

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ,  
ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ  
КАФЕДРА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТА РАДІОЕЛЕКТРОННИХ  
СИСТЕМ**

**ДОПУСТИТИ ДО  
ЗАХИСТУ**

**Завідувач кафедри**

**Роман ОДАРЧЕНКО**

**“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА  
РОБОТА  
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

**ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВР**

**Тема:** «Мережа доступу FTTB на базі технології GPON»

**Виконавець:** \_\_\_\_\_ **Григорій ДЕЙНЕКА**

(підпис)

**Керівник:** \_\_\_\_\_ **Віталій КУРУШКІН**

(підпис)

**Нормоконтролер:** \_\_\_\_\_ **Денис БАХТІЯРОВ**

(підпис)

**Київ 2023**

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій \_\_\_\_\_.

Кафедра телекомунікаційних та радіоелектронних систем \_\_\_\_\_.

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка» \_\_\_\_\_.

Освітньо-професійна програма «Телекомунікаційні системи та мережі» \_\_\_\_\_.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Роман ОДАРЧЕНКО

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.

## ЗАВДАННЯ

### на виконання кваліфікаційної роботи

Дейнеки Григорія Юрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові випускника в родовому відмінку)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Мережа доступу FTTB на базі технології GPON»

затверджена наказом ректора від «29» березня 2023 р. № 421/ст

2. Термін виконання роботи: з 22.05.2023 р. по 25.06.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: Використання GPON для побудови мережі FTTB

4. Зміст пояснювальної записки: Вступ, Пасивні оптичні мережі доступу, Технічний розрахунок проєктованої мережі доступу FTTB, Мережа доступу FTTB на базі технології GPON.

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: Графічне представлення архітектур FTTx (FTTH, FTTB, FTTC, тощо), Графічна ілюстрація стеку протоколів GPON. Схема архітектури мережі FTTB на базі

технології GPON. Зображення розташування OLT, ONT та ODN в будівлі.  
Фотографії станційного та абонентського обладнання GPON. Фотографії  
розгалужувачів та оптичних кабелів, використаних у мережі FTTB GPON.  
Графічне представлення загальної структури мережі FTTH GPON. Графічне  
представлення загальної структури мережі FTTB GPON.

6. Календарний план-графік

ор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
	Розробити деталізований зміст розділів кваліфікаційної роботи	22.05.2023- 24.05.2023	Виконано
	Вступ	24.05.2023	Виконано
	Пасивні оптичні мережі доступу	25.05.2023- 28.05.2023	Виконано
	Технічний розрахунок проєктованої мережі доступу FTTB	29.05.2023- 06.06.2023	Виконано
	Мережа доступу FTTB на базі технології GPON	07.06.2023- 15.06.2023	Виконано
	Усунення недоліків та захист кваліфікаційної роботи	16.06.2023- 25.06.2023	Виконано

7. Дата видачі завдання: “19” травня 2023 р.

Керівник кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_ Віталій КУРУШКІН  
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Григорій ДЕЙНЕКА  
(підпис випускника) (П.І.Б.)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота «Мережа доступу FTTB на базі технології GPON» містить 54 сторінок, 22 рисунків, 3 таблиці, 13 використаних джерел.

**Об'єкт дослідження** – мережа доступу FTTB GPON, яка є пасивною оптичною мережею з технологією GPON для забезпечення швидкого та надійного інтернет-з'єднання для абонентів.

**Предмет дослідження** - технологія FTTB на базі технології GPON.

**Мета і завдання досліджень.** Метою кваліфікаційної роботи є дослідження та проектування мережі доступу FTTB GPON на базі технології GPON, з метою забезпечення швидкого та надійного доступу до інтернету для абонентів.

Для досягнення поставленої мети було сформульовано такі завдання:

1. Дослідити технологію FTTx та різновиди пасивних оптичних мереж доступу
2. Дослідити стандарт GPON, його стек протоколів та формат кадрів, провести аналіз трафіку;
3. Розрахувати технічні параметри проєктованої мережі, зокрема максимальну та мінімальну довжину регенераційної ділянки, практичний оптичний бюджет, сумарне загасання лінії, надійність та пропускну спроможність;
4. Вибрати оптимальне станційне та абонентське обладнання, а також розгалужувачі та оптичні кабелі для забезпечення найкращих характеристик мережі;
5. Побудувати мережу доступу FTTB на базі технології GPON.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. Пасивні оптичні мережі доступу.....	11
1.1. Мережі доступу.....	11
1.2. Технологія FTTx.....	13
1.3. Різновиди пасивних оптичних мереж.....	15
1.4. Стандарти пасивних оптичних мереж.....	17
1.5. Стандарт GPON.....	21
1.6. Стек протоколів та формат кадрів.....	23
1.7. Аналіз трафіку GPON.....	25
1.8 FTTB.....	27
РОЗДІЛ 2. Технічний розрахунок проєктованої мережі доступу FTTB GPON.....	32
2.1. Розрахунок максимальної та мінімальної довжини регенераційної ділянки GPON.....	32
2.2. Розрахунок практичного оптичного бюджету GPON.....	34
2.3. Розрахунок сумарного загасання лінії.....	36
2.4. Розрахунок надійності волоконно-оптичної лінії.....	37
2.5. Розрахунок пропускної спроможності.....	38
2.6. Розрахунок навантаження на порт OLT в ГНН.....	39
РОЗДІЛ 3. Мережа доступу FTTB на базі технології GPON.....	41
3.1. Вибір станційного та абонентського обладнання.....	41
3.2. Вибір розгалужувачів та оптичних кабелів.....	45
3.3 Побудова мережі доступу FTTB на базі технології GPON.....	47
ВИСНОВКИ.....	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	53

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

GPON	Gigabit Passive Optical Network – Гігабітна пасивна оптична мережа.
FTTC	Fiber to the Curb – Волокно до Бордюру.
FTTH	Fiber to the Home – Волокно до дому.
FTTP	Fiber to the Premis – Волокно до приміщення.
FTTCab	Fiber to the Cab – Волокно до кабіни.
FTTB	Fiber to the Bilding – Волокно до Будівлі.
Gbps	Gigabits Per Second – Гігабіт на секунду.
GHz	Gigahertz – Гігагерц.
ГНН	Година Найбільшого Навантаження.
OLT	Optical Line Terminal – Термінал оптичної лінії.
FTTx	Fiber to the x – Волокно до 'x', де 'x' може бути будь-яким.
ONT	Optical Network Terminal – Термінал Оптичної Лінії.
ODN	Optical Distribution Network – Оптична Розподільна Мережа.
XG-PON	10-Gigabit Passive Optical Network – 10-гігабітна пасивна оптична мережа.
EPON	Ethernet Passive Optical Network –

	Пасивна оптична мережа Ethernet.
WDM	Wavelength Division Multiplexing – Мультиплексування з поділом довжини хвилі.
ONU	Optical Network Unit – Оптична Мережева Одиниця.
ONT	Optical Network Terminal – Оптичний Мережевий Термінал.
PON	Passive Optical Network – Пасивна Оптична Мережа.
GEPON	Gigabit Ethernet Passive Optical Network – Гігабітна пасивна оптична локальна мережа.
EPON	Ethernet Passive Optical Network – Пасивна Оптична Мережа Ethernet.



## ВСТУП

Розвиток технологій забезпечує зростання потреб у швидкісному та надійному Інтернет-з'єднанні. Особливо актуальним це питання є для користувачів, які проживають в багатоквартирних будинках та офісах, де питання швидкості та якості доступу до мережі Інтернет може бути досить гострим. І саме тут пасивні оптичні мережі доступу, зокрема технології FTTB та GPON, можуть бути ефективним рішенням для забезпечення надійного та швидкого доступу до мережі Інтернет. У цій роботі буде детально описано технологію FTTB і GPON, та її різновиди, а також стандарти та формат кадрів, що використовуються в цій технології. Також буде проведений технічний розрахунок проєктованої мережі доступу FTTB GPON, що включає розрахунок оптичного бюджету, сумарного загасання лінії, надійності волоконно-оптичної лінії, пропускної спроможності та навантаження на порт OLT в ГНН. Також в роботі буде описано процес вибору станційного та абонентського обладнання, а також розгалужувачів та оптичних кабелів для забезпечення найкращих характеристик мережі. Метою цієї роботи є розгляд актуальної технології FTTB GPON як ефективного рішення для забезпечення швидкого та надійного доступу до мережі Інтернет у багатоквартирних будинках та офісах. Дана кваліфікаційна робота є актуальною, оскільки розглядає важливу тему пасивних оптичних мереж доступу на базі технології GPON, що має великий потенціал для застосування в сучасних мережах зв'язку. Виконання розрахунків та реалізація мережі дозволить отримати практичні знання та досвід у розробці та налагодженні пасивних оптичних мереж доступу на базі технології GPON, що може бути корисним для подальшої роботи в галузі зв'язку та інформаційних технологій.

**Мета і завдання досліджень.** Метою кваліфікаційної роботи є дослідження та проєктування мережі доступу FTTB GPON на базі технології GPON, з метою забезпечення швидкого та надійного доступу до інтернету для абонентів.

Для досягнення поставленої мети було сформульовано такі завдання:

1. Дослідити технологію FTTx та різновиди пасивних оптичних мереж доступу
2. Дослідити стандарт GPON, його стек протоколів та формат кадрів, провести аналіз трафіку;
3. Розрахувати технічні параметри проєктованої мережі, зокрема максимальну та мінімальну довжину регенераційної ділянки, практичний оптичний бюджет, сумарне загасання лінії, надійність та пропускну спроможність;
4. Вибрати оптимальне станційне та абонентське обладнання, а також розгалужувачі та оптичні кабелі для забезпечення найкращих характеристик мережі;
5. Побудувати мережу доступу FTTB на базі технології GPON.

*Об'єкт дослідження* - мережа доступу FTTB GPON, яка є пасивною оптичною мережею з технологією GPON для забезпечення швидкого та надійного інтернет-з'єднання для абонентів.

*Предмет дослідження* - технологія FTTB на базі технології GPON.

*Методи досліджень* - для досягнення поставлених цілей та вирішення завдань використовувалися наступні методи дослідження:

*аналітичний* - дозволяє ретельно проаналізувати літературні джерела та документацію відповідних стандартів і технологій для отримання необхідних знань та визначення найбільш ефективних рішень;

*моделювання* - дозволяє створити математичну модель мережі з використанням відповідних програмних засобів для проведення розрахунків та аналізу;

*порівняння* - дозволяє порівняти різні варіанти рішень з метою вибору найбільш оптимального з них.

# РОЗДІЛ 1

## ПАСИВНІ ОПТИЧНІ МЕРЕЖІ ДОСТУПУ

### 1.1. Мережі доступу

Мережа доступу - це важлива складова будь-якої телекомунікаційної мережі, оскільки саме вона забезпечує зв'язок між кінцевими користувачами та іншими елементами мережі. В залежності від технології передачі даних, мережі доступу можуть бути різних типів, таких як мідні, бездротові, радіорелейні та оптичні. Оптичні мережі доступу є одним з найбільш прогресивних та ефективних способів покращення мереж доступу. Вони забезпечують передачу даних на великі відстані з високою швидкістю та мінімальними втратами сигналу. Оптичні мережі доступу можуть бути побудовані за різними архітектурами, такими як FTTx, де FTT означає Fiber to the ..., де "x" може бути "B" для будівель, "C" для клієнтів, "D" для пристроїв тощо.

Одним з головних переваг оптичних мереж доступу є можливість підключення великої кількості користувачів до одного вузла, що знижує вартість мережі та полегшує її управління. При цьому, оптична мережа доступу виключає можливість електромагнітних перешкод та несприятливого впливу на здоров'я людей.

Оптичні мережі доступу можуть бути реалізовані як активні та пасивні. Пасивні оптичні мережі доступу є більш ефективними використанням ресурсів, оскільки не використовують активних елементів, таких як комутатори та маршрутизатори. Це дозволяє зменшити витрати на будівництво та експлуатацію мережі, збільшити пропускну здатність та покращити якість обслуговування. Активні оптичні мережі доступу, з іншого боку, використовуються тоді, коли необхідна більша гнучкість та можливість керування мережею. Для активних оптичних мереж доступу можуть бути встановлені комутатори, маршрутизатори та інші активні елементи для забезпечення керування мережею та підтримки сервісів. Оптичні мережі

доступу знаходять застосування в різних галузях, включаючи телекомунікації, медицину, промисловість та інші. Наприклад, в медицині оптичні мережі доступу використовуються для передачі даних від медичних приладів до систем обробки даних, що дозволяє швидко та ефективно здійснювати діагностику та лікування пацієнтів. Також оптичні мережі доступу знаходять застосування в індустрії для передачі даних від датчиків, що забезпечує моніторинг та керування промисловими процесами.

