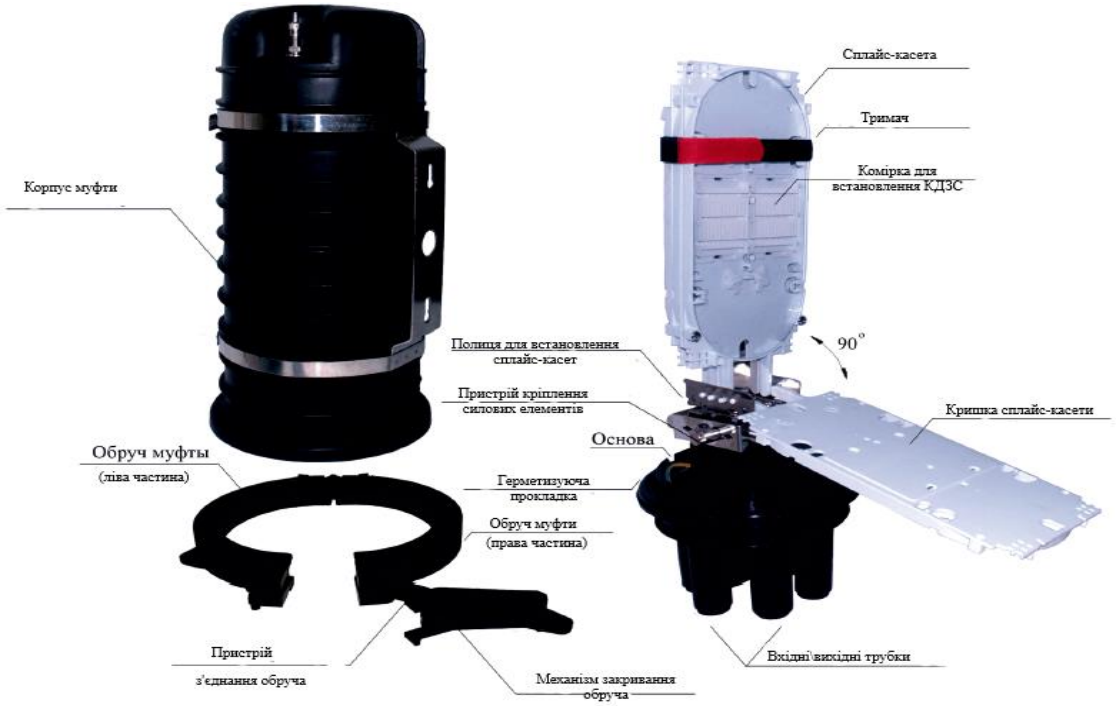


Рис.1.6. Складові оптичної муфти

Вибір оптичних муфт залежить від типу і конструкції оптичного кабелю, який використовується для побудови мережі, а також від розташування функціонального вузла, де буде встановлюватися муфта. З технічної точки зору оптичні муфти поділяються на три основні категорії:

1. Прохідні муфти
2. Тупикові муфти
3. Універсальні муфти

Прохідні муфти мають два входи, з можливістю герметично закривати один з них за допомогою заглушки, якщо він не використовується. Прохідні муфти поділяються на кілька типів:

- З'єднувальні муфти, які захищають з'єднання оптоволоконних кабелів під час зрощування. Вони частково знімають ізоляцію, і оптоволокно може бути піддане агресивному середовищу, тому муфта забезпечує його захист.
- Розгалужувальні муфти, що використовуються для розгалуження кабелів на менші гілки або для відведення волокон до пасивного обладнання.

Тупикові муфти є найбільш поширеними сьогодні. Вони зазвичай мають циліндричну або купольну форму з одним кабельним входом. Ці муфти можуть бути використані як для підземних, так і для повітряних ліній зв'язку, встановлюючись на стовпах або опорах. В них герметичність забезпечується за допомогою спеціальних стрічок, заглушок або термоусадочних трубок.

Універсальні муфти мають можливість змінювати напрямок кабелю завдяки спеціальним заглушкам. Вони зазвичай містять одну або кілька сплайс-касет, що використовуються для зрощування волокон і забезпечення захисту зварених з'єднань. Сплайс-касети можуть мати різну конструкцію і підтримувати різну кількість волокон, найчастіше від 12 до 24, але можуть бути й інші варіанти.

При монтажі муфти важливо враховувати місце її встановлення, оскільки від цього залежить вибір її параметрів, зокрема рівня захисту, герметизації та типу муфти. Муфти можуть бути встановлені в кабельних колодязях, каналізаціях, шахтах міських мереж, під землею, в пластикових колодязях для магістральних оптичних ліній, або бути підвісними на опорах ліній зв'язку чи електропередач. Також є моделі для внутрішнього монтажу. Основні групи муфт включають: для укладання в ґрунт, для підвісу на опорах, для кабельних каналізацій. Нижче на рисунку 1.7 зображено монтаж муфти в каналізації та на стовпі.



Рис.1.7. Монтаж муфти у каналізації та на стовпі

Якісна оптична муфта повинна бути сумісною з будь-яким типом оптоволоконного кабелю, зазначеним у тендерній документації. Тому дуже важливо враховувати сумісність кабелів і правильно вибирати тип муфти. Конструкція муфт для зрощування волокон змінюється залежно від їх призначення. Наприклад, муфти, призначені для повітряного прокладання або підвісу на опорах, мають іншу конструкцію порівняно з тими, що використовуються для підземних установок. Крім того, муфти повинні бути сумісними з різними типами кабелів, тому перед їх вибором необхідно точно визначити, з якими кабелями вони будуть використовуватися: модульними, з вільним або щільним буфером, броньованими, самопідвісними, з тросом чи без [11].

Перед вибором муфти для зрощування необхідно спроектувати систему кінцевого закладення кабелю таким чином, щоб забезпечити достатню механічну міцність з'єднання між кабелем і муфтою, що гарантує її надійне функціонування протягом усього терміну експлуатації. Матеріали, з яких виготовляються муфти, повинні мінімізувати або повністю усувати можливі рухи між компонентами кабелю,

а також запобігати проникненню пилу і вологи. Саме тому муфти мають міцні корпуси, що захищають від атмосферних впливів, і всі їх порти надійно герметизуються.

Існує два основних типи герметизації муфт:

1. Холодна герметизація (механічна) — здійснюється за допомогою герметизуючих стрічок, фіксуючих болтів, хомутів та засувок.

2. Гаряча герметизація (термозбіжна) — використовується термоусаджувані трубки, стрічки та манжети. У цьому випадку кабель попередньо розігрівають, після чого вставляють у контейнер. Гарячий тип герметизації вважається більш надійним і особливо підходить для прокладання магістральних ліній в каналізаціях.

При виборі типу муфти важливо врахувати клас захисту, оскільки він безпосередньо впливає на ефективність захисту від пилу та вологи. Чим вищий клас захисту, тим надійніше обладнання. Найпоширенішими і найбільш надійними є муфти з захистом IP65 і IP68.

Правильне проектування майбутньої волоконно-оптичної системи, яке включає вирішення архітектурних завдань, вибір відповідного обладнання та методів з'єднання кабелів, а також професіональний монтаж, дозволяє отримати кілька суттєвих переваг:

- Висока пропускна здатність завдяки високій несучій частоті. Одне оптичне волокно може передавати кілька терабіт інформації за секунду.
- Низький рівень шуму в оптичному кабелі сприяє кращій пропускній здатності та здатності передавати сигнали з різними модуляціями.
- Пожежна безпека. ВОЛЗ можна використовувати на підприємствах підвищеної небезпеки, таких як нафтохімічні виробництва, без обмежень, оскільки оптичні волокна не створюють іскри.
- Довгі відстані без ретрансляторів. Завдяки малому згасанню світлового сигналу оптичні системи можуть з'єднувати робочі ділянки на відстані

понад 100 км без додаткових підсилювачів.

- Інформаційна безпека. Оптичні волокна захищають від несанкціонованого доступу та перехоплення даних, оскільки не випромінюють в радіодіапазоні і

мають високу чутливість до коливань. У разі спроби підслуховування система контролю може відключити канал і попередити про злам.

- Висока надійність та завадостійкість. Оптичне волокно, будучи діелектричним, не піддається впливу електромагнітних випромінювань, окисленню та вологи.
- Економічність. ВОЛЗ дешевші в експлуатації порівняно з іншими системами.
- Довговічність. Термін служби оптичних ліній може досягати 50 років. Після 25 років безперервної роботи у системі може спостерігатися незначне зменшення потужності сигналу.
- Порівняння з мідними кабелями. Оптичний кабель при такій самій пропускній здатності важить приблизно в чотири рази менше, а його об'єм навіть із захисними оболонками значно менший, ніж у мідного.
- Перспективи розвитку. Використання оптичних ліній дозволяє без труднощів нарощувати обчислювальні потужності локальних мереж, додаючи активне обладнання без потреби замінювати комунікаційні лінії.

Оптичні кроси можуть бути виготовлені для монтажу в стандартну 19-дюймову стійку або на стіну. Вони можуть мати можливість відкриватися без демонтажу або бути без такої функції.

Зварювання оптичних волокон здійснюється за допомогою спеціальних зварювальних апаратів у напівавтоматичному режимі.

1.3.2 ONT, ONU, OLT та спліттери

ONT є терміналом індивідуального використання, встановленим безпосередньо у квартирі абонента (оптичний модем). В свою чергу, ONU - це пристрій, який встановлюється в розподільчій шафі багатоквартирного будинку і має кілька портів для підключення різних пристроїв, таких як комп'ютери, телевізори та телефони, що знаходяться в сусідніх квартирах.

Основна функція ONU полягає в перетворенні оптичних сигналів, що передаються через волокна, на електричні сигнали, які потім передаються абонентам. Між ONU та кінцевим користувачем існує певна віддалена мережа доступу. Крім того, ONU здатний отримувати, агрегувати та обробляти різноманітні дані, що надходять від користувачів, і надсилати їх до OLT у висхідному напрямку. Процес обробки оптимізує та реорганізує потік даних, покращуючи ефективність їх доставки.

OLT здійснює розподіл пропускної здатності, що дозволяє передавати дані від клієнтів через ONU у вигляді пакетів. ONU може бути підключено до мережі за допомогою різних типів кабелів, таких як мідна вита пара, коаксіальний кабель, оптичне волокно або навіть Wi-Fi.

Як ONT, так і ONU виконують функцію перетворення оптичних сигналів, що надходять від OLT, в електричні сигнали, а також зворотне перетворення електричних сигналів, що надійшли від кінцевих пристроїв користувачів. Нижче на рисунку 1.8 зображено пристрій ONT.



Рис.1.8. Пристрій ONT

OLT є основним елементом пасивної оптичної мережі, який підключається до комутатора ядра через Ethernet-кабелі. Основні функції OLT включають перетворення, кадрування та передачу сигналів для мережі PON, а також

координування мультиплексування оптичних терміналів для спільної висхідної передачі даних. OLT має два основні напрямки передачі: висхідний потік, що отримує різні типи даних та голосовий трафік від користувачів, і низхідний потік, який отримує дані, голос та відео з міської мережі або мережі дальнього радіусу і надсилає їх усім модулям ONT в ОДН. Максимальна відстань передачі через ODN становить до 20 км.

Якщо на певній ділянці оптичної лінії встановити спліттери — пасивні роздільники сигналу, що надходить від OLT, і підключити їх до ONT, то це створить деревоподібну структуру, яка переходить від одноволоконної FTTx до пасивної оптичної мережі PON (Passive Optical Network). Нижче на рисунку 1.9 зображено оптичний спліттер.



Рис.1.9. Оптичний спліттер

1.3.3 Стандарт XG PON

XG-PON, також відомий як 10G-PON, є удосконаленою версією GPON, що визначає механізм переходу для забезпечення швидкості 10 Гбіт і 2,5 Гбіт для користувачів. Низхідний сигнал користувача XG-PON працює в діапазоні від 1575 до 1580 нм, а висхідний сигнал — від 1260 до 1280 нм. Архітектура 10G-PON аналогічна архітектурі GPON у вигляді точки-багатоточки (P2MP), і вона підтримує різноманітні сценарії доступу, такі як fiber to the home (FTTH), fiber to

the building (FTTB), fiber to the curb (FTTCurb), fiber to the cabinet (FTTCabinet) та інші.

Для покращення швидкості передачі і зниження витрат при продовженні використання існуючої оптоволоконної інфраструктури було введено XG-PON. Ця технологія зберігає мережеву структуру, схожу на GPON, з різними довжинами хвиль для висхідного і низхідного потоку, що дозволяє їм працювати паралельно, зберігаючи інвестиції операторів мереж [12,13].

10G-PON є наступним етапом розвитку технології GPON, і її впровадження стало необхідним через кілька факторів: • Потреба в більшій пропускній здатності для нових послуг, яку GPON не здатен задовольнити. • Впровадження нових інноваційних технологій доступу, які вимагають збільшеної пропускної здатності, тоді як GPON досягає своїх меж. • Вищі інвестиційні витрати на побудову мережі через більшу відстань і більший коефіцієнт розподілу.

10G GPON (рис. 1.10) має два основні стандарти: XG-PON і XGS-PON: • XG-PON — асиметричний стандарт, що підтримує передачу з максимальною швидкістю 9,953 Гбіт/с на низхідному потоці та 2,488 Гбіт/с на висхідному. • XGS-PON — симетричний стандарт, який забезпечує однакову швидкість передачі як на низхідному, так і на висхідному потоці, з максимальною швидкістю 9,953 Гбіт/с для обох напрямків.

Саме XG-PON є темою мого дипломного проекту тому далі розглядатимемо саме його.

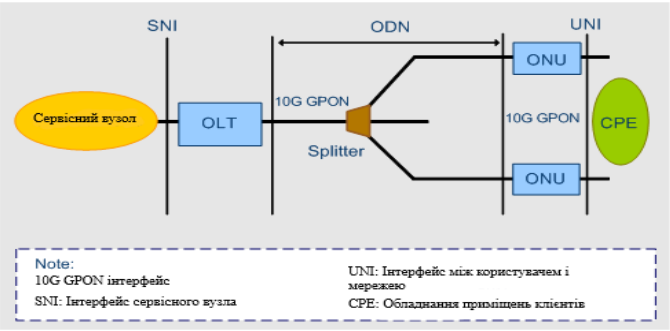


Рис.1.10. Структура мережі 10G-PON

Асиметричний стандарт 10G-PON, відомий як XG-PON1, забезпечує швидкість 10 Гбіт/с у напрямку низхідного потоку та 2,5 Гбіт/с у напрямку

висхідного потоку (номінальна швидкість лінії — 9,95328 Гбіт/с для низхідного потоку та 2,48832 Гбіт/с для висхідного).