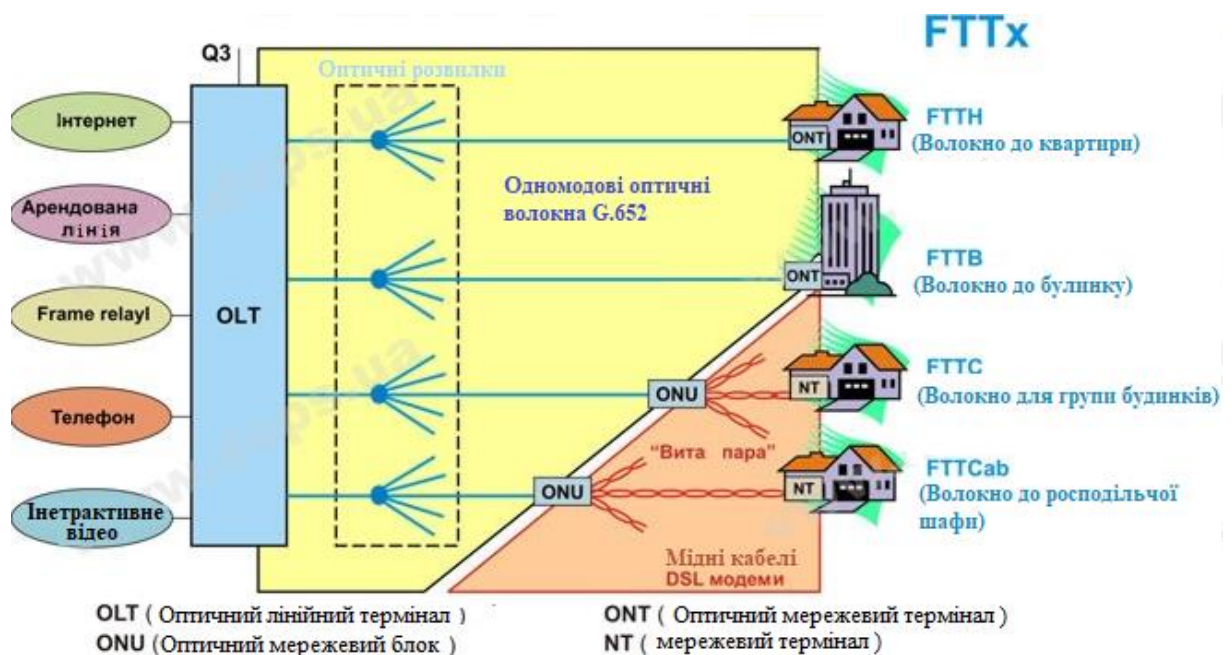


Рис. 1.1. Ілюстрація різних типів оптичних мереж доступу [1]

Відповідно до Рис 1.1. , в усіх архітектурах FTTx (Fiber to the...) є зона з розподільчими мідними кабелями, однак чим ця зона є коротшою, тим вища пропускна здатність мережі. Найбільш ефективним використанням оптичних технологій є структура FTTH, де оптичний мережевий термінал розташовується у квартирі користувача і з'єднується короткими кабелями з кінцевими пристроями, такими як телефон, комп'ютер, та інші.

## 1.2. Технологія FTTx

Залежно від технології та топології, оптичні мережі доступу можуть бути реалізовані у формі різних типів мереж, таких як FTTN, FTTC, FTTB та FTTH.

Оптична мережа FTTN (Fiber-to-the-Node) - це мережа, в якій оптичний кабель доходить до вузла (ноди), що розташований на певній відстані від будинку або офісу користувача. Вузол зазвичай є металевою шафою на вулиці або в підземному приміщенні, в якому знаходяться активні компоненти мережі, такі як комутатори та маршрутизатори. Зв'язок від вузла до будинку або офісу користувача здійснюється за допомогою мідних кабелів або коаксіального кабеля.

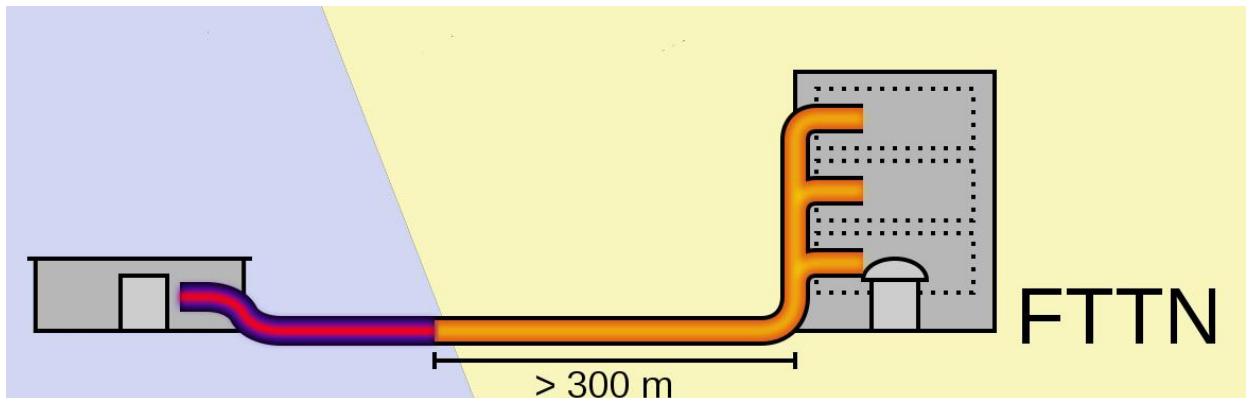


Рис. 1.2. Схема мережі FTTN (Fiber To The Node) [2]

Оптична мережа FTTC (Fiber-to-the-Curb або Fiber-to-the-Cabinet) - це мережа, в якій оптичний кабель доходить до близької відстані до будинку або офісу користувача. В цьому випадку вузол розташовується на тротуарі біля будинку, або на більшій відстані, і з'єднується зі шкафом на кабелі користувача за допомогою мідних кабелів. Така мережа зазвичай забезпечує кращу швидкість передачі даних порівняно з FTTN.

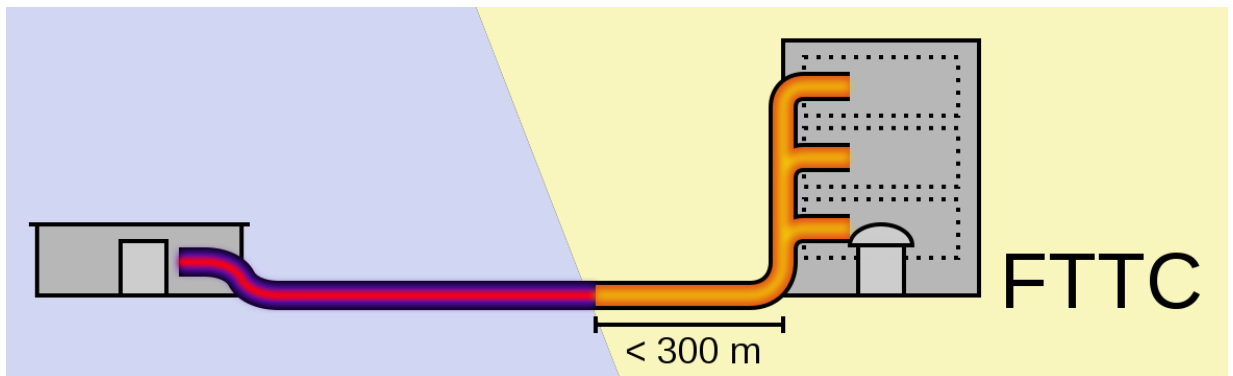


Рис. 1.3. Схема мережі FTTC (Fiber to the Curb) [2]

Оптична мережа FTTB (Fiber-to-the-Building) - це мережа, в якій оптичний кабель доходить до будівлі, і з'єднується з активним обладнанням в приміщенні будівлі. З'єднання з мережею користувача здійснюється за допомогою мідних кабелів або коаксіального кабеля. Ця технологія використовується в основному для мереж з великою кількістю користувачів, таких як житлові будинки, багатоповерхові офісні будівлі та інші. FTTB зазвичай забезпечує кращу швидкість передачі даних порівняно з FTTN та FTTC.

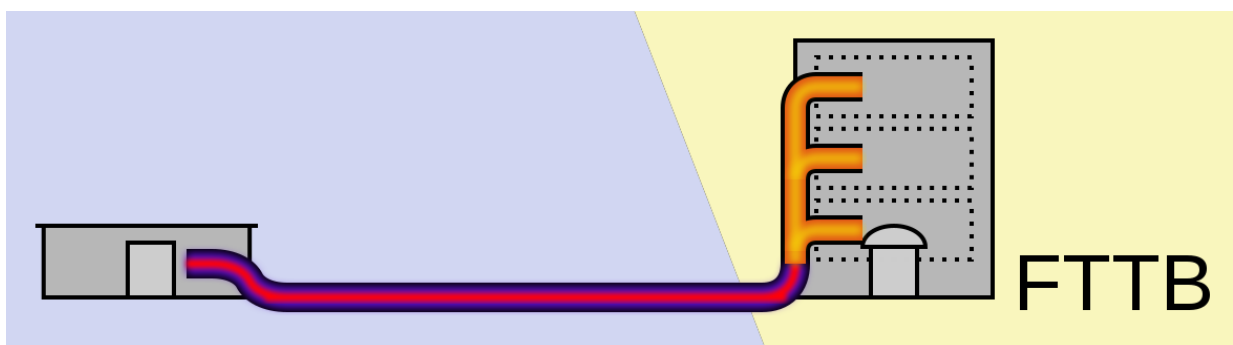


Рис. 1.4. FTTB означає "Fiber to the Building" (волоконно-оптичний кабель до будівлі) [2]

Оптична мережа FTTN (Fiber-to-the-Home) - це мережа, в якій оптичний кабель доходить до самого будинку або квартири користувача. Всі комунікаційні послуги надаються через оптичний кабель, що забезпечує найвищу швидкість передачі даних. Оптична мережа FTTN є найбільш ефективним та майбутньоорієнтованим рішенням для забезпечення швидкісного Інтернету та інших послуг передачі даних [2].

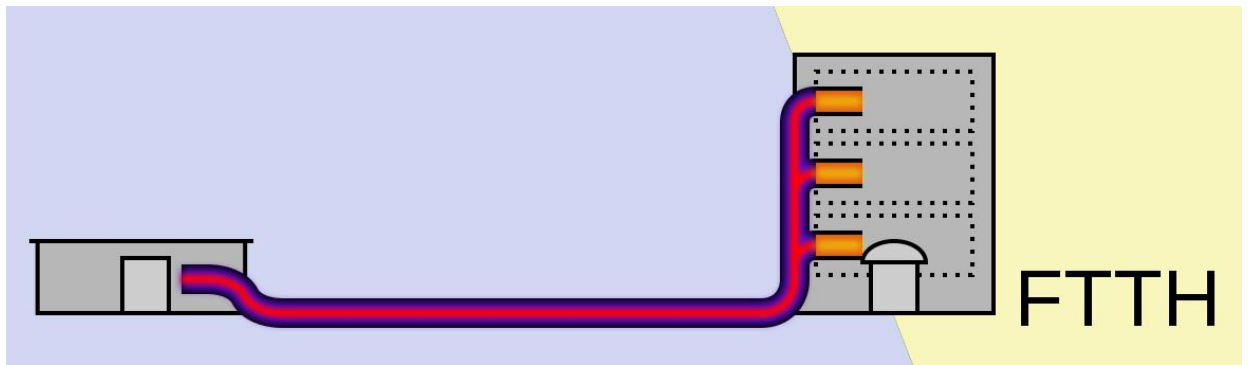


Рис. 1.5. Схема мережі FTTH (Fiber-to-the-Home) [2]

### 1.3. Різновиди пасивних оптичних мереж

На сьогоднішній день існує кілька різновидів пасивних оптичних мереж, серед яких найбільш поширені такі:

1. GPON (Gigabit Passive Optical Network) - це технологія, яка дозволяє передавати дані зі швидкістю до 2,5 Гбіт/с через оптичний кабель. GPON є однією з найбільш поширених технологій у світі і використовується для побудови оптичних мереж з підключенням до Інтернету, телевізійного сигналу та телефонних ліній.