Симетричний 10G-PON представлений як XG-PON2, який пропонує однакову швидкість у обох напрямках (10 Гбіт/с), але для досягнення такої швидкості на висхідному потоці необхідно використовувати дорожчі імпульсні лазери в терміналах оптичних мереж (ONT).

Процес побудови мережі 10G-PON не має принципових відмінностей від GPON, оскільки технологія 10G-PON розроблена для сумісності з пристроями GPON. Перехід до 10G-PON може бути здійснений шляхом оновлення OLT, а в разі потреби, заміни або модернізації деяких ONU.

Таблиця 1. 1

Порівняння мережі GPON та XG-PON

	GPON	XG-PON
Висхідний потік (nm)	1260-1360	1260-1280
Низхідний потік (nm)	1480-1500	1575-1580
Швидкість висхідної лінії	1.2Gbps	2.5/10Gbps
Швидкість низхідної лінії	2.5Gbps	10Gbps

Порівнюючи мережі GPON та XG-PON, можна зробити висновок, що XG-PON пропонує вищу швидкість як для висхідного, так і для низхідного потоку, що забезпечує більш ефективну передачу даних. Однак одним із основних недоліків цієї технології є висока вартість обладнання. Оскільки розвиток XG-PON йде стрімко, цей недолік з часом може стати менш важливим, і саме ця технологія є об'єктом дослідження в моїй дипломній роботі [14,15].

Згідно з оцінками експертів, конфігурація PON з розгалужувачем у центральному офісі, що розташований близько до центрального вузла, є економічно вигіднішою, ніж мережа типу точка-точка, навіть якщо відстань до абонентів залишається майже незмінною. Більш того, якщо відстані до абонентів невеликі, з урахуванням експлуатаційних витрат (що має велике значення,

наприклад, у Японії), PON з розгалужувачем у центральному офісі буде економічніше, ніж з розгалужувачем, наближеним до абонентських вузлів.

Технологія 10G PON вже давно зарекомендувала себе: норми для її впровадження були затверджені ще в 2005 році, а перше комерційне розгортання цієї технології в Північній Америці почалося в червні 2006 року. Оцінки та досвід наступних проектів свідчать про високу надійність і відмовостійкість 10G PON, що особливо важливо для корпоративних клієнтів. Висока пропускна здатність цієї технології дозволяє забезпечувати широкий спектр послуг (голос, відео, дані), що підвищує задоволеність клієнтів і знижує ймовірність їхнього бажання змінити оператора.

10G PON застосовує FTTx і здатна забезпечити високі швидкості послуг навіть для малих населених пунктів, які раніше були занадто віддаленими для задоволення вимог великих операторів. Крім того, вартість волокна для 10G PON є порівняно низькою, а сама мережа не потребує постійного технічного обслуговування та має низькі витрати на абонентське обладнання. Важливою перевагою є також забезпечення безпеки передавання інформації, що є одним із головних вимог на ринку послуг [16].

Очікується, що до 2024 року частка ринку 10G PON перевищить 50%. Оскільки інформаційні мережі постійно розвиваються, щоб задовольнити зростаючі потреби користувачів, попит на 10G PON, ймовірно, зростатиме. Завдяки постійному розвитку мереж 4G та інвестиціям у комерціалізацію 5G, абоненти все більше користуються широкосмуговим інтернетом для смартфонів. Це призведе до широкого впровадження 10G PON, щоб задовольнити потреби у високій пропускній здатності та мінімальних затримках передачі даних.

XG-PON1 підтримує максимальну відстань передачі до 20 км, а в деяких випадках може досягати 60 км. Системи GPON та XG-PON працюють синхронно, що дозволяє підтримувати TDM-трафік, властивий SDH та PDH. Водночас технології, як EPON і APON, вже залишилися позаду. Технологія 10G PON, або EPON (GEPON), є найбільш економічною і здатною забезпечити широкий спектр мультисервісних послуг. XG-PON є наступним етапом розвитку PON-мереж і

дозволяє створювати ще більш масштабовану та гнучку мережу доступу. Швидкість передачі даних збільшується до 10 Гбіт/с, а максимальна відстань до абонентського терміналу становить 20 км (в окремих випадках 60 км) [17].

Зважаючи на актуальність технології XG-PON, її застосування в телекомунікаційному секторі України для побудови мультисервісних інформаційних мереж доступу для висотних житлових комплексів є доцільним і перспективним.

РОЗДІЛ 2. СИНТЕЗ СТРУКТУРИ МЕРЕЖІ ДОСТУПУ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ XG-PON ТА ВИБІР ОБЛАДНАННЯ

2.1 Структура оптичної мережі доступу

Технологія PON (рис.2.1) дозволяє створювати розгалужені мережі, здебільшого з деревоподібною топологією, без використання активних компонентів, завдяки застосуванню пасивних оптичних розгалужувачів. Вона є ідеальним рішенням для покриття великих територій з різною щільністю забудови, від багатоповерхових районів до котеджних селищ, де її переваги проявляються найбільш ефективно. Інформація для користувачів передається одночасно за допомогою часових розподілів каналів, що здійснюється від головної станції — оптичного лінійного терміналу (OLT) до кінцевих оптичних мережевих блоків (ONU).

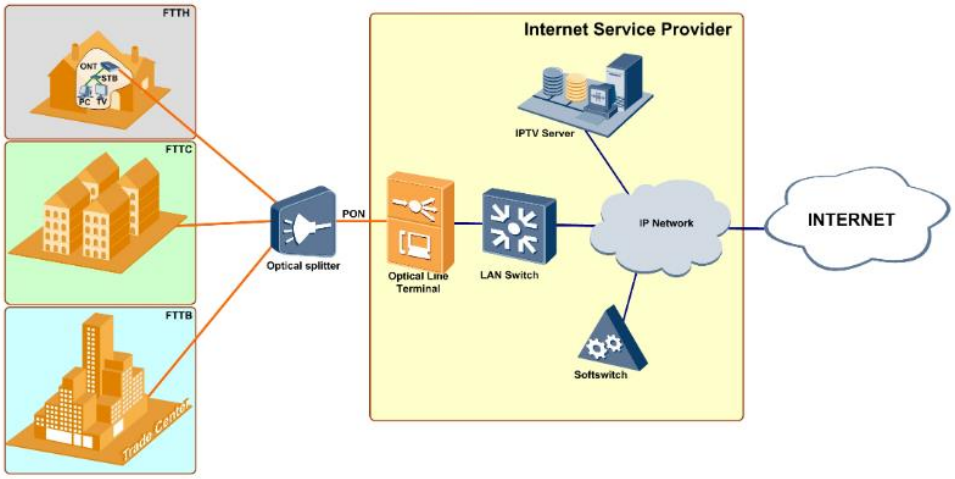


Рис.2.1. Технологія PON

Оптична потужність, що надходить з виходу OLT у вузлах мережі PON, розподіляється (як рівномірно, так і нерівномірно) так, щоб сигнал, який надходить на входи всіх ONU, мав приблизно однаковий рівень.

2.2 Вибір топології побудови мережі

Вибір архітектури мережі залежить від багатьох факторів, зокрема від щільності розташування абонентів. Для багатоповерхових житлових будинків найкраще підходить система FTTB. Для приватних будинків або офісних приміщень (залежно від фінансових можливостей замовника та його потреб у високошвидкісних програмах) більш доцільно використовувати архітектури FTTC або FTTH.

У сучасних оптичних технологіях доступу можна використовувати різні топології мережі, і вибір оптимальної залежить від низки факторів, таких як щільність абонентів, довжина ліній, розташування абонентів та види послуг. Основна оптична технологія для мереж доступу – це PON (Passive Optical Network). Основною перевагою PON є можливість побудувати мережу доступу з мінімальними капітальними витратами при високій пропускній здатності. Така мережа має розгалужену структуру, зазвичай у вигляді дерева, без активних компонентів, використовуючи лише пасивні оптичні розгалужувачі. Усі користувачі отримують інформацію одночасно, з розподілом каналів часу від головної станції – оптичного лінійного терміналу (OLT) до кінцевих оптичних блоків (ONU). У мережах PON оптична потужність, що надходить з виходу OLT, може ділитися рівномірно або нерівномірно таким чином, щоб рівень сигналу на вході всіх ONU був майже однаковим [18].

Окрім стандартної деревоподібної топології, можуть використовуватись і альтернативні варіанти, такі як «зірка» або «шина». Топологія «зірка» застосовується, коли абоненти зосереджені в межах невеликої відстані від головної станції. У цій схемі розгалужувач розміщується поряд з OLT, що зручно для обслуговування. Вона проста у експлуатації, зручна для монтажу та вимірювань, а також для виявлення пошкоджень ліній. Проте, на відміну від схеми «точка-точка», ця топологія може бути не надто економічною через високі витрати на оптоволокно, особливо коли абоненти знаходяться на великій відстані.

Топологія «шина» використовується, коли абоненти розміщені вздовж однієї лінії оптичної магістралі. Ця схема є економічною, але має один суттєвий недолік — вона вимагає значної різниці в вихідних потужностях оптичних розгалужувачів (наприклад, 1/99, 3/97 і т.д.), що складно досягти з високою точністю. У реальності, топологія «шина» підходить лише для ситуацій, коли абоненти лінійно розташовані уздовж магістралі і кількість каскадів обмежена, оскільки надмірні втрати в розгалужувачах можуть значно обмежити дальність передачі.

Традиційна деревоподібна топологія (рис.2.2) залишається найпоширенішою. Проблеми з оптимальним розподілом потужності між гілками «дерева» вирішуються шляхом ретельного підбору коефіцієнтів розподілу в оптичних розгалужувачах. Деревоподібна структура є дуже гнучкою для розвитку та зручна для розширення абонентської бази. Основні труднощі цієї топології можуть виникати під час оптичних вимірювань, особливо на стороні станції. Зазвичай таку схему доцільно використовувати в районах з високою щільністю абонентів.

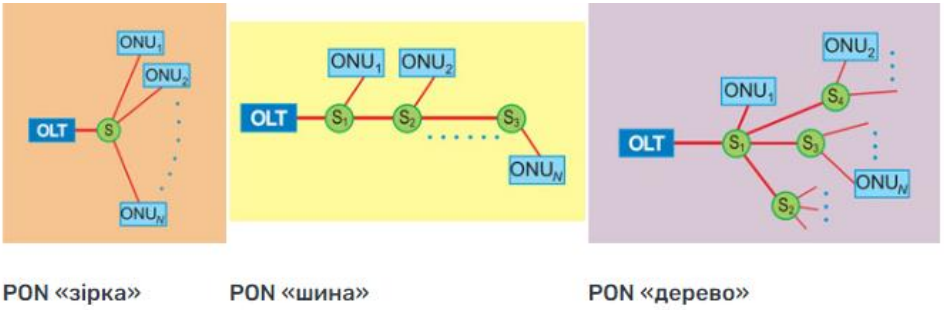


Рис.2.2 Топології мережі

Мережа будується за деревоподібною топологією, яка ґрунтується на схемі двійкового дерева. В цьому дереві кожен вузол більш високого рівня з'єднаний з двома вузлами нижчого рівня. Вузол на вищому рівні називається батьківським, а два підключених до нього вузли — дочірніми. Кожен дочірній вузол, у свою чергу, є батьківським для двох вузлів нижчого рівня. Таким чином, кожен вузол з'єднаний з двома дочірніми вузлами і одним батьківським.

Топологія «дерево» може бути як активною, так і пасивною. У активних деревах вузлами є комп'ютери, тоді як у пасивних — комутатори. Отже, ця топологія поєднує характеристики двох інших топологій: «шина» та «зірка» [19].

Проте деревоподібна топологія не є оптимальною для великих обсягів передачі даних між несуміжними вузлами, оскільки повідомлення повинні проходити через кілька проміжних ланок. На вищих рівнях мережі виникають затори через недостатню пропускну здатність. Цей недолік можна усунути за допомогою модифікації, яку називають «товстим деревом» (рис.2.3).

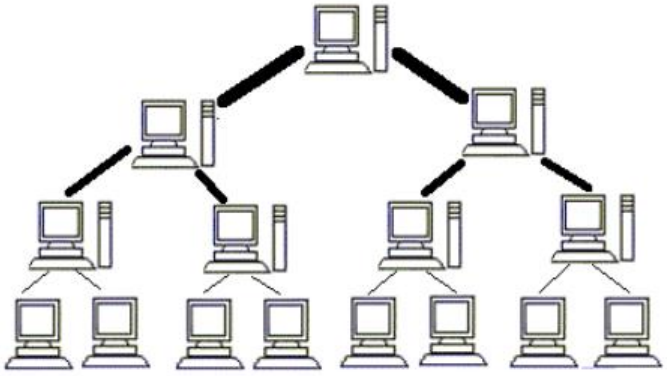


Рис.2.3 Топологія «товсте дерево»

Основна ідея цієї топології полягає в збільшенні пропускної здатності комунікаційних ліній на прикореневих рівнях мережі. Для досягнення цієї мети на вищих рівнях зв'язок між дочірніми та батьківськими вузлами здійснюється через кілька каналів, причому з підвищенням рівня кількість каналів збільшується. Перевагою такої топології є її гнучкість у розширенні та простота обслуговування, що особливо важливо для виявлення пошкоджень і несправностей у мережі [20].

До недоліків можна віднести той факт, що вихід з ладу батьківського вузла призводить до відключення всіх дочірніх вузлів. Також, обмежена пропускна здатність та обмежений доступ до мережі можуть створювати труднощі. Однак зручність у виявленні несправностей та ремонті є важливим аспектом, особливо для мережі PON у сільській місцевості. Зменшити кількість несправного обладнання можна за допомогою підземного прокладання кабелів, але це дороге рішення, яке також подовжує термін будівництва мережі.

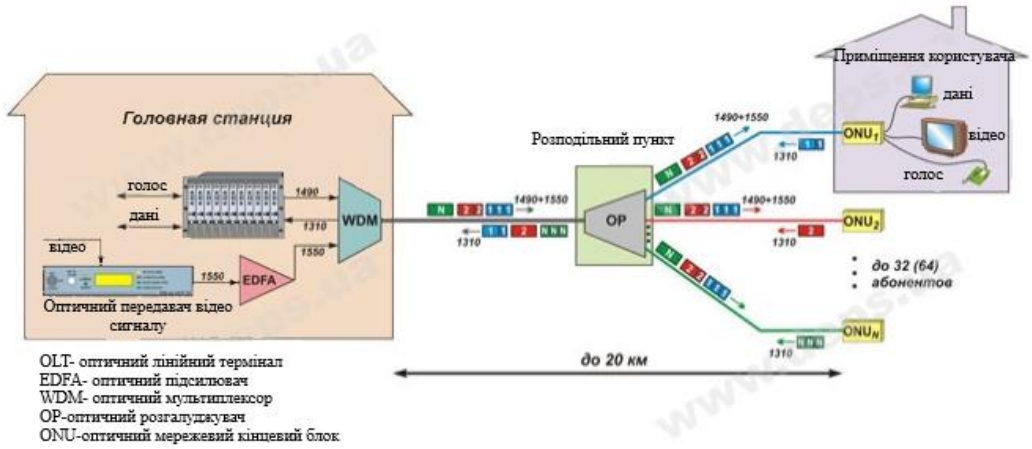


Рис.2.4 Структурна схема мережі PON

Як показано на схемі (Рис. 2.4), прямий потік мережі одночасно включає дані для всіх ONU, але кожен вузол виділяє лише інформацію для свого терміналу. У зворотному напрямку кожне ONU відправляє свої дані в визначений час, а після їх об'єднання загальний потік містить сигнали від усіх користувачів.

Мережа доступу повинна базуватись на технології пасивних оптичних мереж (PON). Ця технологія забезпечує безперебійне та одночасне передавання різних типів трафіку через оптоволоконні лінії, включаючи телефонний зв'язок, Інтернет, цифрове телебачення, багатоканальне радіочастотне аналогове телебачення та потоки даних для службових потреб. Трафік за технологією 10G PON повинен розподілятись по одно-волоконних лініях PON з підтримкою багатократного ділення потоку (до 64) від концентратора до терміналів через пасивні оптичні розгалужувачі. Двосторонній обмін потоками, а також передача окремого сигналу для аналогового радіочастотного телебачення повинні здійснюватися за технологією WDM, розділяючи хвилі на довжинах 1310 нм, 1490 нм і 1550 нм. Протокол 10G PON забезпечує універсальну інкапсуляцію різних типів трафіку, включаючи телефонний зв'язок, Інтернет-дані та цифрове телебачення.

Основні компоненти системи 10G PON включають:

- Концентратор 10G PON, який є вузловим елементом для обміну трафіком між периферією мережі та магістральними інтерфейсами

операторів зв'язку та Інтернет-провайдерів. Він монтується на вузлі

зв'язку.

- Ієрархічна пасивна оптоволоконна мережа з одномодовим волокном та розгалужувачами, що здійснює функцію розподілу трафіку.
- Абонентські термінали, які обмінюються трафіком між мережею PON та обладнанням користувачів. Вони встановлюються у приміщеннях користувачів, а їх кількість може варіювати від 100 до 2000 одиниць.

Мережа доступу повинна містити елементи для підвищення надійності, такі як автоматичне резервування частин концентратора. Магістральні ділянки мережі повинні мати не менше 20% резерву волокон, а джерело безперервного живлення повинно забезпечувати автономність на 2 години, щоб гарантовано підтримувати роботу мережі [21].

Мережа доступу, як єдина транспортна система для передачі даних, повинна мати централізоване управління всіма активними компонентами. Основний режим роботи мережі передбачає її безперервну експлуатацію протягом 24 годин на добу без необхідності залучення чергового персоналу. Мережа повинна бути здатна до масштабування потужностей та модернізації програмного забезпечення. Крім того, мережа має забезпечувати високу надійність і доступність сервісних потоків, досягаючи рівня більше 99,98% від загального часу роботи. Тривалість експлуатації

системи має становити не менше 10 років.

Мультисервісна мережа доступу повинна виконувати низку функцій, серед яких:

- Одночасна передача сигналів кабельного телебачення (цифрове IPTV і радіочастотний аналоговий сигнал у діапазоні 40-870 МГц), телефонного та комп'ютерного зв'язку через пакетну інформаційну мережу.
- Передача даних через Ethernet (VLAN, L2).
- Управління конфігурацією магістральних мереж (WAN).
- Управління конфігурацією віртуальних локальних мереж (VLAN).
- Управління конфігурацією комутаторів другого рівня на абонентських терміналах.

- Управління смугою пропускання користувача, пріоритетами і якістю сервісу.
- Моніторинг стану компонентів мережі.
- Моніторинг стану та статистичних показників трафіку користувачів.
- Моніторинг стану та статистики агрегатного трафіку.

Планове обслуговування мережі включає регулярне тестування, перевірку стану кабельних мереж, а також огляд індикації обладнання. Усі повідомлення з елементів системи, включаючи аварійні, повинні відображатися на робочому місці управління системою [22].

2.3 Вибір обладнання станційної ділянки

У мережах FTTH можуть застосовуватись різноманітні архітектури, але серед них пасивна оптична мережа є найбільш економічно вигідною конфігурацією. Проте, незважаючи на її вартісні переваги, така технологія має певні технічні обмеження, які потрібно враховувати при розширенні зони покриття і поліпшенні якості наданих послуг зв'язку.

При побудові мереж PON важливо враховувати два основні принципи:

- Активні елементи мережі (підсилювачі, оптичні прийомопередавачі, медіаконвертери тощо) встановлюються лише в кінцевих точках (у головному офісі та на абонентських вузлах);
- Ефективність мережі забезпечується за рахунок розподілу потужності, коли один оптичний сигнал ділиться на кілька частин для обслуговування багатьох абонентів.

Вибір маршрутів для прокладання кабелів залежить від місцевих умов: наявності кабельних каналізацій, дозволу на прокладку кабелів у цих каналах, наявності опор (електричних стовпів, контактної мережі тощо) та інших чинників.

У межах теми моєї дипломної роботи мережа XG PON буде прокладена в хуторі Горохівське Київської області. Оскільки в хуторі відсутні кабельні каналізації, траси кабелів будуть проходити по електричних стовпах.

2.3.1 Оптичні розгалужувачі

Рекомендується розміщувати оптичні розгалужувачі в зручних для їх установки та обслуговування місцях, таких як муфти, розподільчі шафи, бокси та блоки оптичного кросу.

Найпростішими для монтажу є безкорпусні розгалужувачі. Їх компактні розміри дозволяють вбудовувати їх у спеціальні посадочні місця захисних гільз сплайс-касет. Однією з переваг безкорпусних розгалужувачів є знижені втрати в зварних з'єднаннях порівняно з роз'ємними варіантами, що забезпечує їх більшу надійність. У той же час корпусні розгалужувачі зручніші для виконання подальших експлуатаційних вимірювань. Їх доцільно встановлювати ближче до абонентських вузлів, що дозволяє заощадити оптичні волокна, проте місце їх встановлення повинно визначатися згідно

з реальним проектом. Враховуючи конкретні умови, у нашому випадку будуть використовуватись корпусні розгалужувачі з зварними з'єднаннями, оскільки вони мають нижчі втрати і вищу надійність в експлуатації [23].

Зазвичай абоненти знаходяться на різних відстанях від головної станції, тому потужність на вході кожного ONU в розгалужувачі буде різною при рівномірному розподілі потужності. Підбір параметрів розгалужувачів необхідний для забезпечення на вході кожного абонентського термінала однакового рівня оптичної потужності, що є важливим для побудови збалансованої мережі. Це необхідно з двох причин: по-перше, для розвитку мережі важливо мати рівномірний запас по згасанню в кожній гілці «дерева» PON; по-друге, при збалансованій мережі на станційний термінал OLT сигнали від різних ONU не будуть мати значних відмінностей у рівні потоку, що дозволяє зменшити кількість помилок при прийомі зворотного потоку. Система детектування не здатна ефективно працювати з перепадами більше 10-15 дБ, що може значно збільшити кількість помилок при прийомі сигналів.

Якщо необхідно визначити внесені втрати розгалужувачів які мають велику кількість вихідних портів можна скористатися оціночною формулою:

$$A_i = 10lg\left(\frac{100\%}{D\%}\right) + log_2(N-1)\cdot 0,4 + 0,2 + 1,5\cdot lg\left(\frac{100\%}{D\%}\right),\ дБ$$

де D% - відсоток потужності, виведеної в даний порт, %;

N - кількість вихідних портів;

i - номер вихідного порту.

2.3.2 Термінал оптичної лінії

OLT (термінал оптичної лінії) — це апаратне обладнання, яке знаходиться на кінцевій точці в мережі PON і є частиною станційного обладнання. Цей пристрій здатен передавати дані на частотах 1490 і 1310 нм, обслуговуючи до 2048 абонентів на відстані до 20 км з використанням оптичних спліттерів. OLT виконує дві основні функції:

1. Перетворення стандартних сигналів, які використовуються провайдером, у формат частоти та кадрування, що підтримуються системою PON.
2. Координація мультиплексування між пристроями, що перетворюють сигнали на оптичних мережевих терміналах (OLT), розташованих у приміщеннях користувачів.

Основною функцією OLT є управління інформаційними потоками через оптичну розподільну мережу (ODN), що здійснюється в обох напрямках через центральний вузол. Максимальна відстань для передачі даних в ODN становить 20 км.

OLT підтримує два напрямки потоків:

1. Upstream — отримання даних і голосового трафіку від користувачів.

2. Downstream — отримання даних, голосу та відео трафіку з метрополітенських або віддалених мереж і передача їх до всіх ONU терміналів через ODN.

При виборі OLT слід звертати увагу на:

- Кількість та тип PON портів: зазвичай OLT оснащено від 1 до 16 PON портами (EPON або GPON), але є також модульні варіанти, де можна додавати порти за допомогою спеціальних карт.
- Uplink порти: окрім зворотного потоку від ONU, OLT має висхідний зв'язок з локальною мережею оператора, який може бути виконаний через порти RJ45 або SFP/SFP+.
- У деяких моделях OLT ці порти можуть бути комбінованими, підтримуючи обидва стандарти. Також важливими є функції гарячої заміни та резервування, які забезпечують безперервну роботу системи. Деякі OLT моделі мають 1+1 резервне джерело живлення для забезпечення безперервного живлення та автоматичного резервування.

Оптичний підсилювач (ОП) — це пристрій у волоконно-оптичних системах передачі, призначений для посилення оптичного сигналу без його перетворення в електричний. У практиці також використовують термін «оптичний волоконний підсилювач» (ОВП), що означає підсилювачі, виготовлені як відрізок оптичного волокна з осердям, легованим іонами рідкоземельних елементів, що утворюють активне середовище, а також з оптичною системою накачування [24].

При використанні оптичних підсилювачів важливо правильно визначити кількість каскадів, необхідних для кожного оптичного каналу. Кількість каскадів обмежується рівнем шуму, який додає кожен підсилювач. Оскільки кожен підсилювач трохи знижує відношення сигнал/шум (OSNR), то при досягненні мінімального значення OSNR на приймальній стороні починають з'являтись помилки. У таких випадках необхідно використовувати оптико-електрично-оптичний регенераційний вузол (OEO).

У системах з мультиплексуванням за довжиною хвилі (WDM) оптичні підсилювачі підсилюють всі канали, що передаються мультиплексором, без їх

перетворення в електричні сигнали. Вони підсилюють сигнал, що проходить через них, використовуючи різні активні оптичні середовища та нелінійні ефекти.

Для даної мережі було обрано оптичний термінал OLT SmartFiber E9004-D (рис.2.5), який відповідає стандарту IEEE802.3-2005. Цей пристрій надає користувачам доступ до комплексних послуг, таких як широкосмуговий доступ PON, голосовий зв'язок, IPTV та кабельне телебачення, і підтримує до 4 портів.



Рис.2.5 Оптичний термінал OLT, SmartFiber E9004-D

2.3.3 WDM мультиплексор

WDM (мультиплексування з поділом по довжині хвилі) — це метод розподілу спектрального ресурсу оптичного волокна серед різних довжин хвиль світла, що дозволяє одночасно передавати кілька інформаційних каналів через одне волокно на різних частотах. Використовуючи WDM, можна реалізувати двосторонню багатоканальну передачу трафіку через одне оптичне волокно.

Для створення власної мережі я вибрав мультиплексор DWDM 1x8 Mux/Demux LC RM19 (рис.2.6).



Рис.2.6 Мультиплексор DWDM 1x8 Mux/Demux LC RM19

Обраний мультиплексор має ряд переваг які задовольняють вимоги мережі.

Таблиця 2.1

Технічні характеристики мультиплексору DWDM 1x8 Mux/Demux LC RM19

Довжина хвилі каналу (нм)	Мережа ITU 100 ГГц
Рознесення каналу (ГГц)	100 (0,8 нм)
Полоса пропуску каналу (дБ)	0,25
Внесені втрати (дБ)	≤ 3,7
Дисперсія моди поляризації (пс)	< 0,1

2.3.4 Оптичний мережевий кінцевий блок (ONU)

ONU (Optical Network Unit) або оптичний термінал — це активний пристрій, який використовується в мережах PON на стороні абонента. На відміну від звичайних роутерів, для підключення такого пристрою до PON-мережі використовується лише один оптичний порт, що підтримує швидкість до 1 Гбіт. Кінцевий користувач підключається через стандартний роз'єм RJ-45 за допомогою кабелю з мідною жилою. Залежно від моделі ONU, він може мати один порт 1 Гбіт або кілька портів 100 Мбіт.

В залежності від конструкції абонентські термінали ONU можуть працювати в режимі роутера, дозволяючи підключати кілька пристроїв одночасно (наприклад, комп'ютери, роутери, телевізори). Такі моделі мають кілька портів

для підключення. Проте найчастіше використовуються варіанти з одним портом для підключення домашнього роутера. Деякі моделі можуть також включати вбудований Wi-Fi модуль або мати кілька мідних портів для підключення кількох кінцевих користувачів [25].

Незважаючи на це, термінал завжди підключається до мережі через єдине оптичне волокно, що дозволяє підключати цілі поверхи багатоквартирних будинків за допомогою одного кабелю. Всередині термінала оптичний сигнал конвертується в електричний для мідних портів і навпаки. Управління ONU здійснюється оператором мережі, без участі абонента. Для підключення достатньо просто підключити оптичний модем до мережі, а роутер або комп'ютер — до термінала.

Для дипломної роботи був використаний абонентський термінал ONU GP-125 (рис.2.7).



Рис.2.7 ONU GP-125

Абонентський термінал ONU GP-125 є одним із ключових елементів оптичних мереж PON (Passive Optical Network), забезпечуючи високошвидкісне підключення для кінцевих користувачів. Цей термінал підтримує технологію XG-PON і здатний працювати на відстані до 20 км від оптичного терміналу OLT. ONU GP-125 надає можливість підключення різних пристроїв, таких як комп'ютери, телевізори та телефони, через порти Ethernet, а також забезпечує стабільний і швидкий інтернет-зв'язок, що робить його ідеальним для використання в сільських і віддалених районах, де доступ до високошвидкісного інтернету обмежений.