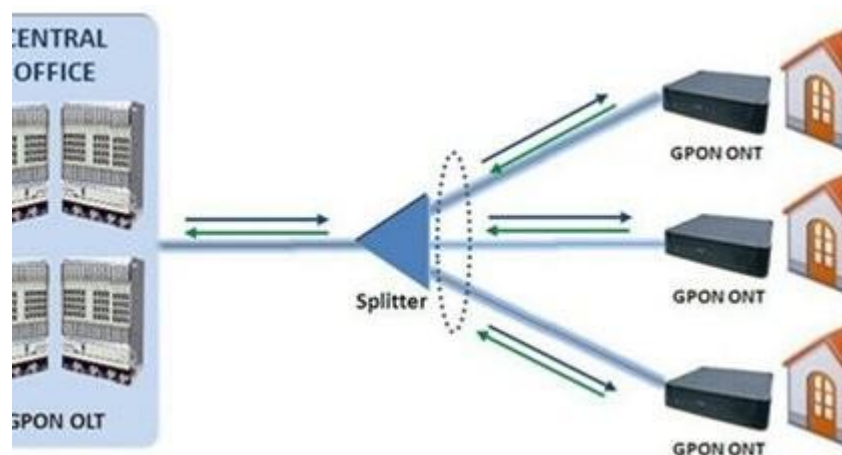


Рис. 1.6. Компоненти GPON FTTH (Fiber-to-the-Home)[4]

2. EPON (Ethernet Passive Optical Network) - ця технологія також використовується для побудови оптичних мереж і передачі даних зі швидкістю до 1 Гбіт/с. Проте, вона базується на стандартах Ethernet, що робить її більш сумісною з існуючими мережевими пристроями.

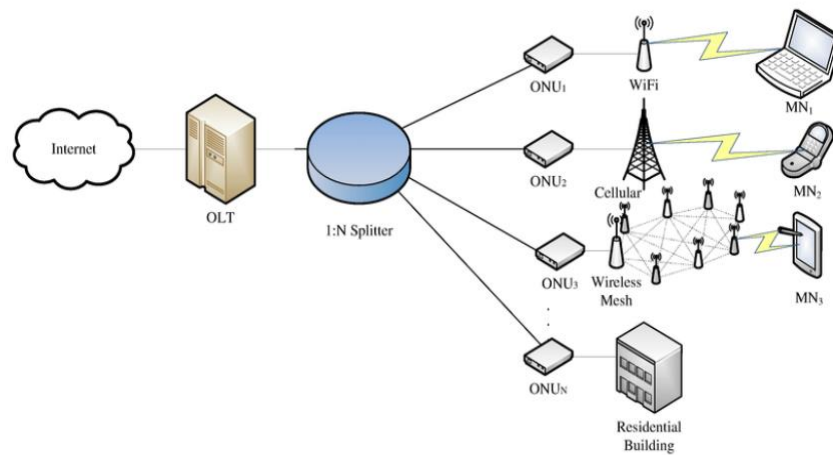


Рис. 1.7. Архітектура пасивної оптичної мережі Ethernet (EPON)[5]

3. WDM-PON (Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network) - ця технологія дозволяє передавати дані на різних довжинах хвиль, що дозволяє збільшувати пропускну здатність мережі. WDM-PON використовується для побудови великих оптичних мереж, які забезпечують підключення до Інтернету, телевізійного сигналу та телефонних ліній.

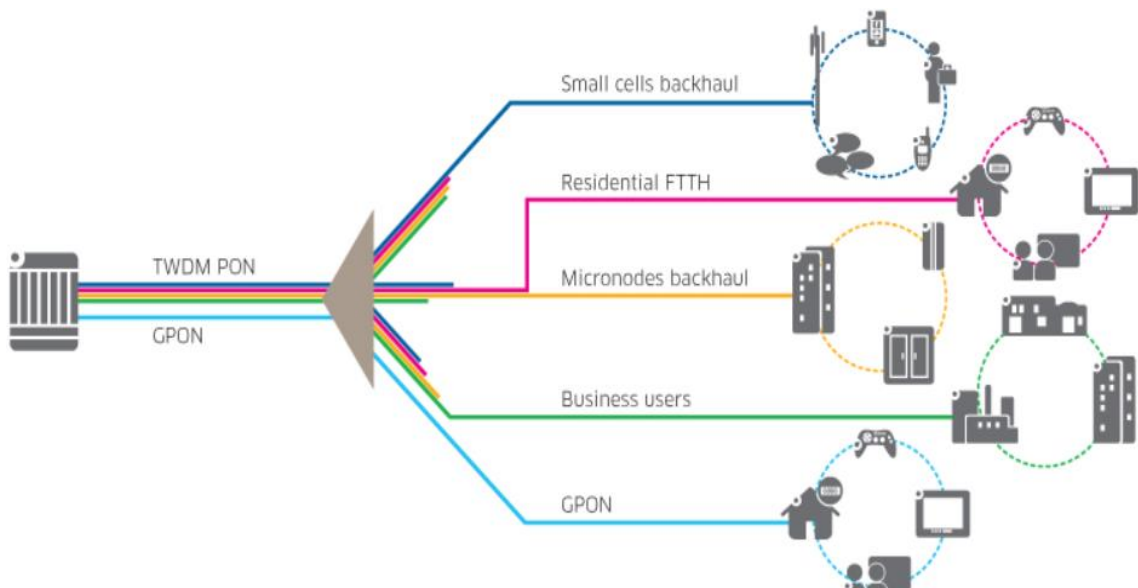


Рис. 1.8 Компоненти WDM-PON [6]

4. P2P-PON (Point-to-Point Passive Optical Network) - це технологія, при якій кожен абонент підключений до оптичного терміналу безпосередньо, що забезпечує більшу пропускну здатність мережі і надійність з'єднання. P2P-PON використовується для побудови мереж з високими вимогами до швидкості передачі даних, наприклад, у великих корпоративних мережах.



## 1.4. Стандарти пасивних оптичних мереж

Стандартизація є важливим елементом розвитку будь-якої галузі, в тому числі і оптичних мереж. У пасивних оптичних мережах існує кілька стандартів, які визначають технічні характеристики мереж та їхні параметри.

*ODN* (Optical Distribution Network) - це стандарт, який визначає архітектуру та параметри оптичних мереж з точки зору розподілу сигналу від центрального вузла до підключених абонентів. *ODN* розроблений для використання в *PON*-мережах і містить вимоги до характеристик кабелів, роз'ємів та інших компонентів мережі.

*G.984* - це стандарт ІТУ-Т, який визначає технічні вимоги до *GPON*-мереж. Стандарт визначає максимальну пропускну здатність мережі, максимальну кількість абонентів на один порт, а також інші параметри.

*G.987* - це стандарт ІТУ-Т, який визначає технічні вимоги до *WDM-PON*-мереж. Стандарт визначає параметри мережі, такі як максимальна довжина хвиль, кількість хвиль, які можна використовувати у мережі тощо.

*IEEE 802.3ah* - це стандарт, який визначає технічні вимоги до *EPON*-мереж. Стандарт визначає максимальну пропускну здатність мережі, максимальну кількість абонентів на один порт, а також інші параметри.

Крім того, існують інші стандарти, такі як *G.988*, *G.989*, *G.9701*, які визначають технічні характеристики оптичних мереж і компонентів, що використовуються в цих мережах [7].

Основні стандарти пасивних оптичних мереж, їх характеристики та переваги:

- *GPON* (Gigabit Passive Optical Network)

*GPON* є одним з найпоширеніших стандартів пасивних оптичних мереж. Він забезпечує передачу даних з швидкістю до 2,5 Гбіт/с вниз та до 1,25 Гбіт/с вгору. *GPON* базується на технології *WDM* (Wavelength Division Multiplexing), яка дозволяє використовувати різні довжини хвиль для передачі даних до терміналів абонентів. Це дозволяє ефективно використовувати пропускну

здатність оптичного волокна та забезпечувати високу швидкість передачі даних.

- EPON (Ethernet Passive Optical Network)

EPON є іншим популярним стандартом пасивних оптичних мереж. Він базується на технології Ethernet і забезпечує передачу даних з швидкістю до 1 Гбіт/с вниз та 1 Гбіт/с вгору. EPON використовує архітектуру з точкою доступу (Point-to-Multipoint), де оптична лінія з'єднує центральну станцію (OLT) з різними терміналами абонентів (ONT). Цей стандарт має широку підтримку від виробників мережевого обладнання і використовується в різних телекомунікаційних системах.

- XG-PON (10-Gigabit Passive Optical Network)

XG-PON є стандартом, який розроблений для передачі даних з високою швидкістю в пасивних оптичних мережах. Він забезпечує швидкість передачі даних до 10 Гбіт/с вниз та до 2,5 Гбіт/с вгору. XG-PON базується на технології TWDM (Time and Wavelength Division Multiplexing), що дозволяє використовувати різні хвилі та часові розділи для передачі даних. Цей стандарт надає значно більшу пропускну здатність порівняно з GPON та EPON, що дозволяє задовольнити вимоги до високошвидкісного Інтернету та послуг відео-потоків в мережах з великою кількістю абонентів [5].

Кожен з цих стандартів має свої переваги та особливості, і вибір певного стандарту залежить від потреб конкретної мережі та її вимог до швидкості передачі даних, пропускну здатності та іншого функціоналу. Важливою характеристикою пасивних оптичних мереж є їхня спроможність забезпечувати велику дальність передачі сигналу без підсилення, що робить їх ефективними для використання в розподільчих мережах великих міст та житлових комплексах [9].

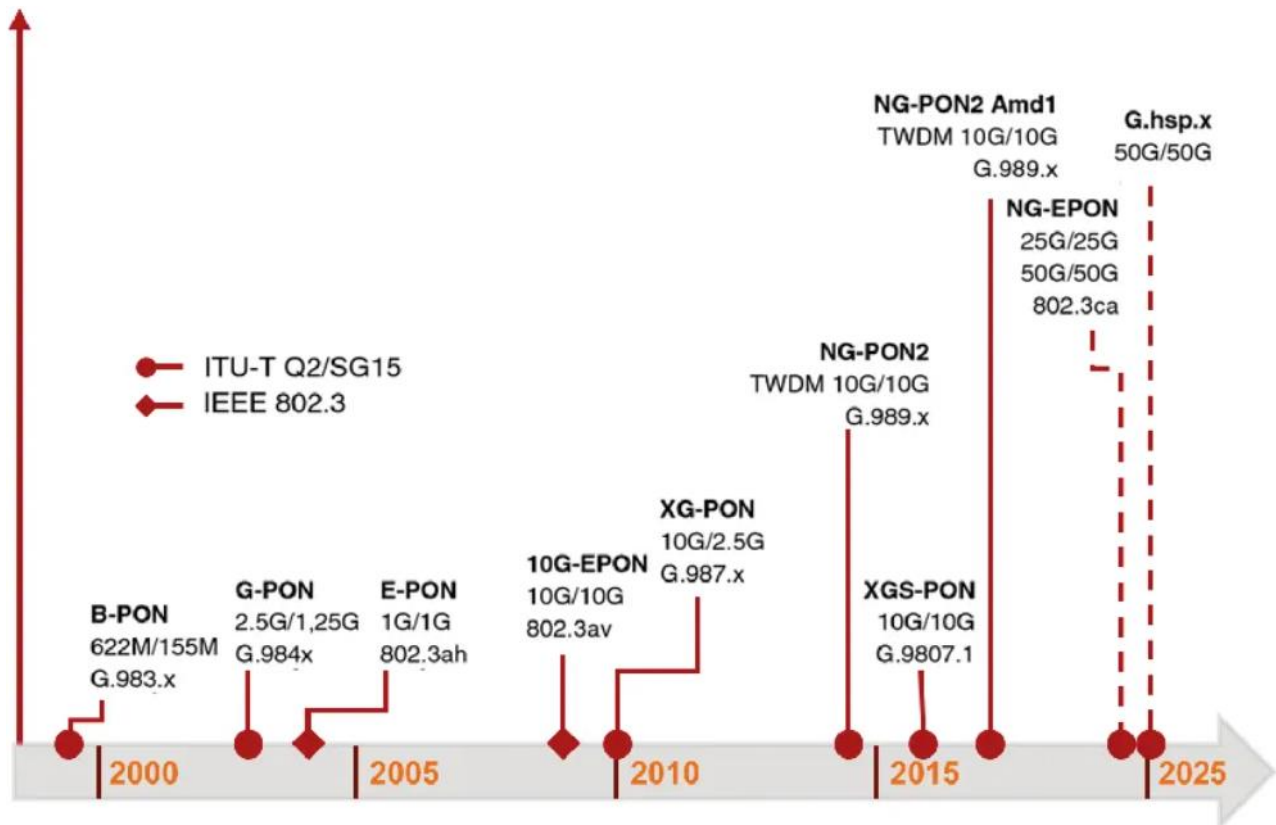


Рис.1.9. Історія пасивних оптичних мереж [9]

### Загальний принцип роботи PON:

- Центральна офісна станція (Central Office) - центральна офісна станція є центральним вузлом мережі, в якому знаходяться оптичні лінії від провайдера і обладнання для передачі та отримання сигналів.
- Оптичний лінійний розгалужувач (Optical Line Splitter) - це пасивний компонент, який розгалужує оптичний сигнал на кілька кінцевих пунктів. Він приймає вхідний сигнал від центральної офісної станції і розподіляє його до різних абонентів.
- Оптичні мережеві термінали (Optical Network Terminals, ONTs) - ONT розташовані у кінцевих пунктах мережі і підключені до оптичного лінійного розгалужувача. Вони приймають оптичний сигнал і перетворюють його на електричний для передачі по локальній мережі.
- Локальна мережа (Local Area Network, LAN) - ONT підключений до локальної мережі, що забезпечує зв'язок з комп'ютерами, телефонами або іншими пристроями у приміщенні абонента.