Термінал ONU GP-125 має компактні розміри та високу надійність, що забезпечує безперервну роботу мережі при різних зовнішніх умовах. Він підтримує

функції якості обслуговування (QoS), що дозволяє ефективно управляти трафіком і пріоритетами для різних типів послуг, таких як голосовий зв'язок або відео.

Таблиця 2.2

Характеристики абонентського терміналу ONU GP-125

Характеристики	
PON Інтерфейс	▪ Оптичний інтерфейс відповідає стандарту класу C ▪ Висхідний потік 2.5 Гбіт/с; ▪ Спадний потік його 10 Гбіт/с SC одномодовое волокно ▪ Співвідношення поділу: 1: 64 ▪ Відстань передачі 20 км
Потужність інтерфейсу	12 V DC джерело живлення

Продовження таблиці 2.2

PON Оптичні параметри	▪ Довжина хвилі: Tx 1310nm, Rx1490nm Tx ▪ оптична потужність: 0,5 ~ + 5dBm ▪ Чутливість Rx:-27dBm ▪ Оптична потужність:-8dBm

	▪ Тип роз'єму: SC Оптичне волокно: 9/125 single M одномодовое волокно
Параметри передачі даних	▪ Пропускна здатність: стек гілок 2300 Мбіт/с; вгору 1110 Мбіт/с, ▪ Коефіцієнт втрати пакету: 1*10E-12 ▪ Затримка: 1,5 мс

2.3.5 Оптичний розгалужувач 1x4

Оптичні спліттери 1x4 PLC використовуються для розподілу або об'єднання оптичних сигналів, а також для відведення частини оптичного випромінювання з основного каналу передачі даних. Вони широко застосовуються в локальних оптичних мережах, мережах кабельного телебачення (CATV) та у системах контролю і вимірювання.

PLC-розгалужувачі вирізняються високими технічними характеристиками, пропонуючи більш стабільні та точні параметри в порівнянні з іншими типами, такими як сплавні. Вони також забезпечують високу надійність під час експлуатації.

Для роботи використовується PLC Splitter 1x4, SC/UPC (рис.2.8).

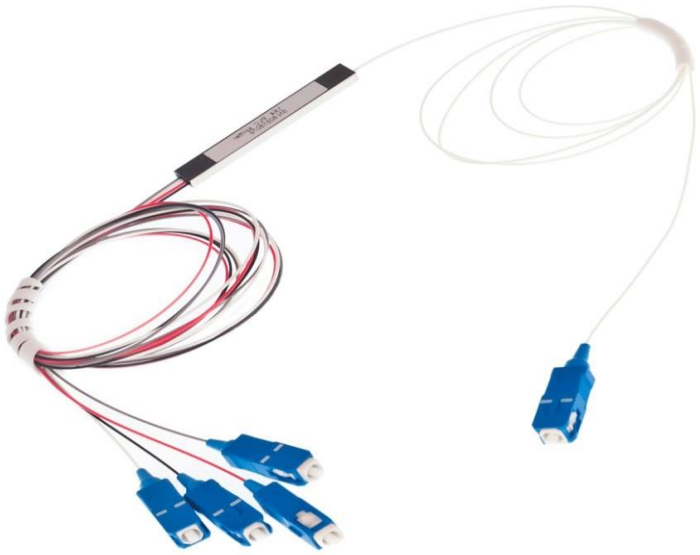


Рис.2.8. Розгалужувач PLC Splitter 1x4, SC/UPC

Таблиця 2.3.

Розгалужувач PLC Splitter 1x4, SC/UPC

Розміри	600 мм
Довжина хвилі	1260-1650 нм
Загасання	7.0 dBm (min), 7.4 dBm (max)
Температура роботи	-40 ~ +85°C
Коефіцієнт міжполяризаційних втрат (PDL)	0.3 dB
Температурний коефіцієнт втрат (TDL)	0.5 dB
Направленість	≥ 55 dB
Зворотні втрати	≥ 50 dB
Конектор	SC

2.4 Лінійна ділянка

Лінійна ділянка, для побудови якої необхідно встановити велику кількість пасивного обладнання, потребує ретельного підходу для її оптимальної організації. Рекомендується використовувати технології та методи, які дозволяють зменшити витрати на трудові ресурси та час будівництва, а також знизити вартість монтажного обладнання. Лінійна ділянка визначає загальну топологію PON. У таких мережах сигнал передається від оптичної розподільчої шафи до кінцевих пристроїв абонентів (ONT, ONU) через пасивні оптичні розгалужувачі (спліттери), що встановлюються у спеціальних спліттерних коробках або оптичних муфтах [26].

У PON можуть використовуватися як однорівневі (однокаскадні) схеми з безпосереднім підключенням спліттерів, так і багатокаскадні схеми з послідовним розташуванням спліттерів. Кількість рівнів каскадування залежить від загального загасання сигналу через спліттери, коефіцієнта розгалуження PON інтерфейсів OLT і вимог до пропускної здатності для кожного абонента. Чим менше рівнів каскадування, тим простіше конструкція мережі, що дозволяє швидше усувати несправності та підвищує якість зв'язку, мінімізуючи перехідні спотворення.

Використання багатокаскадної схеми надає більшу гнучкість у розміщенні розподільчих пристроїв та оптичного кабелю, що дозволяє оптимізувати побудову пасивної оптичної мережі.

Лінійна ділянка складається з двох основних частин:

- Магістральна ділянка — волоконно-оптичний кабель, прокладений у кабельних каналах або в ґрунті від ODF на станції до розподільчої шафи, що обслуговує групу абонентів (многоповерхові будинки, приватний сектор).
- Розподільча ділянка — волоконно-оптичний кабель, прокладений від розподільчої шафи до оптичної розетки користувача, здебільшого в межах будівель по вертикальних стояках.

2.4.1 Опис магістральної ділянки лінії PON

Магістральна ділянка PON є важливою складовою пасивної оптичної мережі. Вірний вибір стратегії побудови мережі та її топології, а також визначення умов і принципів організації доступу дозволяють значно знизити витрати на подальший розвиток мережі. На ділянці між станційною ділянкою та оптичною розподільчою шафою, що знаходиться в зоні її обслуговування, здійснюється магістральний розподіл оптичного волокна. Основним завданням магістральної ділянки є підведення необхідної кількості оптичного волокна максимально близько до сконцентрованої групи абонентів, з урахуванням топології та місткості кабельної каналізації. Завершується ця ділянка оптоволоконною розподільчою шафою, спліттерною оптичною коробкою або спеціальною механічною оптичною муфтою, що забезпечує зручний доступ до оптичних волокон [27].

Для мінімізації оптичного бюджету магістральної ділянки та скорочення вартості будівельно-монтажних робіт рекомендується використовувати модульні волоконно-оптичні кабелі з однією будівельною довжиною до 2 км, що прокладаються в кабельних каналах або ґрунті.

В залежності від типу забудови підключених приміщень (одноповерхові приватні будинки або багатоповерхівки), особливостей міської забудови (житлові квартали, історичні райони, офіси, промислові зони), а також можливостей прокладання волоконно-оптичного кабелю та розміщення обладнання в будівлях, можна виділити два типи магістральних ділянок:

- магістральна ділянка, де використовується оптична розподільча шафа зі спліттерами для підключення одного або кількох будинків (для багатоповерхової забудови);
- магістральна ділянка, де застосовується оптична розподільча шафа зі спліттерами для підключення групи будинків (для малоповерхової забудови або приватного сектору).

Для прокладання волоконно-оптичної кабельної системи від станційної ділянки до групи ОРШ слід використовувати волоконно-оптичний кабель відповідної ємності з багатомодульною конструкцією. У разі відгалужень від

основної магістральної лінії, рекомендується застосовувати волоконно-оптичний кабель багатомодульної структури, який містить чотири оптичні волокна в кожному модулі.

2.4.2 Опис розподільчої ділянки лінії PON

Розподільча ділянка PON охоплює відрізок від ОРШ або оптичних коробок-спліттерів до розподільних елементів мережі на поверхах багатоповерхових житлових будинків. Волоконно-оптичний кабель розподільчої ділянки виходить з ОРШ і прокладається всередині будівель, проходячи через підвальні приміщення та технічні підпілля, по вертикальних стояках або в металевих трубах (ПВХ трубах) через сходові клітки на всі поверхи. Напрямок прокладки кабелю визначається на місці.

2.4.3 Опис абонентської ділянки лінії PON

Абонентська ділянка або абонентська розводка є частиною мережі, що охоплює відрізок від оптично-волоконної розподільчої коробки до приміщення абонента, включаючи оптичні розетки для підключення абонентів. До цієї ділянки також належить активне обладнання на стороні абонента (ONT, ONU), яке є важливою частиною технології PON і знаходиться під контролем оператора.

Для абонентської ділянки рекомендується використовувати волоконно-оптичний кабель, армований кевларовою ниткою. Для підключення оптичної розподільчої абонентської розетки (ОРА) до оптичної розподільчої коробки (ОРК) доцільно використовувати патч-корд, пігтейл або витягнуте оптоволокно з модуля багатомодульного кабелю розподільчої ділянки.

У випадку з приватними будинками прокладку спеціальних абонентських кабелів (діаметром ≈ 5 мм) рекомендується здійснювати в захисних поліетиленових трубах, що прокладаються від оптично-волоконної розподільчої шафи або

спеціальної механічної муфти до будинку, а далі по кабельному каналу на стіні до оптичної розетки абонента [28].

Індивідуальний абонентський термінал ONT або груповий мережевий вузол ONU оснащені вхідним оптичним інтерфейсом PON. Ці пристрої можуть мати різноманітні вихідні інтерфейси, такі як FXS, FXO, 10/100/1000Base-T, El, RF, у різних комбінаціях і кількості для підключення кінцевих пристроїв.

2.5 Вибір типу волоконно-оптичного кабелю

На сьогоднішній день оптичні кабелі (ОК) широко використовуються в різноманітних мережах зв'язку, таких як міжнародні, міжміські, міські, сільські, абонентські та локальні мережі. Важливо розуміти, що оптичний кабель є основним середовищем для передачі інформації між активними пристроями, тому його характеристики, такі як параметри передачі, надійність і вартість, повинні відповідати специфіці мережі та типу використовуваного обладнання.

Наприклад, для транспортних мереж (міжстанційних), які обробляють великі обсяги даних між вузлами зв'язку, критично важлива висока пропускна здатність та надійність кабельних систем. Водночас для мереж доступу, що забезпечують зв'язок із кінцевими користувачами (кабельне ТБ, оптичний Ethernet, пасивні оптичні мережі (PON) тощо), основними вимогами є економічність, гнучкість, компактність, захист від випадкових пошкоджень і простота монтажу.

Інтернет-провайдери зазвичай орендують міжстанційні мережі у таких компаній, як Укртелеком, щоб знизити витрати на будівництво власних транспортних мереж. У зв'язку з цим, далі розглядатимуться оптичні кабелі для мереж доступу.

Вибір конструкції оптичного кабелю в основному залежить від типу мережі, в якій він буде використовуватися, а також від умов його прокладання, таких як кабельні канали, підвіски на опорах або внутрішні приміщення.

Магістральні ділянки з'єднують основний вузол зв'язку (головну станцію) з першою точкою розподілу і є найбільш протяжними та важливими, адже їх

пошкодження може спричинити відключення всієї мережі. Тому при їх прокладанні та виборі кабелів необхідно забезпечити максимальну надійність. Важливо не економити на вартості оптичних кабелів (ОК), витратах на монтаж та прокладку, оскільки довжина магістральних ліній зазвичай менша, ніж загальна довжина розподільчих і абонентських ділянок. У конструкції магістральних кабелів обов'язково має бути передбачений запас волокон для подальшого розширення мережі [29,30].

Абонентські ділянки, що підключають кінцеві пристрої користувачів, мають найкоротшу довжину, але більшу кількість сегментів. Однак це не означає, що потрібно шукати найменш дорогі варіанти. По-перше, абонентські кабелі зазвичай прокладаються всередині будівель, де вони можуть бути пошкоджені гризунами або навіть самими користувачами. Тому кабелі повинні мати захисні елементи для захисту волокон. По-друге, абонентські кабелі, які прокладаються в приміщеннях, повинні мати оболонку, що не поширює горіння, оскільки вони часто проходять через кілька кімнат. Запас волокон на цих ділянках зазвичай не передбачений.

Кількість волокон у кабелі визначається кількістю приймально-передавальних вузлів активного обладнання (як на станціях, так і у абонентів), а також типом мережі. Наприклад, для передачі сигналу можуть використовуватись два волокна для двостороннього зв'язку або одне для однонаправленої передачі, як у випадку з PON. Для мовних мереж (broadcast) зазвичай використовується лише одне волокно для однонаправленого сигналу.

Необхідно враховувати наявність запасу волокон у кабелі для подальшого розширення мережі. Розмір цього запасу залежить від типу ділянки мережі. Наприклад, на магістральних ділянках для мереж доступу (PON, оптичний Ethernet, КТВ) запас може становити від 20% до 50% в залежності від потреби в волокнах, на розподільчих ділянках — від 10% до 20%. Для абонентських ділянок, де довжина кабелю невелика, запас зазвичай не передбачений, оскільки додавання нового кабелю з малим числом волокон не є складним. Розмір запасу також залежить від топології мережі, такої як «зірка», «дерево», «шина» тощо.

Отже, кількість волокон у кабелі для кожної ділянки повинна визначатися в рамках конкретного проекту мережі.

Для підвіски кабелів на опорах, таких як повітряні лінії зв'язку чи контактні мережі транспорту, зручно використовувати кабелі з вбудованим несучим тросом (типу «8»). Це дозволяє тросу, виготовленому з сталевого дроту або скрученої сталевої арматури, витримувати всі механічні навантаження (розтягування, стиснення тощо) і забезпечує легке кріплення кабелю за допомогою спеціалізованих зажимів [31].

Підвісний волоконно-оптичний кабель ОКЛ8 від фірми «Одескабель» повністю відповідає цим вимогам. Характеристики кабелю будуть надані в таблиці нижче.

Таблиця 2.4

Характеристики Підвісний волоконно-оптичний кабель ОКЛ8

Максимальний індивідуальний коефіцієнт загасання, дБ/км: - 1310nm/1550 nm	0,36/0,22
Коефіцієнт хроматичної дисперсії, пс/(нм*км): - 1310 nm/1550 nm	3,5/18
Мінімальний радіус вигину, мм	не менше 20 номінальних діаметрів кабелю

Продовження таблиці 2.4

Допустиме роздавлююче зусилля, Н/100 мм	3000
Допустиме розтягуюче зусилля, кН	4,0 и 6,0
Діапазон температур експлуатації та монтажу	-40 °С - +60 °С

Усередині будівель, зокрема в вертикальних та горизонтальних каналах, можна прокладати кабелі типів МТ та МВ, що мають волокна, захищені щільним буферним покриттям. Арамідні волокна в складі покриття підвищують стійкість кабелю до розтягування та механічних пошкоджень, а зовнішня оболонка виготовлена з пластика, що не підтримує горіння.