- Зворотний канал - для передачі даних в зворотньому напрямку, від абонента до центральної офісної станції, використовується технологія TDMA (Time Division Multiple Access) або інші методи мультиплексування, що дозволяють декільком абонентам використовувати одну оптичну мережу
- Метод розділення часу (Time Division Multiplexing, TDM) - для передачі даних від абонента до центральної офісної станції використовується метод TDM, який дозволяє кожному абоненту використовувати окремий часовий інтервал для передачі своїх даних. Це забезпечує декільком абонентам спільне використання оптичного каналу в зворотному напрямку.
- Розподілені оптичні волокна (Distributed Fiber Optic) - в пасивній оптичній мережі використовуються розподілені оптичні волокна, що означає, що окремі волокна можуть бути використані для кожного абонента без необхідності окремих оптичних ліній.
- Оптична комутація - у пасивних оптичних мережах використовуються оптичні комутатори, які забезпечують розподіл оптичних сигналів між абонентами. Ці комутатори не мають активних компонентів і працюють на основі пасивних елементів, таких як кварцеві розгалужувачі та волоконно-оптичні ретранслятори.
- Високий коефіцієнт розгалуження - пасивна оптична мережа здатна обслуговувати велику кількість абонентів завдяки високому коефіцієнту розгалуження оптичного лінійного розгалужувача. Це дозволяє ефективно використовувати оптичний канал та забезпечує економію витрат на волоконно-оптичну інфраструктуру.
- Робота на великі відстані - пасивна оптична мережа дозволяє передавати сигнали на значні відстані без втрати сигналу і якості передачі даних. Оптичні сигнали можуть пройти від центральної офісної станції до абонента на відстані до кількох кілометрів без необхідності підсилення сигналу.
- Економічність і простота установки - пасивні оптичні мережі є економічними і простими у встановленні. Вони не вимагають додаткових активних пристроїв, таких як ретранслюючі станції, що зменшує витрати на обладнання та установку. Крім того, використання пасивних компонентів

спрощує систему та забезпечує більшу надійність, оскільки відсутні активні елементи, які можуть вийти з ладу.

- Стандартизація - пасивні оптичні мережі підпорядковуються стандартам, які забезпечують сумісність між різними виробниками обладнання. Найбільш відомими стандартами для пасивних оптичних мереж є GPON (Gigabit Passive Optical Network), EPON (Ethernet Passive Optical Network), XG-PON (10-Gigabit Passive Optical Network) та інші.

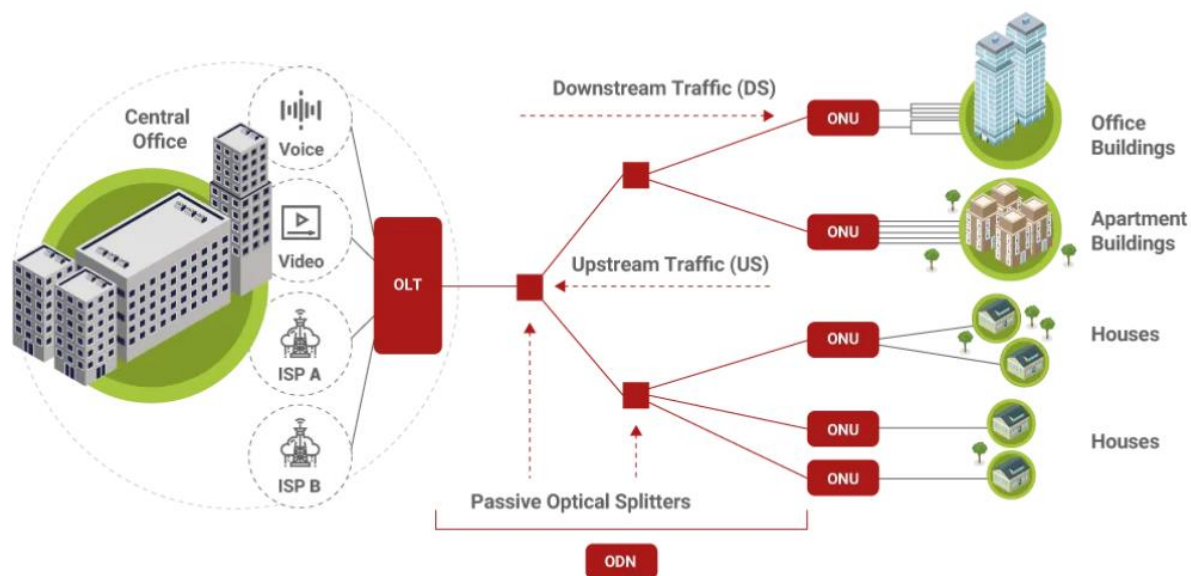


Рис. 1.10. Робота пасивної оптичної мережі і її компоненти

Зазначені принципи і характеристики пасивних оптичних мереж є загальними для більшості систем PON. Однак, слід зауважити, що існують різні покоління технологій PON з різними швидкостями передачі даних і характеристиками, такими як XG-PON, GPON, EPON, які використовуються в залежності від потреб мережі та доступності технологій у конкретному регіоні [5].

### 1.5. Стандарт GPON

GPON (Gigabit-capable Passive Optical Network) - це стандарт оптичної мережі, який використовується для підключення абонентів до мережі зі швидкістю до 2,5 Гбіт/с. GPON є одним з найбільш поширених стандартів в

оптичних мережах, оскільки він дозволяє забезпечити високу швидкість передачі даних та передачу послуг Triple Play (інтернет, телефонія та телебачення) на велику відстань. Стандарт GPON був розроблений організацією ITU-T (Міжнародний телекомунікаційний союз - сектор стандартизації телекомунікацій) і вперше опублікований в 2003 році в документі G.984. GPON є одним зі стандартів пасивної оптичної мережі (PON), тобто мережі, в яких сигнал передається без посередництва активних пристроїв, таких як роутери або комутатори. GPON має декілька технічних переваг перед іншими стандартами PON, такими як EPON (Ethernet PON) або BPON (Broadband PON). Зокрема, GPON дозволяє передавати дані на велику відстань (до 20 км) без підсилення сигналу, що забезпечує ефективне використання існуючої інфраструктури. Крім того, GPON має більшу пропускну здатність (до 2,5 Гбіт/с вниз та до 1,25 Гбіт/с вгору), що дозволяє передавати великі об'єми даних та високоякісне відео в режимі реального часу.

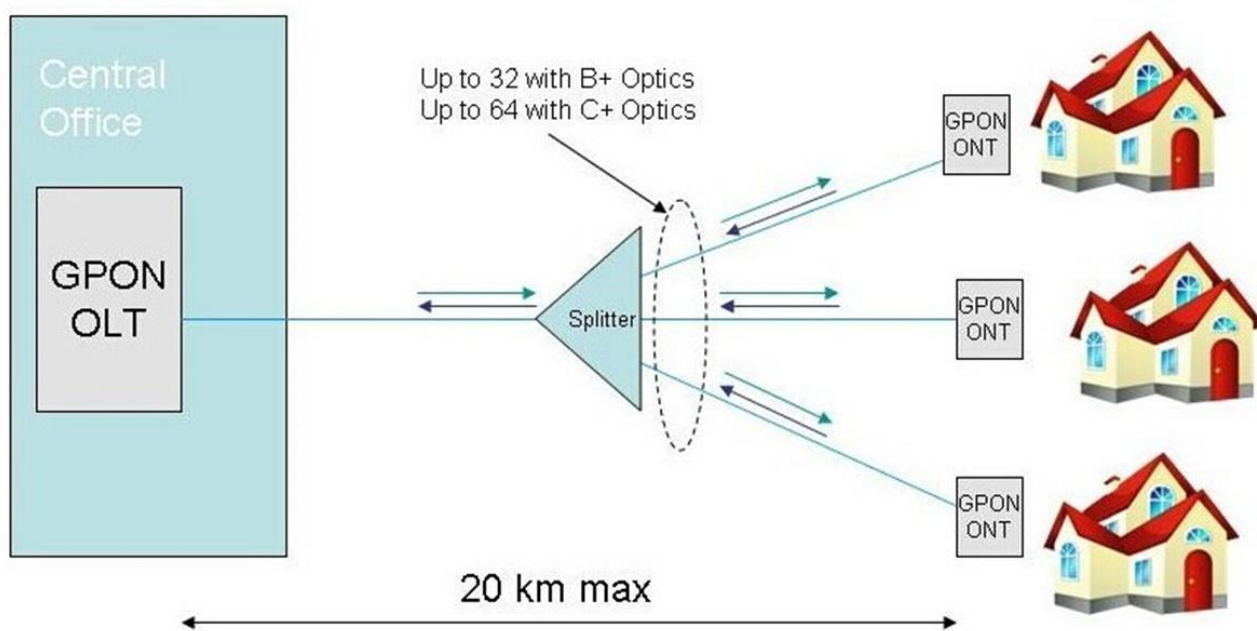


Рис. 1.11. Компоненти GPON OLT

Стандарт GPON включає в себе різні компоненти мережі, такі як оптичний лінійний термінал (OLT), який забезпечує з'єднання мережі зі світловими волокнами до мережі Інтернет, та оптичний мережевий термінал (ONT), який забезпечує зв'язок між абонентським обладнанням та мережею.

Крім того, в мережі GPON можуть бути використані інші пристрої, такі як оптичні розподільчі коробки (ODF), які забезпечують з'єднання кінцевих точок мережі зі світловими волокнами.

У мережі GPON дані передаються в формі оптичних сигналів, які передаються через світлові волокна. При цьому сигнал ділиться на дві частини: вгору та вниз. Для передачі сигналів вгору використовується довговічна хвильова довжина (1490 нм), а для передачі сигналів вниз - хвильова довжина (1310 нм). Така техніка передачі даних дозволяє забезпечувати високу швидкість передачі даних та ефективну роботу мережі. Однією з найбільш важливих переваг GPON є те, що цей стандарт дозволяє забезпечувати послуги Triple Play (інтернет, телефонія та телебачення) на велику відстань. Це означає, що абоненти можуть отримувати високоякісний доступ до інтернету, телефонії та телебачення на великій відстані від центральної станції. Крім того, GPON є економічно ефективним рішенням для операторів зв'язку, оскільки він дозволяє зменшити витрати на установку та обслуговування активних пристроїв, таких як роутери або комутатори.

## **1.6. Стек протоколів та формат кадрів**

Стек протоколів в GPON складається з трьох рівнів:

1. Фізичний рівень (Physical layer, PON) - цей рівень відповідає за передачу даних через оптичні канали з використанням модуляції і демодуляції світла. На цьому рівні використовуються такі протоколи, як GPON Encapsulation Method (GEM) та General Purpose Communication System 2 (GPCS2).