Відповідно до цих вимог, підходить кабель абонентського доступу ОКТ-Д виробництва компанії «Одескабель». Детальні характеристики кабелю будуть представлені в таблиці нижче.

Таблиця 2.5

Характеристики Кабель абонентського доступу ОКТ-Д фірми Одескабель

Максимальний індивідуальний коефіцієнт загасання, дБ/км: - 1310nm/1550 nm	0,36/0,22
Коефіцієнт хроматичної дисперсії, пс/(нм*км): - 1310 nm/1550 nm	3,5/18
Тип ОВ	ITU-T G.652 D

Продовження таблиці 2.4

Мінімальний радіус вигину, мм	не менше 20 номінальних діаметрів кабелю
Допустиме роздавлююче зусилля, Н/100 мм	3000
Допустиме розтягуюче зусилля, кН	0,5; 1,0;1,5; 2,7
Діапазон температур експлуатації та монтажу	-40 °С - +60 °С

Абонентські кабелі FTTH, як одно-, так і двоволоконні, можуть бути прокладені як всередині приміщень та квартир, так і підвішуватись на опорах у конструкції типу «8» із самонесучим тросом. Вони є ідеальним варіантом для котеджних містечок та приватного сектору.

2.5.1 Стратегія розміщення та типи оптичних розгалужувачів

Волоконно-оптичний розгалужувач, або оптичний спліттер, є важливим компонентом пасивних оптичних мереж (EPON, GPON, BPON, FTTX, FTTH тощо). Це пристрій, який розподіляє сигнал, дозволяючи одному інтерфейсу PON обслуговувати кілька абонентів. Його основна функція полягає в розподілі світлового потоку на кілька променів і з'єднанні їх для подальшого розподілу в мережі. Це дає можливість оптимізувати пропускну здатність та ефективність оптичних мереж.

Оптичний розгалужувач зазвичай має кілька вхідних і вихідних портів для розподілу світлових сигналів, що дозволяє збільшити ефективність мережі. Існують різні типи оптичних розгалужувачів:

1. Тип упаковки – Оптичні розгалужувачі можуть бути виготовлені в різних конструкціях, таких як коробка або нержавіюча трубка. Зазвичай

використовуються кабелі з діаметром 2 мм або 3 мм для стандартних застосувань, а також 0,9 мм для специфічних установок.

2. Передавальні середовища – Існують одномодові та багатомодові оптичні розгалужувачі. Багатомодові оптимізовані для роботи на довжинах хвиль 850nm та 1310nm, а одномодові – на 1310nm та 1550nm.

3. Технологія виготовлення – Є два основних типи розгалужувачів: традиційні FBT (Fusion Bonded Tapered) спліттери, які є економічними, і сучасні PLC (Planar Lightwave Circuit) розгалужувачі, які мають компактні розміри і підходять для застосувань з високою щільністю підключень. Кожен тип має свої переваги залежно від умов використання [32].

В мережах PON, які набувають все більшої популярності, оптичні розгалужувачі (ОР) відіграють важливу роль. Вони дозволяють реалізувати не лише традиційну деревоподібну архітектуру, властиву для таких мереж, але й інші топології, такі як «зірка», «точка-точка», «шина», а також їх варіації та комбінації.

Завдяки розгалужувачам з різними коефіцієнтами розподілу вихідних портів, можна оптимізувати оптичний бюджет потужностей у різних гілках мережі. Це особливо важливо при створенні «збалансованих мереж», що мають рівномірний енергетичний запас і високу надійність. В деяких випадках в PON мережах використовують оптичні розгалужувачі з непідключеними вихідними портами, так званими «точками зростання», що дає можливість підключати додаткових користувачів. Це забезпечує гнучкість, масштабованість та економічну ефективність, адже капітальні витрати на розширення можна розподіляти з часом.

Важливим аспектом при проектуванні оптичних мереж є врахування варіативності параметрів розгалужувачів. Наприклад, можуть бути відмінності в загасанні на вихідних портах симетричних розгалужувачів або в відхиленнях від номінальних втрат у несиметричних ОР.

Популярність і ефективність використання оптичних розгалужувачів обумовлені їх низькою вартістю, високою надійністю, хорошою стійкістю до температурних змін, компактними розмірами та простотою інсталяції, що дозволяє легко інтегрувати їх в різні розподільчі мережі чи монтувати на будь-якій поверхні.

Подальший розвиток оптичних мереж та вдосконалення виробничих технологій ОР сприятимуть їх ще більшій ролі в телекомунікаційній сфері [33].

2.6 Енергетична ефективність та екологічні аспекти мережі XG-PON

З розвитком інформаційно-комунікаційних технологій, питання енергетичної ефективності стають важливими не лише з економічної, але й з екологічної точки зору. Мережі на основі технології XG-PON (10 Gigabit Passive Optical Network) є одними з впливу на навколишнє середовище.

2.6.1 Енергетична ефективність мереж XG-PON

Технологія XG-PON використовує оптоволоконні лінії для передачі даних, що значно знижує потребу в енергії порівняно з традиційними електричними технологіями, такими як DSL або кабельні мережі. Це пояснюється тим, що оптоволокно має набагато менші втрати сигналу на великі відстані, що дозволяє передавати дані на значні відстані без необхідності використання потужних підсилювачів. Відповідно, це знижує енергоспоживання на всіх етапах функціонування мережі — від генерації сигналу до його прийому.

Важливим аспектом є також те, що технологія XG-PON підтримує знижене енергоспоживання завдяки застосуванню режимів «сплячого» стану для терміналів і мережевих елементів. У випадку, коли не відбувається активної передачі даних, обладнання може переходити в енергозберігаючий режим, що дозволяє знизити споживання енергії в неактивний час. Це особливо важливо для абонентських точок доступу (ONT, ONU), де зниження енергоспоживання без втрати якості послуг може знизити експлуатаційні витрати [34].

Одним з додаткових аспектів енергетичної ефективності є використання пасивних оптичних розгалужувачів (спліттерів), які не потребують електроживлення для роботи. Це дозволяє знижувати потребу в енергії в порівнянні

з активними компонентами, що зазвичай використовуються в традиційних технологіях доступу.

2.6.2 Порівняння з іншими технологіями

У порівнянні з іншими технологіями доступу, такими як ADSL, VDSL чи навіть G.fast, XG-PON пропонує значно вищу енергетичну ефективність. Це особливо важливо в умовах сучасних тенденцій до зниження енергетичних витрат та сталого розвитку. Наприклад, при використанні технології ADSL для досягнення високошвидкісного інтернету на великих відстанях, необхідно використовувати активні пристрої (міжстанційні репітери), які значно підвищують енергоспоживання. У випадку з XG-PON використання таких пристроїв не потрібно, оскільки оптоволокно здатне передавати сигнал на великі відстані з мінімальними втратами.

Завдяки високій швидкості передачі даних на великих відстанях без втрат, мережі XG-PON потребують менше підсилювачів і можуть функціонувати при меншому рівні енергоспоживання. Це дозволяє значно знижувати витрати на обслуговування і зменшувати викиди вуглецю, пов'язані з виробництвом електроенергії.

2.6.3 Вплив на навколишнє середовище

Одним із важливих екологічних аспектів технології XG-PON є значне зниження впливу на навколишнє середовище порівняно з традиційними електричними мережами. Використання оптоволоконних ліній дозволяє знизити споживання енергії і, відповідно, зменшити кількість викидів CO2. Враховуючи, що енергетична галузь є однією з найбільших джерел викидів парникових газів, зниження енергоспоживання в телекомунікаційних мережах може стати важливим кроком у напрямку боротьби з глобальними змінами клімату.

Крім того, технологія XG-PON сприяє зниженню електронних відходів. Замість того, щоб використовувати великі обсяги старого обладнання з коротким терміном

служби, мережі XG-PON потребують менше активних компонентів і мають більш тривалий термін служби завдяки використанню надійних оптоволоконних кабелів, які мають високу стійкість до різних впливів навколишнього середовища.

Також, важливим є те, що більшість компонентів мереж XG-PON виготовляються з матеріалів, що підлягають переробці, що сприяє зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище після закінчення терміну служби обладнання.

2.6.4 Підвищення сталості сільських територій

Енергетична ефективність і екологічність технології XG-PON можуть значно вплинути на сталий розвиток сільських територій. У сільській місцевості, де інфраструктура часто є обмеженою і енергетичні ресурси можуть бути дорожчими або менш доступними, оптимізація енергоспоживання є важливим фактором. Технологія XG-PON дозволяє забезпечити стабільний доступ до інтернету навіть в таких умовах, при цьому зменшуючи потребу в електроенергії для функціонування мережі [35].

Оскільки сільські регіони часто стикаються з обмеженими можливостями для розвитку інфраструктури, мережі XG-PON можуть стати важливим чинником, що сприяє розвитку місцевих економік і покращенню якості життя. Висока енергетична ефективність дозволяє забезпечити надійний зв'язок навіть у віддалених районах, що особливо важливо для таких сфер, як освіта, медицина і сільське господарство, де доступ до високошвидкісного Інтернету є важливим інструментом для розвитку і зростання.

2.7 Мережі XG-PON в умовах сільської місцевості: проблеми та перспективи

Мережі на основі технології XG-PON стають все більш популярними в світі завдяки своїй високій швидкості передачі даних, ефективності і здатності забезпечувати широкосмуговий доступ навіть на великих відстанях. Одним з основних переваг цієї технології є можливість використовувати її в умовах сільської місцевості, де потреба в швидкому та стабільному інтернет-з'єднанні є надзвичайно важливою для розвитку інфраструктури, освіти, медицини та бізнесу.

Однак, попри свої технічні переваги, реалізація мереж XG-PON у сільській місцевості стикається з рядом унікальних проблем, що пов'язані з географічними, соціальними та економічними умовами цих регіонів.

2.7.1 Географічні та фізичні обмеження

Однією з головних проблем є великі відстані між населеними пунктами та віддаленість сільських територій від великих міських центрів. Це ускладнює процес прокладання оптоволоконних ліній, адже потребує великих капіталовкладень і значних витрат на транспортування матеріалів і обладнання.

Важливим аспектом є також рельєф місцевості: гори, ліси, заболочені території або труднопрохідні райони можуть значно ускладнити процес будівництва мережі та збільшити витрати на розгортання інфраструктури. У таких випадках часто виникає необхідність у використанні спеціальних технологій для прокладання кабелів, наприклад, підземного прокладання або використання бездротових рішень на віддалених ділянках, що додатково збільшує вартість проекту.

2.7.2 Вартість будівництва та технічного обслуговування

Вартість побудови мережі XG-PON для сільських територій є однією з головних перешкод для широкого впровадження цієї технології. В умовах сільської місцевості,

де кількість абонентів на одиницю площі значно менша, ніж у містах, інвестиції в побудову інфраструктури можуть бути економічно невигідними без державного фінансування або підтримки.

Витрати на обладнання також є значними, оскільки для забезпечення високошвидкісного з’єднання необхідно встановлювати сучасні оптичні термінали, розгалужувачі, мультиплексори та інші компоненти мережі. Крім того, технічне обслуговування таких мереж також потребує висококваліфікованих кадрів та регулярних перевірок, що додає додаткові витрати, особливо в умовах обмеженого доступу до таких фахівців у сільських районах.

2.7.3 Погодні умови та їх вплив на експлуатацію мережі

Сільська місцевість часто характеризується непередбачуваними погодними умовами, які можуть впливати на стабільність та надійність роботи мережі. Сильні вітри, снігопади, заморозки та інші природні фактори можуть призвести до пошкодження оптоволоконних ліній або навіть до їх повного обриву. Це стає проблемою, оскільки для відновлення з'єднання може знадобитися багато часу, що викликає тимчасове порушення зв’язку та призводить до збільшення витрат на ремонти.

Також в умовах сільської місцевості, де часто відсутні належні засоби для підтримки мережі, наприклад, розвинена електрична інфраструктура або наявність регулярних обслуговуючих бригад, важливо мати вбудовані системи моніторингу та автоматичного регулювання, що дозволяють швидко виявляти проблеми та забезпечувати оперативне відновлення роботи мережі.

2.7.4 Соціально-економічні фактори

Сільські райони, як правило, мають менший рівень доходів, ніж міські, що може стати перешкодою для розвитку комерційних мереж. Вартість підключення до інтернету може бути занадто високою для деяких абонентів у сільській

місцевості, що призводить до того, що інвестиції в ці мережі не завжди є економічно доцільними без відповідної підтримки з боку держави чи інших зацікавлених сторін.

У зв'язку з цим важливою складовою розвитку мереж XG-PON є не тільки технічна реалізація, а й стимулювання попиту на послуги високошвидкісного інтернету через доступні тарифи та державні субсидії. Це дозволить забезпечити високошвидкісний доступ для більшої кількості абонентів у сільських районах.

2.7.5 Перспективи розвитку

Незважаючи на проблеми, існує велика перспектива для розвитку технології XG-PON у сільській місцевості. Оскільки технологія дозволяє значно підвищити швидкість інтернету та покращити якість зв’язку, це може стати основним рушієм розвитку місцевих економік. Високошвидкісний інтернет може сприяти розвитку нових галузей, таких як електронна комерція, онлайн-освіта та телемедицина, що значно покращить доступ до послуг та можливостей для жителів села.

Крім того, з розвитком інноваційних технологій, таких як бездротові рішення для підключення віддалених районів, і вдосконаленням системи обслуговування мереж, можна очікувати значне зниження вартості будівництва та підтримки інфраструктури. Програми державної підтримки та інвестицій у розвиток сільської інтернет-інфраструктури також можуть зіграти важливу роль у покращенні ситуації.

У результаті мережі XG-PON можуть стати ключовим фактором у цифровізації сільських територій, що значно покращить рівень життя та дозволить сільським жителям скористатися перевагами цифрового суспільства.

РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ОПТИЧНОГО БЮДЖЕТУ ЛІНІЇ PON

Метою даної дипломної роботи є розробка моделі мережі XG PON та виконання розрахунку оптичного бюджету для цієї мережі.

Розрахунок оптичного бюджету для мереж PON здійснюється на основі розроблених структурних схем інформаційної мережі PON, робочих креслень і з урахуванням технічних характеристик активного обладнання 10G PON Siemens та пасивних оптичних пристроїв.