2. Канальний рівень (Data link layer, MAC) - цей рівень відповідає за контроль доступу до каналу і управління передачею даних між OLT та ONT. На цьому рівні використовуються протоколи, такі як GTC (GPON Transmission Convergence) та MPCP (Multi-Point Control Protocol).

3. Мережевий рівень (Network layer) - цей рівень відповідає за маршрутизацію даних і управління мережевими ресурсами. На цьому рівні

використовуються такі протоколи, як IGMP (Internet Group Management Protocol), GARP (Generic Attribute Registration Protocol) та GMP (Generic Management Protocol).

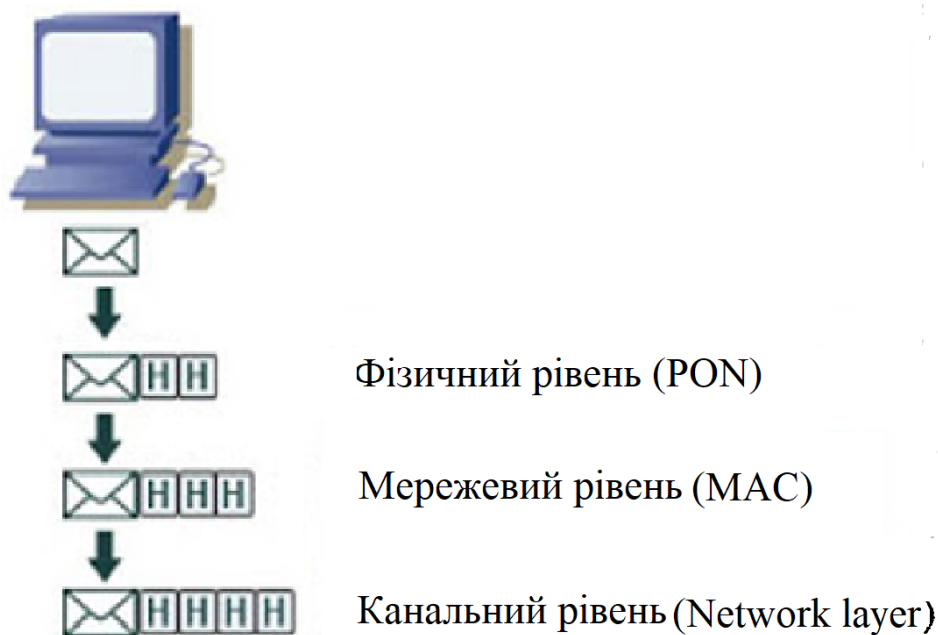


Рис. 1.12. Стек протоколів в GPON

Формат кадрів GPON визначається протоколом GTC (GPON Transmission Convergence), який використовує два типи кадрів: Downstream (DS) frames: ці кадри передаються від OLT до ONT і містять керуючу та корисну інформацію. Upstream (US) frames: ці кадри передаються від ONT до OLT і містять корисну інформацію та інформацію про контроль доступу до каналу. Кожен кадр GPON складається з заголовка та корисної навантаження (payload), яке містить корисну інформацію, таку як дані або керуючі повідомлення. Заголовок містить інформацію про формат кадру, тип кадру та інші параметри, необхідні для правильної передачі даних.

У заголовку кадру DS міститься 64-бітове поле Preamble, яке використовується для синхронізації приймача з передавачем. Далі слідує поле для ідентифікації сервісу, довжини корисного навантаження та контрольної суми.

У заголовку кадру US міститься 16-бітове поле для ідентифікації ONT та інші поля для передачі контрольної інформації, такої як номер порту ONT,



призначення тощо. Також в кадрі US міститься 16-бітове поле Alloc\_ID, яке вказує на певний ресурс на OLT, який призначений для передачі даних. Заголовок кадру в GPON є стандартизованим та міститься на фізичному та каналному рівнях стеку протоколів. Всі кадри передаються через оптичний канал та обробляються на OLT та ONT для забезпечення коректної передачі даних в мережі GPON.

## 1.7. Аналіз трафіку GPON

Аналіз трафіку є важливим етапом у плануванні, налагодженні та підтримці мережі GPON. Аналізуючи трафік, можна виявити можливі проблеми з мережею та швидко їх виправити. У цьому розділі розглянуто деякі методи аналізу трафіку GPON.

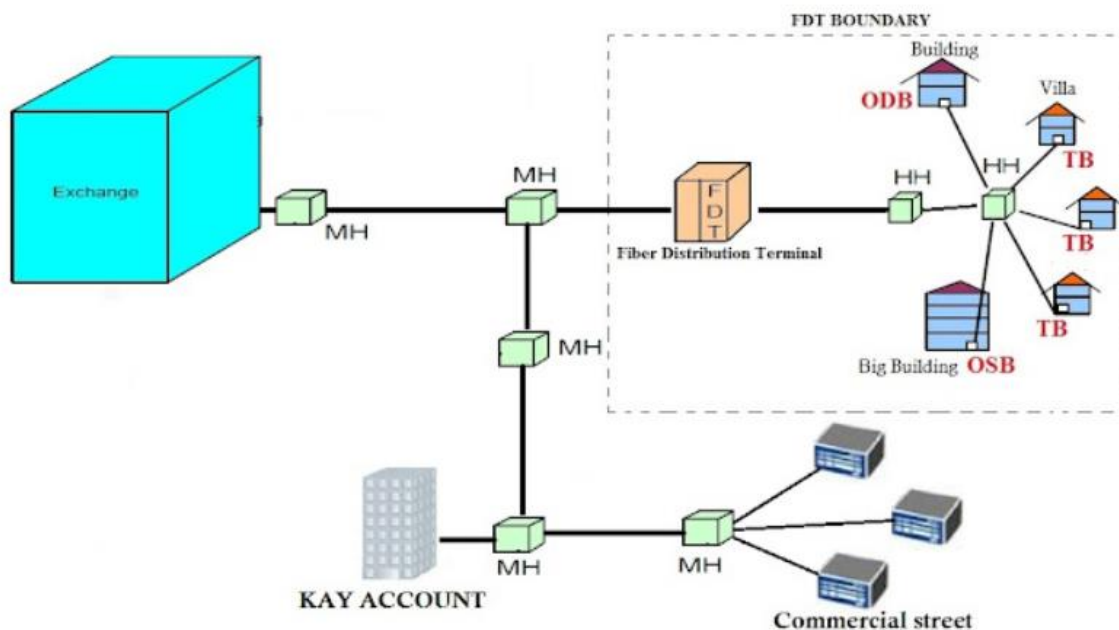


Рис. 1.13. Потік трафіку в мережі GPON FTTH [12]

### 1.7.1. Відстеження кадрів

Один з найпоширеніших методів аналізу трафіку GPON полягає у відстеженні кадрів, що проходять через мережу. Це можна зробити з використанням програмного забезпечення для аналізу трафіку, такого як Wireshark або tcpdump. Ці програми дозволяють захоплювати трафік, який

проходить через мережевий інтерфейс, і аналізувати його в режимі реального часу, або зберігати його для подальшого аналізу.

Під час відстеження кадрів можна виявити різні проблеми мережі, такі як затримки у передачі даних, помилки передачі, перевантаження каналу тощо. Також можна перевірити, чи працюють правильно протоколи, які використовуються в мережі GPON.

### **1.7.2. Моніторинг ресурсів**

Ще один метод аналізу трафіку GPON полягає у моніторингу ресурсів мережі. Це можна зробити з використанням спеціальних програм, таких як Cacti, або Nagios. Програми дозволяють відстежувати використання ресурсів мережі, такі як: пропускна здатність, завантаження каналів, використання пам'яті та процесора на пристроях мережі.

Моніторинг ресурсів дозволяє виявляти проблеми зі збоєм мережі, перевантаженням та несправностями на пристроях мережі, що може сприяти швидкому їх виправленню.

### **1.7.3. Аналіз протоколів**

Третій метод аналізу трафіку GPON полягає у детальному аналізі протоколів, що використовуються в мережі. Це можна зробити з використанням спеціальних програм, таких як Wireshark або tcpdump. Ці програми дозволяють відстежувати і аналізувати роботу різних протоколів, таких як: Ethernet, IP, TCP, UDP, HTTP тощо.

Аналіз дозволяє виявляти проблеми з роботою окремих протоколів, такі як помилки в передачі даних або несправності в налаштуваннях протоколу. Цей метод також дозволяє виявити можливі загрози безпеки мережі, такі як атаки з використанням вразливостей в протоколах.

Аналіз трафіку GPON є важливим етапом у підтримці та налагодженні мережі. Використання різних методів аналізу дозволяє виявляти різні проблеми з мережею та швидко їх виправляти.

## 1.8 FTTB

Технологія FTTB передбачає прокладання оптичного кабелю до місця, який, у свою чергу, з'єднується з мідним кабелем, який з'єднується з мережею користувача. Простіше кажучи, FTTB — це підведення волоконно-оптичних кабелів у безпосередній близькості від будівлі.

FTTB — надійне та швидке інтернет-рішення для багатоквартирних будинків, включаючи офіси та квартири. На відміну від технології DSL по мідному дроту, FTTB відомий вищою швидкістю передачі та стабільним з'єднанням [10].

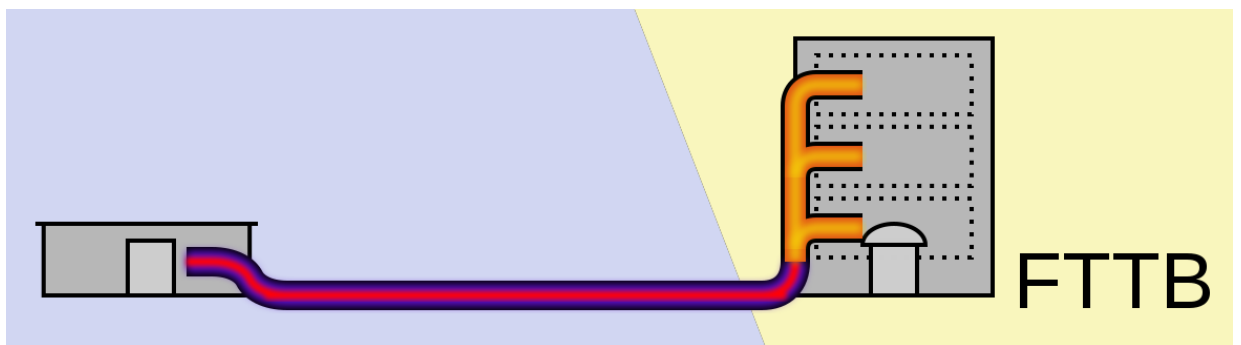


Рис. 1.14. FTTB означає "Fiber to the Building" (волоконно-оптичний кабель до будівлі) [2]

Основні характеристики і переваги FTTB:

- Підвищена швидкість передачі даних.

Використання оптичного волокна дозволяє досягти високих швидкостей передачі даних, що значно перевершує традиційні медіа, такі як мідні кабелі.

- Висока пропускна здатність.

FTTB забезпечує велику пропускну здатність для одночасного використання багатьох послуг, таких як Інтернет, телевізійне мовлення, телефонія тощо.

- Менша деградація сигналу.

Оптичні кабелі мають меншу деградацію сигналу порівняно з мідними кабелями, тому забезпечують кращу якість зв'язку і стабільність сигналу.

- Велика відстань передачі.

Оптичне волокно дозволяє передавати сигнал на значні відстані без втрати сигналу.

- Зниження впливу електромагнітних перешкод.

Оптичне волокно незалежне від електромагнітних перешкод, що дозволяє забезпечити стабільний сигнал навіть в електромагнітно шумних середовищах.

- Масштабованість.

FTTB є масштабованою технологією, яка може бути легко розширена для включення більшої кількості підключених користувачів.

- Підтримка послуг Triple Play.

FTTB дозволяє надавати послуги "трійного пакету" (Triple Play), який включає Інтернет, телевізійне мовлення та телефонію. Завдяки великій пропускній здатності та високій якості з'єднання, користувачі можуть одночасно користуватися цими послугами без перебоїв.

- Зменшення інфраструктури в будівлі.

FTTB дозволяє скоротити кількість мідних кабелів та активного обладнання всередині будівлі. Це забезпечує більш ефективне використання простору та зниження вартості підтримки мережі.

- Можливість використання стандартних Ethernet-пристроїв.

FTTB підтримує використання стандартних Ethernet-пристроїв, що робить його більш сумісним із наявною мережевою інфраструктурою.

- Забезпечення симетричного та асиметричного з'єднання.

FTTB може підтримувати як симетричні (однакова швидкість завантаження та відвантаження), так і асиметричні (різна швидкість завантаження та відвантаження) з'єднання, в залежності від потреб користувачів.

- Підтримка мультисервісних мереж.

FTTB дозволяє використовувати одну оптичну мережу для надання різних сервісів, таких як Інтернет, IPTV, відеоспостереження тощо.

- Можливість майбутнього розширення.

FTTB є гнучкою технологією, яка може бути оновлена або розширена для використання більш продуктивних стандартів і пристроїв у майбутньому.

FTTB (Fiber to the Building) - є ефективним рішенням для надання швидкого та стабільного зв'язку в будівлях або комплексах будівель. Основна ідея полягає в тому, що оптичний кабель прокладається до будівлі, а потім розподіляється всередині неї, забезпечуючи високошвидкісне з'єднання з мережею передачі даних.

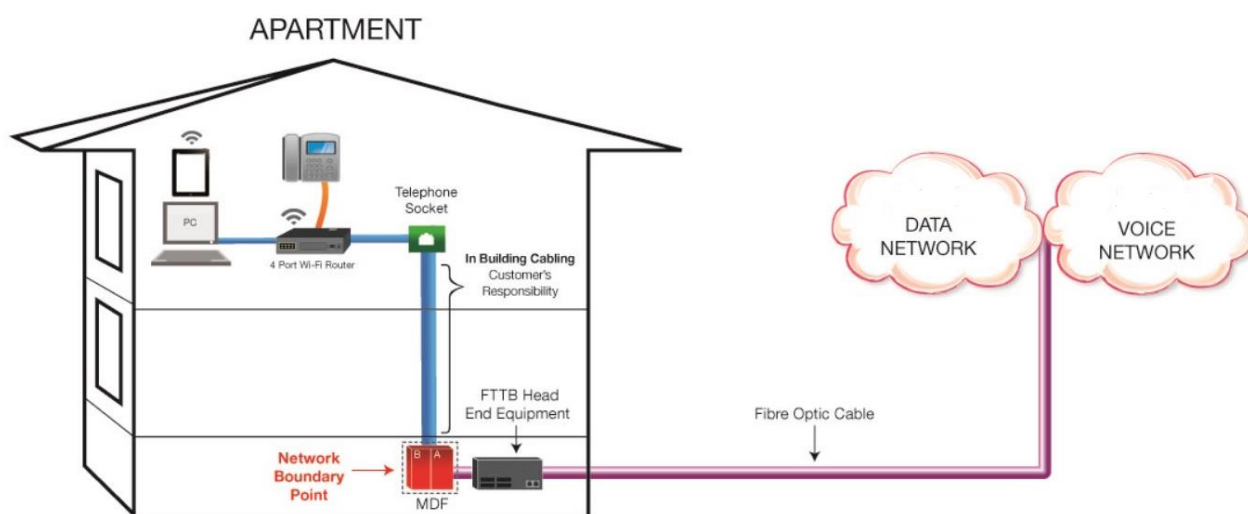


Рис. 1.15. Схема мережі FTTB [11]

Користувачі, які обирають FTTB, будуть у захваті, дізнавшись, що швидкість передачі даних може досягати 1 Гбіт/с і більше. Така висока швидкість передачі даних дозволяє їм отримувати зіркові послуги Інтернету та зв'язку. Більш надійний зв'язок забезпечується більшою стійкістю оптичного кабелю до електромагнітних впливів і перешкод. Користувачі можуть одночасно використовувати більший спектр послуг із покращеною продуктивністю мережі FTTB.

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

У результаті розгляду розділу 1 було отримано детальне уявлення про пасивні оптичні мережі доступу. Були розглянуті різні аспекти, включаючи технологію FTТх, різновиди пасивних оптичних мереж, стандарти, стек протоколів та формат кадрів у мережі GPON, методи аналізу трафіку та технологію FTТВ. Отримані знання дозволяють розуміти принципи роботи та переваги пасивних оптичних мереж доступу для забезпечення швидкого та стабільного доступу до інтернету, а також передачі великої кількості даних.

Оптичні мережі доступу, зокрема технологія FTТВ, використовуються для підключення будівель до оптичної інфраструктури провайдера. Це дозволяє забезпечити високу швидкість передачі даних і надійне з'єднання для користувачів. Однією з переваг технології FTТВ є відсутність необхідності використання активного обладнання, що сприяє зниженню вартості розгортання та підтримки мережі. Крім того, FTТВ дозволяє використовувати існуючу інфраструктуру будівлі, таку як мідні кабелі або внутрішню структуру, для розподілу сигналу до кінцевих користувачів. Розділ 1 надає загальний огляд пасивних оптичних мереж доступу, починаючи від визначення мереж доступу і їх ролі в забезпеченні зв'язку між провайдерами послуг і кінцевими користувачами. Було детально розглянуто технологію FTТх, яка використовує оптичне волокно для передачі сигналу до кінцевих користувачів. Розглянуто різновиди пасивних оптичних мереж, такі як PON і P2P, та їх відмінності. Також були представлені основні стандарти пасивних оптичних мереж, зокрема стандарт GPON, який забезпечує високу швидкість передачі даних і підтримує багато користувачів одночасно. Було розглянуто стек протоколів та формат кадрів у мережі GPON, що дозволяє ефективно передавати і керувати даними.

Також було наведено методи аналізу трафіку GPON, які дозволяють виявляти проблеми в мережі і забезпечувати її ефективну роботу. Аналіз трафіку допомагає виявити незвичайні патерни, помилки та затримки, що сприяє покращенню якості обслуговування.

У цілому, розділ 1 надає обсяжний огляд пасивних оптичних мереж доступу, їх різновидів, стандартів та технологій. Він допомагає зрозуміти переваги та можливості цих мереж. Пасивні оптичні мережі доступу, зокрема технологія FTTx, виявилися ефективним рішенням для забезпечення швидкого та стабільного інтернет-доступу для користувачів.

## РОЗДІЛ 2

### ТЕХНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ПРОЄКТОВАНОЇ МЕРЕЖІ ДОСТУПУ FTTB GPON

#### 2.1. Розрахунок максимальної та мінімальної довжини регенераційної ділянки GPON

Розрахунок максимальної та мінімальної довжини регенераційної ділянки GPON

Вхідні дані:

Довжина кабелю: 250 м

Максимальний оптичний бюджет: 28дБ

Мінімальний оптичний бюджет: 5дБ

Розрахунок втрати сигналу на кабелі:

Припустимо, що втрата сигналу на кабелі становить 0,35дБ/км.

Тепер ми можемо використати отримані значення для визначення максимальної та мінімальної довжини регенераційної ділянки.

Максимальна довжина регенераційної ділянки ( $L_{max}$ ):

$$L_{max} = (P_{rx} - P_{min}) / (\alpha + LS) \quad (2.1)$$

де:

$P_{rx}$  - мінімальна потужність оптичного сигналу на вході регенераційної ділянки (в дБм);

$P_{min}$  - мінімальна потужність оптичного сигналу, прийнятого ONT (в дБм);

$\alpha$  - загасання на один кілометр волоконного кабелю (в дБ/км);

$LS$  - загасання на регенераційній ділянці (в дБ).

Мінімальна довжина регенераційної ділянки ( $L_{min}$ ):

$$L_{min} = (P_{rx} - P_{max}) / (\alpha + LS) \quad (2.2)$$

де:



$P_{\max}$  - максимальна потужність оптичного сигналу, прийнятого ONT (в дБм).

$$\text{Максимальна довжина} = (28 \text{ дБ} - 0,35 \text{ дБ/км} * 250 \text{ м}) / 0,35 \text{ дБ/км}$$

$$\text{Максимальна довжина} = (28 - 0,35 * 0,250) / 0,35$$

$$\text{Максимальна довжина} = (28 - 0,0875) / 0,35$$

$$\text{Максимальна довжина} \approx 79,71 \text{ м}$$

Отримали максимальну довжину регенераційної ділянки GPON приблизно 79.71 метр.

Тепер розрахуємо мінімальну довжину регенераційної ділянки GPON:

Мінімальна довжина = (Мінімальний оптичний бюджет - Втрати сигналу на кабелі) / Втрати сигналу на кабелі

$$\text{Мінімальна довжина} = (5 \text{ дБ} - 0,35 \text{ дБ/км} * 250 \text{ м}) / 0,35 \text{ дБ/км}$$

$$\text{Мінімальна довжина} = (5 - 0,35 * 0,250) / 0,35$$

$$\text{Мінімальна довжина} = (5 - 0,0875) / 0,35$$

$$\text{Мінімальна довжина} \approx 14,89 \text{ м}$$

Отримали мінімальну довжину регенераційної ділянки GPON приблизно 14.89 метр.

Таким чином, для заданих вхідних даних максимальна довжина регенераційної ділянки GPON становить близько 79.71 м, а мінімальна довжина - 14.89 м.



- 1 Центральний (осьовий) елемент.
- 2 Оптичне волокно.
- 3 Пластикові модулі для оптичних волокон.
- 4 Плівка з гідрофобним гелем.
- 5 Поліетиленова оболонка.
- 6 Броня.
- 7 Зовнішня поліетиленова оболонка.

Рис. 2.1. Компоненти оптоволоконна для PON FTTH

## 2.2. Розрахунок практичного оптичного бюджету GPON

Загальний оптичний бюджет GPON дозволяє забезпечити стійку та надійну передачу сигналу в мережі, забезпечуючи якісне обслуговування клієнтів та забезпечуючи ефективне управління мережею з мінімальними втратами сигналу та забезпечуючи надійну передачу даних на великі відстані.

Отримані дані можуть бути використані розробниками та операторами мереж для планування та розгортання GPON мереж, визначення оптимальної конфігурації спліттерів та довжини кабелю, а також для забезпечення заданої якості передачі сигналу та максимальної дистанції покриття мережі.

При розрахунку оптичного бюджету GPON використовуються наступні формули:

Для розрахунку оптичного бюджету на довжині хвилі 1310 нм:

Оптичний бюджет = Потужність передавача (SFP OLT transceiver) - (Загасання на конекторах + Загасання на волокні + Загасання на зварюванні волокна + Загасання на сплітерах)

Для розрахунку оптичного бюджету на довжині хвилі 1550 нм:

Оптичний бюджет = Потужність передавача (SFP OLT transceiver) - (Загасання на конекторах + Загасання на волокні + Загасання на зварюванні волокна + Загасання на сплітерах)

Розрахунок оптичного бюджету:

- OLT потужність: +5 dBm
- ONU чутливість: -27 dBm
- Довжина кабелю: 250м.

Приклад розрахунку оптичного бюджету GPON для спліттера з 8 портами:

- Загасання на спліттері: 10.7 dB (з таблиці для 1x8 спліттера).
- Загасання на конекторах (приблизне значення): 0.5 dB.
- Загасання на волокні: 0.36/0.24 dB/km на довжинах хвиль 1310/1490 нм.
- Загасання на зварюванні волокна (приблизне значення): 0.05 dB.

Розрахунок оптичного бюджету GPON для зварних спліттерів при заданій оптичній потужності передавача +5 dBm

Зварний сплітер	Довжина кабелю (км)	Оптичний бюджет 1310 нм (dB)	Оптичний бюджет 1550 нм (dB)
1*2	0,25	4.5	4.76
1*3	0,25	4.14	4.4
1*4	0,25	3.78	4.04
1*6	0,25	3.06	3.32
1*8	0,25	2.34	2.6
1*12	0,25	1.42	1.68
1*16	0,25	1.06	1.32
1*24	0,25	0.76	1.02
1*32	0,25	0.49	0.75
1*64	0,25	0.32	0.58
1*128	0,25	0.15	0.41

В результаті розрахунків встановлено, що загальні втрати в мережі GPON складаються з втрат на сплітерах та втрат на кабелі. Загальні втрати на сплітерах залежать від типу сплітера та розмірів розгалуження, вказаних у таблиці 2.1. . Загальні втрати на кабелі визначаються за допомогою втрат на одиницю довжини волокна та фактичної довжини кабелю.

Отримані результати розрахунків є важливими для встановлення межі максимальної дистанції передачі сигналу у GPON мережі з заданими параметрами передавача та приймача. Розрахований оптичний бюджет GPON дає змогу оцінити, наскільки стійкою та ефективною буде мережа з урахуванням втрат на сплітерах та кабелі.