Для визначення згасання оптичного сигналу на лінії мережі проводяться розрахунки від точки підключення волокна до активного обладнання головної станції до найвіддаленішого абонента. У мережі PON основними джерелами втрат є:

- Згасання в оптичному волокні — залежить від довжини волокна та коефіцієнта згасання на певній довжині хвилі (для PON розрахунок здійснюється на хвилі з найбільшим коефіцієнтом згасання);
- Втрати на зварних з'єднаннях — залежать від втрат на кожному з'єднанні та їх кількості;
- Втрати на роз'ємних з'єднаннях — визначаються втратами в кожному роз'ємі та їх числом;
- Втрати в оптичних розгалужувачах — залежать від типу розгалужувача, кількості вихідних портів та коефіцієнта розгалуження потужності (особливо для розгалужувачів з нерівномірним коефіцієнтом);
- Штрафні втрати — пов'язані з вигинами кабелів під час прокладання.

Загальна сума цих втрат на певній ділянці мережі визначає енергетичний бюджет згасання.

При виконанні розрахунків необхідно також враховувати експлуатаційний запас для можливості виконання додаткових стиків і вставок під час ремонтних

робіт. Рекомендується залишати резерв в оптичному бюджеті лінії в межах 1–3 дБ після повного завершення підключення всього тракту від OLT до ONU.

На рисунку 3.1 показано побудову мережі XG-PON, що з'єднує головну станцію з абонентами на конкретній місцевості.

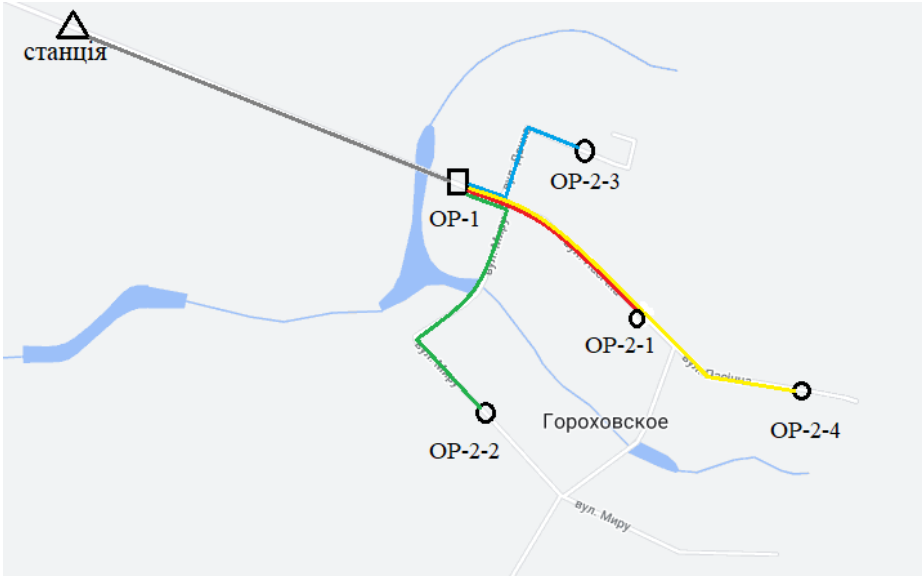


Рис.3.1 Модель побудови мережі XG PON для хутору Горохівське Київської області

Мережа доступу XG PON повинна бути побудована на основі технології пасивних оптичних мереж. Ця технологія забезпечує одночасну та безперешкодну передачу даних, окрему смугу для трансляції багатоканального радіочастотного аналогового телебачення та потоків даних для службових цілей.

Двосторонній обмін потоками в лініях PON має здійснюватися за допомогою WDM-технології, що передбачає використання різних довжин хвиль – 1310 нм, 1490 нм, 1550 нм.

Бюджет втрат для технології XGPON розраховується відповідно до рекомендацій ITU-T G.987.2 і залежить від класу активного обладнання, яке використовується при будівництві мережі. Основні відмінності між класами обладнання полягають у потужності передавачів та чутливості приймачів.

Так, згідно з Рекомендацією G.987.2 повні втрати в мережі PON у залежності від класу не повинні перевищувати:

Таблиця 3.1

Класи оптичних систем мережі XGPON

Параметр	Клас		
	A	B	C
Мінімальні витрати, дБ	5	10	15
Максимальні витрати, дБ	20	25	30

Обладнання для мережі здебільшого належить до класу С, де оптичний бюджет лінії становить 30 дБ. Тому при розрахунках слід орієнтуватися на це значення.

На рисунку 3.2 показано структуру лінії XGPON, що дає змогу визначити бюджет втрат. Втрати в WDM-мультиплексорі та на станційному кросі ODF складатимуть по 1 дБ, також необхідно враховувати мінімальний резерв у 1 дБ. Отже, з загального оптичного бюджету в 30 дБ на всю зовнішню оптичну мережу XGPON залишається 28 дБ.

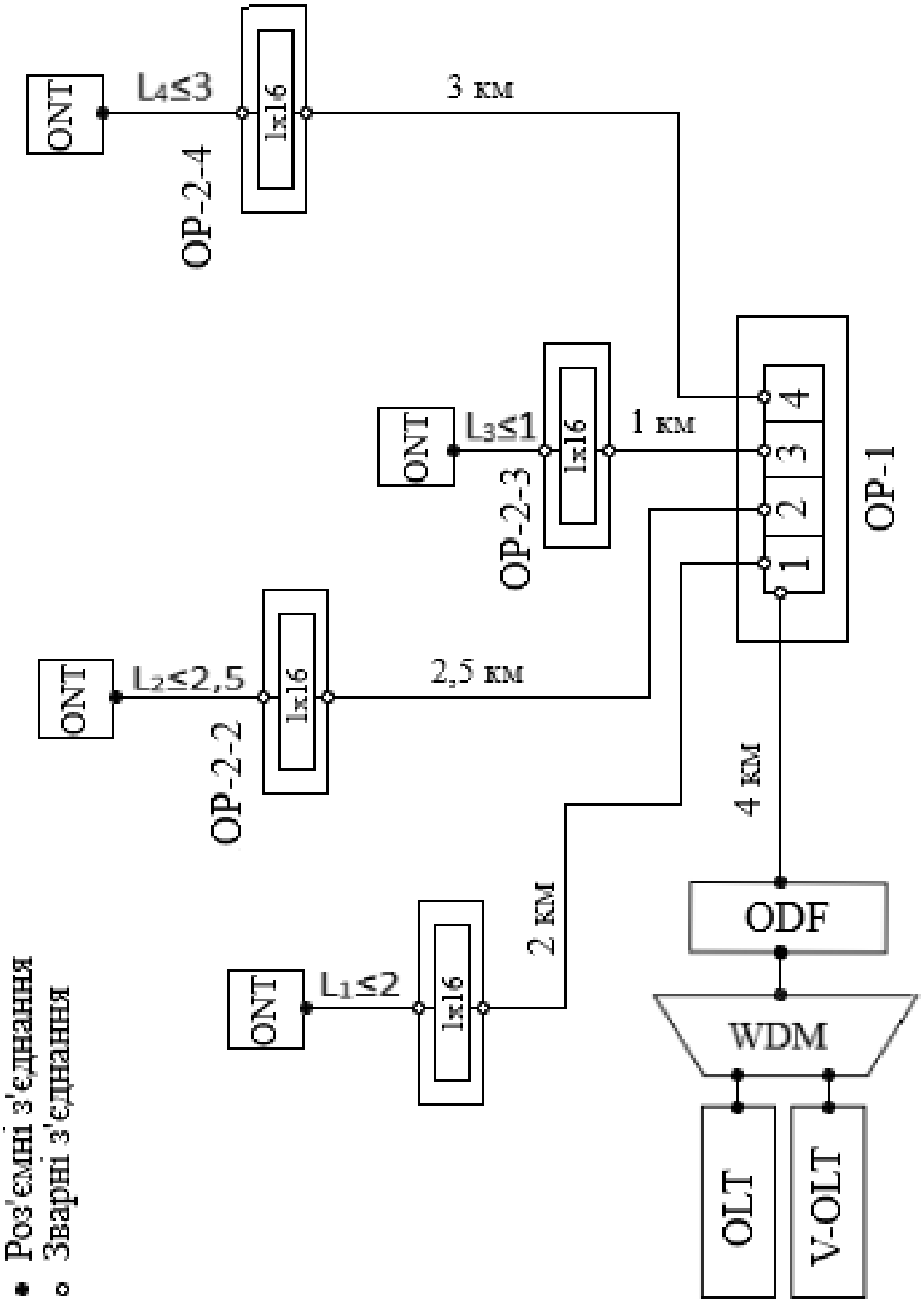


Рис.3.2 Структура лінії XG-PON

У розділі 2 було встановлено, що мережа має топологію типу «дерево» з трьома каскадами ОР. Для цієї мережі планується підключення чотирьох груп абонентів, тому перший каскад ОР має коефіцієнт ділення 1х4. В кожній зоні концентрації абонентів передбачено підключити по 30 ONU, для чого використовуватимуться ОР з коефіцієнтом ділення 1х32. Це дозволить в подальшому розширити мережу і підключити додаткові два ONU в кожній зоні (точки приросту — ТП). Відстань від ОР до ONU в першій зоні складає 2 км, у другій — 2,5 км, у третій — 1 км, а в четвертій — 3 км (зображено на. рис. 3.1).

3.1 Розрахунок згасань для гілок абонентів

Розрахунки доцільно почати з боку абонентів (ONU). Розрахунки виконуються для хвилі довжиною 1310 нм. При використанні кабелю з ОВ за Рекомендацією G.652.D, згасання становить 0,35 дБ/км. Оскільки мережа будується на принципах збалансованості, необхідно проводити розрахунок для кожної гілки «дерева» PON. На ділянках ONU – ОР-2 розрахунок здійснюється за формулою (3.1):

$$A_{\text{х}}=L_{\text{х}}\times\alpha+N_{\text{рз-х}}\times A_{\text{рз}}+N_{\text{зз-х}}\times A_{\text{зз}}, \quad (3.1)$$

де:

- Lx – довжина лінії від ONU-X до ОР другого каскаду;
- α – коефіцієнт згасання на розрахунковій довжині хвилі;
- Nрз-х – кількість роз’ємних з’єднань на ділянці х;
- Арз – згасання одного роз’ємного з’єднання (для конекторів типу SC/APC приймається 0,2 дБ);
- Nзз-х – кількість зварних з’єднань на ділянці х;
- Азз – згасання одного зварного з’єднання (приймається 0,1 дБ).

За допомогою цієї формули розрахуємо згасання для кожної гілки мережі.

Розрахунок згасань для першої гілки абонентів:

У першій гілці довжина від ONU-X до ОР другого каскаду складає 2 км. Коефіцієнт згасання на розрахунковій довжині хвилі — 0,35, що є загальним

значенням для всіх гілок. Кількість роз'ємних з'єднань на ділянці, згідно з Рис.3.2, дорівнює одному. Для конекторів SC/APC згасання одного роз'ємного з'єднання складає 0,2 дБ. Кількість зварних з'єднань на ділянці — три. Згасання в зварних з'єднаннях приймається за 0,1 дБ.

$$A1 \leq 2 \times 0{,}35 + 1 \times 0{,}2 + 3 \times 0{,}1 = 1{,}2 \text{ дБ}$$

Розрахунок згасань для другої гілки абонентів:

У другій гілці довжина від ONU-X до ОР другого каскаду складає 2,5 км. Кількість роз'ємних з'єднань та зварних з'єднань на ділянці, згідно з Рис.3.2, дорівнює одному для роз'ємних та трьом для зварних.

$$A2 \leq 2{,}5 \times 0{,}35 + 1 \times 0{,}2 + 3 \times 0{,}1 = 1{,}38 \text{ дБ}$$

Розрахунок згасань для третьої гілки абонентів:

У третій гілці довжина від ONU-X до ОР другого каскаду складає 1 км. Кількість роз'ємних з'єднань та зварних з'єднань на ділянці, згідно з Рис.3.2, дорівнює одному для роз'ємних та трьом для зварних.

$$A3 \leq 1 \times 0{,}35 + 1 \times 0{,}2 + 3 \times 0{,}1 = 0{,}85 \text{ дБ}$$

Розрахунок згасань для четвертої гілки абонентів:

У четвертій гілці довжина від ONU-X до ОР другого каскаду складає 3 км. Кількість роз'ємних з'єднань та зварних з'єднань на ділянці, згідно з Рис.3.2, дорівнює одному для роз'ємних та трьом для зварних.

$$A4 \leq 3 \times 0{,}35 + 1 \times 0{,}2 + 3 \times 0{,}1 = 1{,}55 \text{ дБ}$$

Після розрахунку згасань для кожної гілки абонентів, можна визначити згасання в оптичних розгалужувачах другого каскаду.

При проектуванні було вирішено використовувати PLC Splitter 1x16 із стандартом оптичного волокна G657A. Згасання в PLC ОР 1x16 з рівномірним розподілом потужності складає 13,8 дБ.

Розрахуємо згасання від ONU до ОР-2:

$$A1 = 1{,}2 + 13{,}8 = 15 \text{ дБ}$$

$$A2 = 1{,}38 + 13{,}8 = 15{,}18 \text{ дБ}$$

$$A3 = 0{,}85 + 13{,}8 = 14{,}65 \text{ дБ}$$

$$A4 = 1{,}55 + 13{,}8 = 15{,}35 \text{ дБ}$$

Розрахунок втрат на лінії від ONU до вихідних полюсів оптичного розгалужувача першого каскаду:

Для визначення втрат лінії від ONU до вихідних полюсів оптичного розгалужувача першого каскаду скористаємось формулою (3.1), додаючи згасання ділянки ONU – вхідний полюс ОР другого каскаду:

$$A_{2.1}=2*0,35+1*0,2+3*0,1+15=16,2 \text{ дБ}$$

$$A_{2.2}= 2,5*0,35+1*0,2+3*0,1+15,18=16,56 \text{ дБ}$$

$$A_{2.3}= 1*0,35+1*0,2+3*0,1+14,65=15,5 \text{ дБ}$$

$$A_{2.4}= 3*0,35+1*0,2+3*0,1+15,35=16,9 \text{ дБ}$$

Розрахунок втрат у оптичному розгалужувачі:

Наступним етапом є розрахунок втрат у оптичному розгалужувачі першого каскаду. Оскільки різниця втрат між вихідними полюсами ОР-1 перевищує 3,5 дБ, для забезпечення збалансованості мережі доцільно застосувати оптичний розгалужувач типу FBT з несиметричним розподілом потужності.