### 2.3. Розрахунок сумарного загасання лінії

При розрахунку сумарного загасання лінії варто враховувати різні фактори, які можуть впливати на втрати сигналу. Наприклад, втрати волокна залежать від його типу, довжини та якості. Існують різні типи оптичних кабелів, такі як одномодові або багатомодові, і кожен з них має свої характеристики втрат сигналу. Також враховуються втрати на розгалужувачах, які використовуються для підключення багатьох абонентів до одного оптичного волокна.

Сумарне загасання лінії є важливим параметром, який впливає на якість передачі сигналу в оптичній мережі FTTB GPON. Воно визначається сумою всіх втрат сигналу, які виникають на шляху передачі від оптичного лінійного терміналу (OLT) до абонентського обладнання (ONU).

$$A_{\Sigma} = L * L_z + A_v * N_v + A_g * N_g + A_h + R, \text{ дБ} \quad (2.3)$$

де:

$L$  – згасання сигналу на довжині 1310 нм;

$L_z$  – сумарна довжина волокна;

$A_v$  – на зварному з'єднанні;

$N_v$  – кількість зварних з'єднань;

$A_g$  – згасання сигналу на роз'ємних з'єднаннях;

$N_g$  – кількість цих з'єднань;

$A_h$  – сумарне згасання на розгалужувачах;

$R$  – експлуатаційний запас;

Параметри, які впливають на втрати в лінії передачі:

- коефіцієнт загасання волокна для GPON (G.657A) на довжині хвилі 1310 нм – 0,35 дБ/км;
- нероз'ємні з'єднання (зварні) – 0,1 дБ;
- роз'ємні з'єднання (конектори) – 0,5 дБ;
- сплітери: 1×2 – 3 дБ, 1×4 – 7 дБ;
- експлуатаційний запас (маржа запасу) – 5 дБ;

З відси:

$$A_{\Sigma} = 0.35 * 0.5 + 0.1 * 6 + 0.5 * 6 + (3 + 7) + 5 = 18.8 \text{ дБ}$$

Найгірші втрати на лінії не перевищують бюджету втрат (18.8 дБ < 35 дБ), тому ця умова буде використовуватися також до інших ділянок, де втрати сигналу є меншими.

#### 2.4. Розрахунок надійності волоконно-оптичної лінії

Розрахунок надійності волоконно-оптичної лінії включає в себе оцінку ймовірності безвідмовної роботи системи на основі параметрів, які впливають на надійність та міцність лінії. Для розрахунку надійності волоконно-оптичної лінії потрібно врахувати декілька ключових факторів, таких як надійність компонентів, втрати сигналу та інші фактори впливу.

Розрахунок надійності системи GPON FTTB може базуватися на формулі "математичного сподівання відмов".

Для цього використовую наступні дані:

Кількість компонентів в системі: 8

Ймовірність відмови кожного компонента: 0.02 (або 2%)

Час на відмову (MTTF): 10000 годин

Час на відновлення (MTTR): 4 години

Спочатку, розраховую надійність кожного компонента за формулою:

$$R_i = e^{(-\lambda_i * MTTF_i)} \quad (2.4)$$

де  $\lambda_i$  - інтенсивність відмов компонента,  $MTTF_i$  - час на відмову компонента.

Використовуючи дані, отримаємо надійність кожного компонента:

$$R_i = e^{(-0.02 * 10000)} \approx 0.1353$$

Тепер, для розрахунку надійності всієї системи, використовую формулу для математичного сподівання відмов:

$$R_{sys} = R_1 * R_2 * \dots * R_n \quad (2.5)$$

де  $R_1, R_2, \dots, R_n$  - надійність кожного компонента системи.

Підстави значення і отримуємо надійність системи:

$$R_{sys} = 0.1353^8 \approx 0.000012$$

Отже, за даними припущеннями, надійність цієї системи GPON FTTB становить приблизно 0.000012 або 0.0012%.

## 2.5. Розрахунок пропускної спроможності

Розрахунок пропускної спроможності в мережі передачі даних залежить від кількох факторів, включаючи швидкість передачі даних, протоколи, пропускну здатність компонентів мережі та інші чинники. Для проведення розрахунку пропускної спроможності.

Я розглянув ситуацію з мережею, що складається з двох комутаторів (Switch A і Switch B) та швидкістю передачі даних 1 Gbps (гігабіт в секунду).

Швидкість передачі даних: 1 Gbps

Протоколи: Використовую Ethernet.

Пропускна здатність компонентів мережі:

Switch A: 10 портів, кожен з пропускну здатністю 1 Gbps.

Switch B: 8 портів, кожен з пропускну здатністю 1 Gbps.

Потоки даних: Передається один потік даних.

Розрахунок пропускної спроможності:

Пропускна здатність Switch A: 10 портів \* 1 Gbps = 10 Gbps

Пропускна здатність Switch B: 8 портів \* 1 Gbps = 8 Gbps

Оскільки найменша пропускна здатність у цій мережі є 8 Gbps (від Switch B), це стає обмеженням для пропускної спроможності мережі.

Таким чином, пропускна спроможність цієї мережі з використанням даних параметрів становить 8 Gbps.

## 2.6. Розрахунок навантаження на порт OLT в ГНН

Розрахунок навантаження на порт OLT (Optical Line Terminal) в ГНН (Годину Найбільшого Навантаження) включає визначення обсягу трафіку, який буде передаватися через цей порт протягом найбільш навантаженого періоду доби. Цей розрахунок дозволяє визначити необхідні ресурси і ємність порту для забезпечення оптимальної продуктивності мережі.

Навантаження на порт OLT в ГНН використав наступні значення параметрів:

- Пропускна здатність каналу ( $T_{BW}$ ) = 10 Гбіт/с
- Пропускна здатність одного ONU ( $P_{ONU}$ ) = 1 Гбіт/с
- Кількість ONU на порту OLT ( $N_{ONU}$ ) = 32
- Кількість активних підключень на ONU ( $N_{AP}$ ) = 8
- Тривалість ГНН ( $T_{GNN}$ ) = 1 година = 60 хвилин

Формула для розрахунку навантаження на порт OLT в ГНН буде мати наступний вигляд:

$$\text{Load\_OLT} = (P_{ONU} * N_{ONU} * N_{AP} * T_{GNN}) / T_{BW} \quad (2.6.1)$$

Підставив відповідні значення:

$$\text{Load\_OLT} = (1 \text{ Гбіт/с} * 32 * 8 * 60 \text{ хв}) / 10 \text{ Гбіт/с}$$

Виконавши обчислення, отримав:

$$\text{Load\_OLT} = 15.36$$

Отже, навантаження на порт OLT в ГНН становить 15.36 одиниць.

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

У розділі 2 "Технічний розрахунок проєктованої мережі доступу FTTB GPON" були проведені розрахунки, що спрямовані на визначення ключових параметрів та характеристик мережі. Ці розрахунки включали в себе максимальну та мінімальну довжину регенераційної ділянки GPON, практичний оптичний бюджет GPON, сумарне загасання лінії, надійність

волоконно-оптичної лінії, пропускну спроможність та навантаження на порт OLT в ГНН.

Ці розрахунки є необхідним етапом при проектуванні мережі доступу FTTB GPON, оскільки дозволяють забезпечити ефективну передачу сигналу, надійність зв'язку та оптимальне використання ресурсів.

В результаті проведених розрахунків було встановлено, що мережа доступу FTTB GPON зможе працювати з необхідною якістю зв'язку та передачею даних. Максимальна та мінімальна довжина регенераційної ділянки GPON були визначені таким чином, щоб забезпечити ефективну передачу сигналу без деградації. Оптичний бюджет та сумарне загасання лінії були розраховані, враховуючи втрати сигналу під час передачі та з'єднання. Розрахунок надійності волоконно-оптичної лінії дозволив оцінити стійкість мережі до випадкових збоїв та втрати сигналу. Пропускна спроможність та навантаження на порт OLT в ГНН були визначені таким чином, щоб задовольняти потреби підключених користувачів та забезпечувати ефективну роботу мережі.

Отже, розділ 2 надає систематичний підхід до розрахунку технічних параметрів мережі доступу FTTB GPON. Ці розрахунки виявляються важливими для забезпечення стабільної та надійної роботи мережі, а також для виконання вимог користувачів щодо якості зв'язку та пропускну спроможності. Вони дозволяють уникнути перевантаження мережі, погіршення якості зв'язку та забезпечують підтримку оптимальної продуктивності мережі доступу FTTB GPON.



## РОЗДІЛ 3

### МЕРЕЖА ДОСТУПУ FTTB НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ GPON

#### 3.1. Вибір станційного та абонентського обладнання.

Одним із важливих етапів проектування мережі доступу FTTB GPON є вибір станційного та абонентського обладнання. Правильний вибір обладнання забезпечує ефективну та надійну роботу мережі, а також задовольняє потреби користувачів у високошвидкісному інтернеті.

При виборі обладнання я звернув увагу на такі фактори:

- Відповідність обладнання вимогам та стандартам GPON.
- Підтримка високої швидкості передачі даних та пропускну здатності.
- Масштабованість системи, щоб мати можливість розширювати мережу у майбутньому.
- Надійність та стабільність роботи обладнання.
- Функціональність, яка включає можливості маршрутизації, управління трафіком, безпеку та інші важливі функції.

Для мережі доступу FTTB GPON зазвичай використовуються наступні елементи станційного та абонентського обладнання:

- Станційне обладнання (OLT - Optical Line Terminal)
- Спліттер (Splitter)
- Абонентське обладнання (ONT - Optical Network Terminal або ONU - Optical Network Unit)
- Оптичні кабелі

*OLT* - центральний вузол мережі, який забезпечує керування та управління оптичною лінією. OLT відповідає за встановлення та керування з'єднаннями з абонентським обладнанням.

*ONT* - це пристрої, які підключаються до кінцевих абонентських точок і забезпечують перетворення оптичного сигналу на сигнал, зрозумілий для

підключених пристроїв (наприклад, комп'ютери, телефони, телевізори). ONT або ONU можуть бути розміщені у приміщенні абонента або на вуличній стороні будівлі, залежно від конфігурації мережі.

*Спліттер* - пристрій, який використовується для розбиття оптичного сигналу на кілька шляхів, щоб забезпечити підключення до багатьох абонентів. Спліттер може бути пасивним (без живлення) та розташовуватися у розподільній скриньці чи на вулиці.



Рис. 3.1. Термінал оптичної лінії GCOM OLT GPON GL5610-16P

Термінал оптичної лінії GCOM OLT GPON GL5610-16P призначений для встановлення мереж GPON у різних типах населених пунктів, багатоквартирні будинки та приватний сектор як в місті, так і в сільській місцевості. Завдяки своїм компактним розмірам, його легко встановити в невеликих телекомунікаційних шафах або економити місце в стійці.

Цей термінал має високий коефіцієнт поділу PON дерева - до 1:128, що дозволяє підключати до 2048 абонентських пристроїв. Він сумісний з багатьма ONT різних виробників і підтримує резервне живлення. Технологічні рішення, застосовані у терміналі GPON OLT від GCOM, забезпечують високу стійкість до відмов та сумісність з обладнанням різних брендів. Вирішення також підтримує протоколи маршрутизації та надається з офіційною гарантією та підтримкою від виробника.

Термінал оптичної лінії GCOM OLT GPON GL5610-16P є передовим обладнанням, що пропонує ефективне рішення для встановлення мереж

доступу PON. Його висока функціональність, надійність та сумісність з іншими пристроями роблять його оптимальним вибором для побудови мереж ФТТВ GPON [13] .

Таблиця 3.1.

Характеристики GCOM OLT GPON GL5610-16P

Найменування характеристики	Значення
Кількість PON-портів:	16
Мережеві інтерфейси	GPON - 16 10GE SFP+ - 2 GE COMBO - 4
Сумарна ємність PON портів:	256 абонентів
Технологія	GPON
Живлення:	AC: вхід 90 ~ 264 В 47/63 Гц DC: вхід 36 В ~ 72 В
Безпека:	Anti-ARP-spoofing Anti-ARP-flooding IP Source Guard create IP+VLAN+MAC+Port binding Port Isolation MAC address binding to the port and MAC address filtering IEEE 802.1x and AAA/Radius authentication Support the control layer to prevent a variety of DOS attacks
Кількість портів Uplink	8
Порти:	1 Гбіт/с, 10 Гбіт/с

OLT зазвичай встановлюють в спеціальному приміщенні, яке називається технічним приміщенням або серверним центром. Таке приміщення може бути розташоване у будівлі, яка обслуговує мережу ФТТВ GPON, або в окремому приміщенні, що знаходиться в близькій відстані.