Для визначення втрат у кожному напрямку передачі ОР-1 скористаємося формулою (3.2):

$$a_x = 10^{0,1 \times A_x}, \quad (3.2)$$

де Ах — втрати ділянки х від ONU до відповідного вихідного полюса ОР. Таким чином:

$$a_1 = 10^{0,1 \times 16,2} = 41,69$$

$$a_2 = 10^{0,1 \times 16,56} = 45,29$$

$$a_3 = 10^{0,1 \times 15,5} = 35,48$$

$$a_4 = 10^{0,1 \times 16,9} = 48,98$$

Обчислення суми коефіцієнтів втрат:

$$a_\Sigma = a_1 + a_2 + a_3 + a_4$$

$$a_\Sigma = 41,69+45,29+35,48+48,98=171,44$$

Обчислення відсотку відгалуження потужності сигналу за вихідними полюсами ОР:

Для визначення відсотка відгалуження потужності сигналу використовуємо формулу (3.3):

$$к_{х\%} = к_х \times 100\% = (a_х / a_\Sigma) \times 100\% \quad (3.3)$$

Відповідно:

$$к_{1х\%} = (41{,}69/171{,}44) \times 100\% = 24{,}3\%$$

$$к_{2х\%} = (45{,}29/171{,}44) \times 100\% = 26{,}4\%$$

$$к_{3х\%} = (35{,}48/171{,}44) \times 100\% = 20{,}7\%$$

$$к_{3х\%} = (48{,}98/171{,}44) \times 100\% = 28{,}5\%$$

Вибір оптичного дільника та врахування реальних втрат:

В результаті розрахунків було обрано оптичний дільник PLC 1x4 APC. Ураховуючи нерівномірність втрат реального оптичного розгалужувача, приймаємо, що ці втрати становитимуть 20% або 0,8 дБ (3.4).

$$a_{\Sigma р} = 1{,}2 \times a_\Sigma \quad (3.4)$$

$$a_{\Sigma р} = 1{,}2 \times 171{,}44 = 205{,}7$$

Це завершує розрахунки для оптичного розгалужувача другого каскаду.

3.2 Визначення згасання між вхідним і вихідними полюсами у ОР-1

Далі обчислимо визначення згасання у ОР-1 між вхідним та вихідними полюсами з урахування коефіцієнтів розгалуження та власних втрат ОР скориставшись формулою (3.5):

$$A_{OP\text{-}0\text{-}х} = 10\lg(a_{\Sigma р} / к_{хр} \times a_\Sigma) = 10\lg(1 / к_{хр}) + 10\lg(a_{\Sigma р} / a_\Sigma) = A_{IL\ х} + A_{EL} \quad (3.5)$$

де $A_{IL\ x}$– втрати, що вносить ідеальний ОР (Insertion loss) при передаванні сигналу з вхідного полюса до вихідного полюса X;

A_{EL} – надлишкові втрати (Excess loss) реального розгалужувача.

Скориставшись формулою отримаємо такі результати:

$$A_{OP\text{-}0\text{-}1}= 10\lg(205,7/\ 0,243 \times 171,44)= 6,95 \text{ дБ}$$

$$A_{OP\text{-}0\text{-}2}= 10\lg(205,7/\ 0,264 \times 171,44)= 6,58 \text{ дБ}$$

$$A_{OP\text{-}0\text{-}3}= 10\lg(205,7/\ 0,207 \times 171,44)= 7,63 \text{ дБ}$$

$$A_{OP\text{-}0\text{-}4}= 10\lg(205,7/\ 0,285 \times 171,44)= 6,24 \text{ дБ}$$

Наступним етапом є обчислення втрат у кожній гілці «дерева» на ділянці від ONU до вхідного полюса оптичного розгалужувача першого каскаду. Для цього необхідно до втрат на ділянці ONU – вихідний полюс ОР-1 додати втрати самого ОР-1 у відповідному напрямку.

$$A_{1\text{-}OP1} = 15,0 + 6,95 = 21,95 \text{ дБ}$$

$$A_{2\text{-}OP1} = 15,18 + 6,58 = 21,76 \text{ дБ}$$

$$A_{3\text{-}OP1} = 14,65 + 7,63 = 22,28 \text{ дБ}$$

$$A_{4\text{-}OP1} = 15,35 + 6,24 = 21,59 \text{ дБ}$$

З розрахунків визначимо ,що третя гілка має найбільше згасання, тому далі розрахунок проводиться саме для цієї гілки. За допомогою формули (3.1) розрахуємо втрати на ділянці ONU до входу головної станції:

$$A_{3\text{-}28} = 6 \times 0,35 + 2 \times 0,2 + 4 \times 0,1 + 22,28 = 25,18 \text{ дБ}.$$

3.3 Визначення загальних втрат і експлуатаційного запасу у мережі

Наступним етапом розрахунків є визначення загальних втрат у мережі з урахуванням втрат на станційній ділянці. До згасання в зовнішній оптичній мережі

додаються втрати в станційному оптичному кросі ODF (враховуючи всі з'єднання, ці втрати складають 1 дБ) та втрати в мультиплексорі WDM (з урахуванням втрат у роз'ємних з'єднаннях, які становлять 1 дБ).

$$A_{ONU\text{-}OLT} = 25{,}18 + 1 + 1 = 27{,}18 \text{ дБ}$$

Кінцевою точкою розрахунків є визначення експлуатаційного запасу у мережі. Експлуатаційний запас визначається як різниця між максимальним та розрахованим оптичним бюджетом втрат:

$$A_{зап} = 28 - 27{,}18 = 0{,}82 \text{ дБ}.$$

Проаналізувавши результати розрахунків мережі XG PON, можна зробити висновок про її працездатність. Мережа передбачає наявність точок приросту, які дозволяють збільшувати кількість абонентів при її подальшому використанні. Крім того, експлуатаційний запас можна підвищити, зменшивши кількість роз'ємних з'єднань. Таким чином, отримані результати підтверджують, що мережа є ефективною та відповідає усім необхідним вимогам.

3.4 Аналіз впливу атмосферних умов на експлуатацію мережі XG-PON

Вплив атмосферних умов на ефективність роботи оптичних мереж є важливою складовою при проектуванні та експлуатації таких систем, як XG-PON. Технології на основі оптоволокна, незважаючи на свою високу надійність і ефективність, є чутливими до змін зовнішніх умов, зокрема до температурних коливань, вологості, атмосферних опадів і інших природних факторів. У цьому підрозділі розглянуто основні атмосферні умови, які можуть впливати на роботу мережі XG-PON, а також заходи, які використовуються для мінімізації їхнього негативного впливу.

3.4.1 Температурні коливання та їх вплив на стабільність мережі

Температурні коливання є однією з основних причин, що можуть негативно впливати на стабільність роботи оптичних волокон у мережах XG-PON. Оптоволоконні лінії, як і інші матеріали, реагують на зміни температури шляхом розширення або стискання. Це явище може призвести до тимчасових змін у параметрах сигналу, таких як затримка чи загасання сигналу, що, в свою чергу, може погіршити якість з'єднання та передавання даних.

Особливо значним є вплив великих температурних коливань у регіонах з континентальним кліматом, де температури можуть змінюватися на десятки градусів протягом року. У таких умовах, для забезпечення стабільної роботи мережі, використовуються спеціальні методи компенсації температурних впливів, такі як використання термостійких матеріалів для виготовлення кабелів, які здатні витримувати великі температурні коливання без втрати своїх характеристик.

Крім того, для запобігання можливим пошкодженням волокон від перепадів температури, важливо правильно вибирати тип кабелів і розташовувати їх з урахуванням особливостей місцевого клімату. Використання кабелів із самовстановлювальними властивостями (self-healing cables), що автоматично відновлюють свою форму після деформації, може бути ефективним рішенням у таких умовах.

3.4.2 Вологість та атмосферні опади

Іншою важливою складовою, яка впливає на роботу оптоволоконних мереж, є вологість. Підвищена вологість або дощі можуть викликати проникнення води в кабелі, що може призвести до корозії з'єднань або навіть до руйнування оптичних волокон. Це є серйозною проблемою для мереж, що знаходяться в районах з підвищеною вологістю або в умовах частих опадів.

Для запобігання цим негативним ефектам застосовуються водонепроникні кабелі, які мають герметичні з'єднання та спеціальні ізоляційні матеріали. Такі

кабелі здатні витримувати контакти з водою і зберігати свої характеристики протягом тривалого часу.

У разі тривалих дощів або підвищеної вологості, може виникнути необхідність у додаткових заходах для захисту обладнання, таких як герметизація кросових коробок, встановлення спеціальних водовідвідних систем або забезпечення належного дренажу для запобігання накопиченню води в місцях розміщення кабелів.

Крім того, в умовах сільської місцевості, де відсутня розвинена інфраструктура для обслуговування мереж, особливо важливо здійснювати регулярний моніторинг стану кабелів та з'єднань, щоб у разі необхідності своєчасно виявляти та усувати проблеми, спричинені високою вологістю.

3.4.3 Вплив вітру та атмосферного тиску

Вітри та атмосферний тиск також можуть мати вплив на експлуатацію мереж XG-PON. У районах з сильними вітровими навантаженнями, таких як прибережні зони або високогірні регіони, існує ризик фізичних пошкоджень оптоволоконних ліній. Сильний вітер може пошкодити оптоволоконні кабелі, що високо підняті або неправильно закріплені, а також викликати зміщення кабелів або з'єднань, що призведе до порушення стабільності сигналу.

Для забезпечення надійності мережі в таких умовах використовуються спеціальні кабелі, що мають підвищену стійкість до механічних навантажень, а також кабелі, що прокладаються під землею або в захищених трубах. Це дозволяє уникнути фізичних пошкоджень та підвищити надійність роботи мережі в умовах сильних вітрів.

У районах з високими температурами або нестабільним атмосферним тиском необхідно ретельно контролювати розташування та фіксацію кабелів, щоб уникнути їхнього обриву або зміщення. Для цього використовуються сучасні технології моніторингу та управління станом мережі, що дозволяють своєчасно виявляти проблеми та здійснювати коригування.

3.4.4 Снігопади та замерзання

Снігопади та замерзання є ще однією важливою проблемою, яка впливає на стабільність роботи мережі XG-PON, особливо в умовах зимового періоду. Снігові покриви та ожеледь можуть призвести до додаткових механічних навантажень на оптоволоконні лінії, а також до накопичення води в кабелях, що може спричинити короткі замикання або пошкодження оптичних волокон.

Щоб уникнути цих проблем, використовуються спеціальні захисні конструкції для кабелів, а також з'єднання, стійкі до замерзання та утворення конденсату. Крім того, при проектуванні мережі XG-PON для сільських територій важливо враховувати особливості клімату та погодних умов, що дозволить знизити ризик виникнення проблем в зимовий період.

3.4.5 Заходи для мінімізації впливу атмосферних умов

Для мінімізації негативного впливу атмосферних умов на експлуатацію мережі XG-PON важливо впроваджувати різні заходи захисту. Це включає в себе використання спеціалізованих кабелів, які здатні витримувати екстремальні температури, високу вологість та механічні навантаження. Крім того, важливу роль у забезпеченні надійності мережі відіграє регулярне технічне обслуговування та моніторинг стану кабелів та з'єднань.

Іншим важливим аспектом є використання технологій моніторингу та управління мережами, які дозволяють оперативно виявляти та усувати проблеми, спричинені атмосферними умовами. Використання сучасних систем з автоматичним регулюванням та самовідновленням допомагає значно зменшити час відновлення зв'язку в разі пошкодження ліній.

ВИСНОВКИ

Мережа 10G-PON є розширеною версією технології пасивних оптичних мереж доступу (PON), що повністю сумісна з існуючою мережею GPON і дозволяє їм функціонувати паралельно без взаємних перешкод. Ця технологія, як і інші типи пасивних оптичних мереж, використовує топологію типу «Точка до множини» (P2MP), де розгалуження здійснюється за допомогою пасивних сплітерів. Крім того, система функціонує на одному оптичному волокні, при цьому використовуються методи спектрального ущільнення каналів WDM.

Основною перевагою технології 10G-PON є можливість підключення однієї центральної станції (OLT) до 64 абонентських пристроїв (ONU) на відстані до 20 км. Для побудови мережі були використані наступні технічні компоненти:

- Оптичний термінал OLT SmartFiber E9004-D.
- Мультиплексор DWDM 1x8 Mux/Demux LC RM19.
- Абонентські пристрої ONU GP-125.
- Підвісний волоконно-оптичний кабель ОКЛ8.
- Кабель абонентського доступу ОКТ-Д виробництва Одескабель.

Під час розрахунків для цієї мережі було виявлено, що згасання в окремих гілках складає: 16,2 дБ в першій гілці, 16,56 дБ у другій, 15,5 дБ у третій і 16,9 дБ у четвертій. Відсоток відгалуження в цих гілках становить відповідно: 24,3%, 26,4%, 20,7% і 28,5%. Згасання між вхідними та вихідними полюсами в ОР-1 для кожної гілки також варіюються: для першої гілки – 6,95 дБ, для другої – 6,58 дБ, для третьої – 7,63 дБ і для четвертої – 6,24 дБ.

В остаточних розрахунках було визначено загальні втрати та експлуатаційний запас мережі. Експлуатаційний запас становить 0,82 дБ, що підтверджує ефективність та працездатність мережі, а загальні втрати дорівнюють 27,18 дБ, що відповідає вимогам до якості сигналу і не впливає на функціонування системи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гринько О.О., Шевченко В.В. "Основи побудови оптичних мереж доступу". – Київ: НТУУ «КПІ», 2020.

2. Кучеренко І.С. "Оптичні мережі: теорія і практика". – Харків: ХНУРЕ, 2018.

3. Дзюба С.В. "Побудова телекомунікаційних мереж у сільській місцевості". – Львів: Львівська політехніка, 2019.

4. Saleh, B. E. A., & Teich, M. C. "Fundamentals of Photonics". – Wiley, 2019.

5. FSAN (Full Service Access Network). "Technical Overview and Standards for Passive Optical Networks". – 2015.

6. IEEE 802.3av. "10G EPON Standard for Access Networks". – IEEE, 2009.

7. Zheng, J., & Simcoe, D. "Next-Generation PONs: Concepts and Developments". – Springer, 2022.

8. ITU-T Recommendation G.987. "10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON)". – International Telecommunication Union, 2010.

9. Романенко І.В. "Сучасні телекомунікаційні технології". – Київ: Освіта, 2020.

10. Семенов С.П. "Волоконно-оптичні системи зв’язку". – Харків: ХНУРЕ, 2017.

11. Лазаренко М.В. "Мультисервісні мережі нового покоління". – Львів: Політехніка, 2019.

12. Петров А.В. "Архітектура оптичних мереж доступу". – Київ: Техніка, 2021.

13. Коваленко О.М. "Основи проектування мереж доступу". – Дніпро: ДНУ, 2018.

14. Anderson, R. "Security Engineering: A Guide to Building Dependable Distributed Systems". – Wiley, 2020.

15. Stallings, W. "Data and Computer Communications". – Pearson, 2021.

16. GPON Technology // URL: https://community.fs.com/ru/blog/wdm-pon-vs-gpon-vs-xg-pon.html . (дата звернення: 05.09.2024).

17. XG-PON Basics URL: https://lastminuteengineers.com/sim900-gsm-shield-arduino-tutorial/ . (дата звернення: 10.09.2024).

18. Основи технології GPONURL // https://skomplekt.com/technology/gpon_tehnologiya.htm . (дата звернення: 15.09.2024).

19. Волоконно-оптичні лінії зв'язку // URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Волоконно-оптична_лінія_передачі . (дата звернення: 19.09.2024).

20. GPON: Advantages and Features // URL: https://iron-harry.ua/gpon_tehnologiya.htm . (дата звернення: 29.09.2024).

21. Порівняння технологій GPON, XG-PON, XGS-PON // URL: https://www.vsolcn.com/blogs-detail/gpon-xgpon-xgspon . (дата звернення: 29.09.2024).

22. Send Receive SMS & Call with SIM900 GSM Shield & Arduino // URL: https://lastminuteengineers.com/sim900-gsm-shield-arduino-tutorial/ . (дата звернення: 29.09.2024).

23. Що таке XG-PON? // URL: https://www.promax.es/ru . (дата звернення: 30.09.2024).

24. Технології PON: http://kompot.uz.ua/compot/gpon-technology/ . (дата звернення: 31.09.2024).

25. Волоконно-оптичні мережі // URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/GPON . (дата звернення: 01.10.2024).

26. Переваги технологій GPON // URL: https://future-networks.com/gpon-advantages . (дата звернення: 01.10.2024).

27. Оптичні сплітери // URL: https://fs.com/ru/optical-splitters.html . (дата звернення: 05.10.2024).

28. Порівняння GPON та XG-PON // URL: https://telecom.com/gpon-vs-xgpon . (дата звернення: 09.10.2024).

29. Еволюція PON-мереж // URL: https://techworld.com/pon-evolution . (дата звернення: 10.10.2024).

30. Переваги XG-PON // URL: https://innovations.telecom/xgpon-benefits . (дата звернення: 27.10.2024).

31. Нові стандарти PON // URL: https://opticstoday.com/new-pon-standards . (дата звернення: 27.10.2024).

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

Система розробки мережі доступу на основі технології XG PON для сільської місцевості

Підготував студент групи АРДМ-61
Шмельов Михайло
Керівник PhD, доцент
Блаженний Н.В

Мета, об'єкт та предмет дослідження

- *Мета роботи:* розробити та дослідити мережу доступу на основі технології XG PON, яка дозволить забезпечити високошвидкісний доступ до Інтернету в сільській місцевості, підвищити якість телекомунікаційних послуг та ефективність їх використання.
- *Об'єкт дослідження:* мережі доступу на основі технології XG PON.
- *Предмет дослідження:* технічні характеристики та архітектура мережі XG PON, процеси проектування та впровадження у сільській місцевості.

Структура мережі

Технологія PON пропонує створення розгалуженої мережі (переважно деревоподібної топології) без активних компонентів – на пасивних оптичних розгалужувачах.



Мережа XG-PON

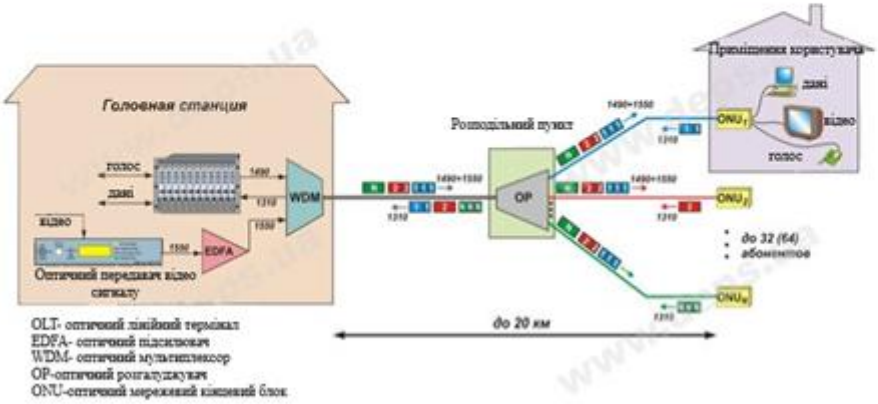
Суть мережі PON полягає в тому, що між приймальним модулем центрального вузла OLT та віддаленими абонентськими вузлами ONT створюється повністю пасивна оптична мережа, що має топологію дерева. Поступово ця мережа почала розвиватись оскільки користувачам стало бракувати швидкості передачі даних. Так були запроваджені стандарти APON, BPON, EPON, GPON та найновіший стандарт XG-PON (також відомий як 10G PON).

Мережа XG-PON має ідентичну побудову та складові мережі до GPON. Вони можуть працювати поруч при цьому не заважаючи один одному.

	GPON	XG-PON
Висхідний потік (nm)	1260-1360	1260-1280
Низхідний потік (nm)	1480-1500	1575-1580
Швидкість висхідної лінії	1.2Gbps	2.5/10Gbps
Швидкість низхідної лінії	2.5Gbps	10Gbps

Побудова та складові мережі

Робота мережі PON заключається в організації множинного доступу через одне оптоволокно за допомогою тимчасового мультиплексування та частотного поділу трактів прийому та передачі .

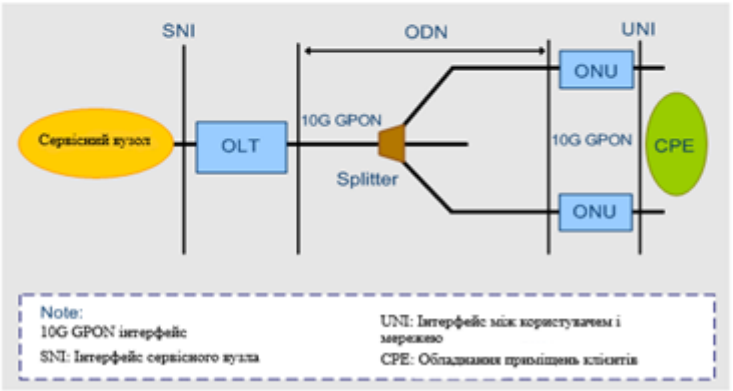


OLT- оптичний лінійний термінал
EDFA- оптичний підсилювач
WDM- оптичний мультиплексор
OP-оптичний розгалужувач
ONU-оптичний мережний кінцевий блок

Структура мережі 10G PON

10G GPON має два стандарти: XG-PON і XGS-PON

- XG-PON- це асиметричний 10G GPON: 10 Гбіт/с, максимальна вихідна швидкість: 2,5 Гбіт/с.
- XGS-PON- це симетричний 10G GPON: 10 Гбіт/с, максимальна швидкість лінії висхідної лінії: 10 Гбіт/с.



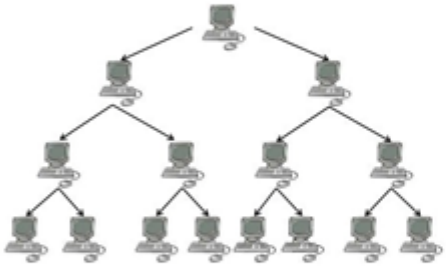
Вибір топології мережі

Для проектованої мережі підходить топологія «дерево» без активних компонентів застосовуються лише пасивні оптичні розгалужувачі.

Інформація всім користувачів мере передається одночасно з тимчасовим поділ каналів від головної станції оптичног лінійного терміналу (OLT)- до кінцевих оптичних мережевих блоків (ONU).

Деревоподібна топологія є доволі гнучкою з точки зору потенційного розвитку та зручною у розширення абонентської бази.

Дерево



Модель побудови мережі для хутору Горохівське Київської області



Опис обладнання мережі

OLT

Для мережі було обрано оптичний термінал **OLT, SmartFiber E9004-D**. Він Надає користувачеві доступ до комплексних послуг, таких як широкосмуговий доступ PON, голосовий зв'язок, IPTV та кабельне телебачення. Даний термінал має підтримку 4 портів



WDM мультиплексор

Для проектування власної мережі мною було обрано мультиплексор DWDM 1x8 Mux/Demux LC RM19.

Характеристики якого представлені на таблиці

Довжина хвилі каналу (нм)	Мережа ITU 100 ГГц
Рознесення каналу (ГГц)	100 (0,8 нм)
Полоса пропуску каналу (дБ)	• 0,25
Внесені втрати (дБ)	≤ 3,7
Дисперсія моди поляризації (пс)	< 0,1



Оптичні розгалужувачі

В роботі застосовується PLC Splitter 1x4, SC/UPC характеристики якого представлені в таблиці



Розміри	600 мм
Довжина хвилі	1260-1650 нм
Загасання	7.0 dBm (min), 7.4 dBm (max)
Температура роботи	-40 ~ +85°C
Коефіцієнт міжполяризаційних втрат (PDL)	0.3 dB
Температурний коефіцієнт втрат (TDL)	0.5 dB
Направленість	≥ 55 dB
Зворотні втрати	≥ 50 dB

Оптичні кабелі

1. Магістральна ділянка

В роботі використовується Підвісний волоконно-оптичний кабель ОКЛ8 фірми Одескабель. Характеристики наведені в таблиці.



Максимальний індивідуальний коефіцієнт загасання, дБ/км: - 1310nm/1550 nm	0,36/0,22
Коефіцієнт хроматичної дисперсії, пс/(нм*км): - 1310 nm/1550 nm	3,5/18
Мінімальний радіус вигину, мм	не менше 20 номінальних діаметрів кабелю
Допустиме роздавлююче зусилля, Н/100 мм	3000
Допустиме розтягуюче зусилля, кН	4,0 и 6,0
Діапазон температур експлуатації та монтажу	-40 °C - +60 °C

2.Абонентська ділянка

В роботі використовується Кабель абонентського доступу ОКТ-Д фірми Одескабель. Характеристики наведені в таблиці



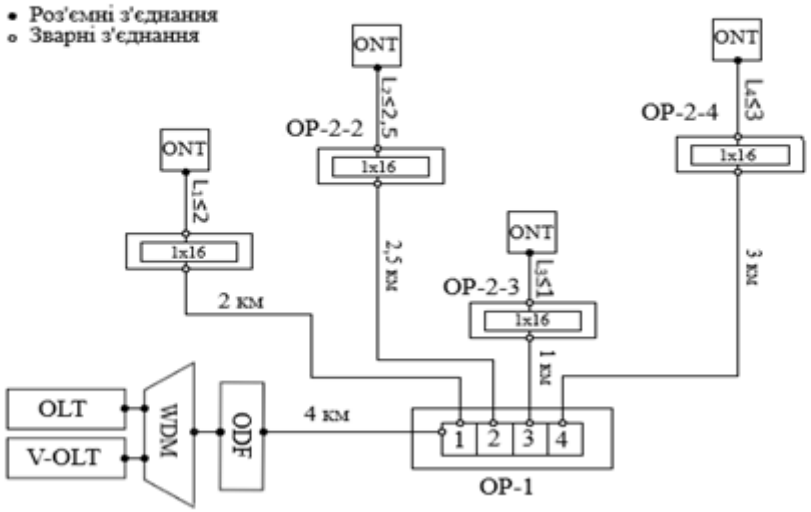
Максимальний індивідуальний коефіцієнт загасання, дБ/км: -1310nm/1550 nm	0,36/0,22
Коефіцієнт хроматичної дисперсії, пс/(нм*км): -1310 nm/1550 nm	3,5/18
Тип ОВ	ITU-T G.652 D
Мінімальний радіус вигину, мм	не менше 20 номінальних діаметрів кабелю
Допустиме роздавлююче зусилля, Н/100 мм	3000
Допустиме розтягуюче зусилля, кН	0,5; 1,0;1,5; 2,7
Діапазон температур експлуатації та монтажу	-40 °С - +60 °С

PON Інтерфейс	• Оптичний інтерфейс відповідає стандарту класу С • Висхідний потік 2.5 Гбіт/с; • Спадний потік його 10 Гбіт/с SC одномодовое волокно • Співвідношення поділу: 1: 64 • Відстань передачі 20 км
Потужність інтерфейсу	12 V DC джерело живлення
PON Оптичні параметри	• Довжина хвилі: Tx 1310nm, Rx1490nm Tx • оптична потужність: 0,5 ~ + 5dBm • Чутливість Rx:-27dBm • Оптична потужність:-8dBm • Тип роз'єму: SC Оптичне волокно: 9/125 single M одномодовое волокно
Параметри передачі даних	• Пропускна здатність: стек гілок 2300 Мбіт/с; вгору 1110 Мбіт/с, • Коефіцієнт втрати пакету: 1*10E-12 • Затримка: 1,5 мс

ONU GP-125



Структурна схема мережі XG-PON



Висновки

Під час розрахунків для цієї мережі було виявлено, що згасання в окремих гілках складає: 16,2 дБ в першій гілці, 16,56 дБ у другій, 15,5 дБ у третій і 16,9 дБ у четвертій. Відсоток відгалуження в цих гілках становить відповідно: 24,3%, 26,4%, 20,7% і 28,5%. Згасання між вхідними та вихідними полюсами в ОР-1 для кожної гілки також варіюються: для першої гілки – 6,95 дБ, для другої – 6,58 дБ, для третьої – 7,63 дБ і для четвертої – 6,24 дБ.

В остаточних розрахунках було визначено загальні втрати та експлуатаційний запас мережі. Експлуатаційний запас становить 0,82 дБ, що підтверджує ефективність та працездатність мережі, а загальні втрати дорівнюють 27,18 дБ, що відповідає вимогам до якості сигналу і не впливає на функціонування системи.

Дякую за увагу!

Протокол аналізу звіту подібності науковим керівником

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Михайло Шмельов

Назва: Розробка та дослідження мережі доступу на основі технології XG PON для сільської місцевості

Координатор: Назарій Блаженний

Підрозділ: ННІТ

Коефіцієнт подібності 1:15

Коефіцієнт подібності 2:3

Тривога: 32

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

☐ виявлені в роботі запозичення є сумлінними і не мають ознак плагіату. Тому робота визнається самостійною і допускається до захисту;

☐ виявлені в роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання;

☐ виявлені в роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень. У зв'язку з чим, робота не допускається до захисту.

…… ……

Дата *Підпис Наукового керівника*