Технічне приміщення зазвичай обладнане спеціальними раціонально розміщеними стелажми для монтажу станційного обладнання, включаючи OLT. У цьому приміщенні розміщуються також комутаційні панелі, джерела живлення, системи охолодження та інші необхідні елементи інфраструктури.

Оптимальне розміщення OLT в технічному приміщенні забезпечує легкий доступ для технічного обслуговування та управління, а також забезпечує захист обладнання від впливу небезпечних факторів зовнішнього середовища.

У системі FTTB GPON, ONT зазвичай встановлюють внутрішньо в приміщенні абонента. ONT є обладнанням, яке забезпечує підключення абонентської мережі до оптичної мережі провайдера.

ONT виконує наступні основні функції:

- Оптичний прийом і передача сигналу
- Передача даних
- Перетворення протоколів
- Управління послугами
- Забезпечення безпеки



Рис. 3.2. Оптичний мережевий термінал ONT GP-125 FTTH

GPON ONT є пристроєм, який використовується в FTTH. Він надає послуги зв'язку FTTH для класу перевізника і підтримує стандарти та

протоколи China Telecom. GPON ONT має високопродуктивні та енергоефективні чіпи і розроблений компанією ZTE.

Таблиця 3.2

### Характеристики ONT GP-125

Найменування характеристики	Значення
Інтерфейс PON:	1 GPON
Відстань передачі:	20 км.
Коефіцієнт поділу:	1:64
Оптична потужність:	0,5 ~ + 5dBm
Живлення:	12V DC

### 3.2. Вибір розгалужувачів та оптичних кабелів.

При виборі розгалужувачів та оптичних кабелів для мережі FTTB GPON, я враховувати кілька факторів. Ось деякі рекомендації:

#### *Розгалужувачі (Splitters).*

Вибирав розгалужувачі з відповідними портами, які відповідають кількості абонентів, що підключаються до мережі. Зазвичай використовують розгалужувачі з коефіцієнтом поділу 1:32 або 1:64 .

#### *Оптичні кабелі.*

Вибирав оптичні кабелі, які відповідають вимогам мережі FTTB GPON. Використовував одномодові оптичні кабелі з волоконною структурою G.657A. Оберав оптичні кабелі з відповідними характеристиками, які забезпечують ефективну передачу сигналу на необхідні відстані.

Splitter (розгалужувач) встановлюють зазвичай на вулиці, або в мережевому пункті, де відбувається розподіл оптичного сигналу на окремі виходи. Зазвичай, вони розміщуються в оптичних коробках, або вуличних щитках, які забезпечують захист і розподіл оптичних кабелів. Вуличні щитки зазвичай розташовуються ближче до абонентських приміщень, щоб

забезпечити оптимальний розподіл сигналу до різних ONT або ONU, які знаходяться у будинках або квартирах. Splitter дозволяє розділити сигнал одного оптичного волокна на кілька виходів, що дозволяє підключити багато абонентів до одного волоконно-оптичного кабелю.

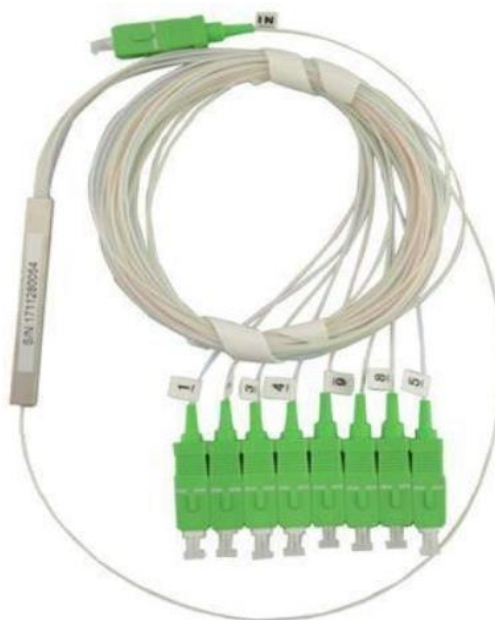


Рис. 3.3. Зовнішній вигляд розгалужувача

Оптичний кабель G.657A є одним із стандартів для одномодових оптичних кабелів, які використовуються в мережах передачі даних. Основна особливість кабелю G.657A полягає в його здатності до згину з меншим радіусом, що робить його вигідним для використання в умовах обмеженого простору, наприклад, при проведенні кабелю в приміщеннях або вузьких коридорах.

Оптичний кабель G.657A має добру адаптацію до згину та низькі втрати сигналу при згині. Він також відповідає вимогам для передачі сигналу в діапазоні довжин хвиль 1310 нм та 1550 нм, що використовуються в багатьох системах передачі оптичного сигналу.

Використання оптичного кабелю G.657A дозволяє забезпечити якісну передачу оптичного сигналу і забезпечити високу продуктивність мережі FTTB GPON. Цей тип кабелю часто використовується для з'єднання розгалужувачів з абонентськими пристроями (ONT/ONU) у мережах FTTB GPON.



Рис. 3.4. Оптичний кабель G.657A

### 3.3 Побудова мережі доступу FTTH на базі технології GPON

На (рис. 3.5) наглядно показано мою побудовану схему, FTTH на базі технології GPON, я використовував термінали ONT для кожного будинку, для економії можна використовувати один ONT для кількох будинків, якщо достатньо потужності самого терміналу.

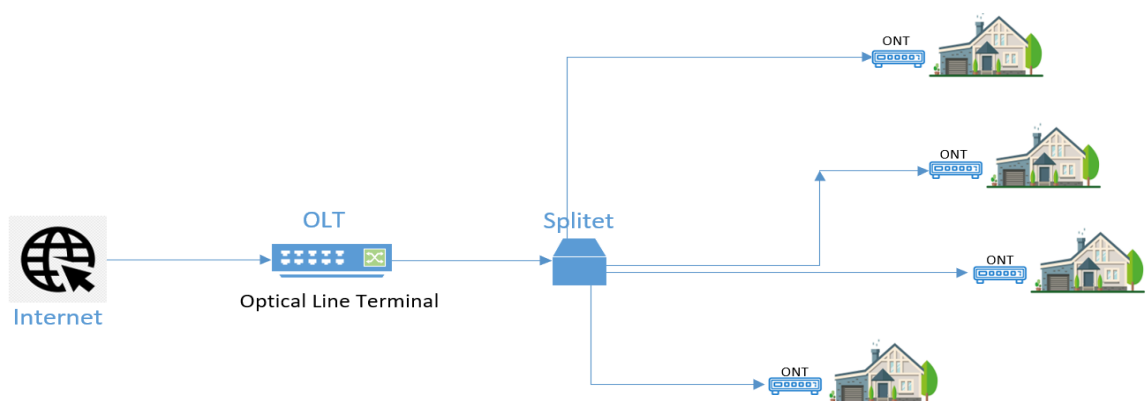


Рис. 3.5. Схема побудови FTTH

На (рис. 3.6) наглядно показано мою побудовану схему, FTTB на базі технології GPON, я використовував термінали ONT для кожного поверху.

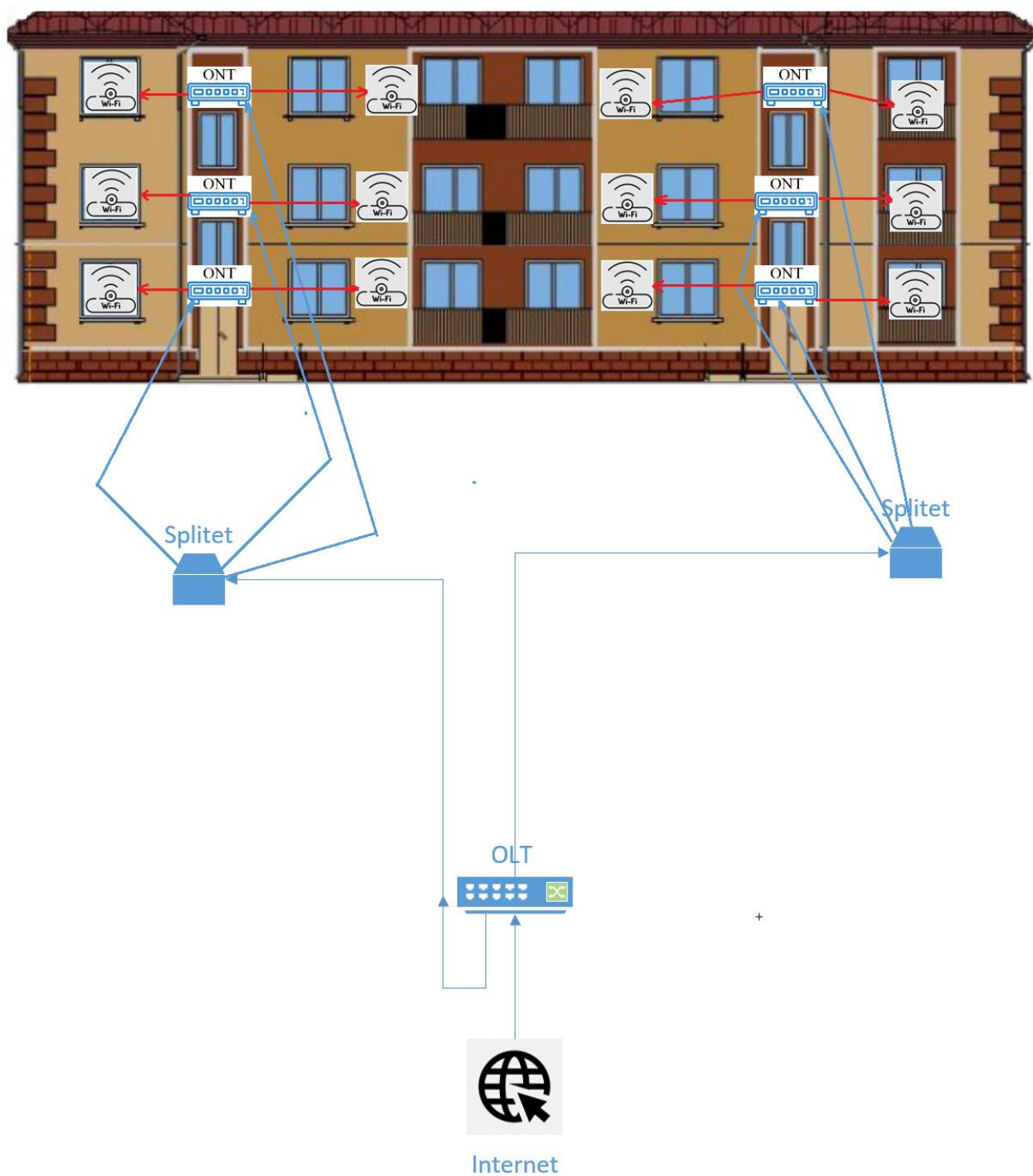


Рис. 3.6 Схема мережі доступу FTTB на базі технології GPON

Схема на (рис. 3.6) включає наступні основні компоненти:

- Центральна станція
- Оптичний кабель



- Розподільний пункт
- Оптичний кабель в будівлю

У центральній станції розташована OLT, яка є центральним обладнанням для керування мережею GPON. OLT підключається до оптичного волокна, яке постачається провайдером.

Оптичний кабель зв'язує центральну станцію OLT з розподільним пунктом, або телекомунікаційною шафою, розташованою близько до будівлі, яка обслуговується.

Розподільний пункт або телекомунікаційна шафа є місцем, де оптичний кабель з'єднується з розгалужувачами (splitters). Розгалужувачі розділяють оптичний сигнал на кілька шляхів для підключення до абонентських пристроїв.

Оптичний кабель в будівлю прокладається від розподільного пункту до внутрішнього приміщення будівлі, який підключається до OLT і надходить до абонента.

### **ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3**

У розділі 3 я розглянув основні аспекти побудови мережі доступу FTTB на базі технології GPON.

Спочатку я розглянув вибір станційного та абонентського обладнання, які є ключовими компонентами мережі. Для станційного обладнання я використовував OLT, який забезпечує керування та керування трафіком в мережі. Для абонентського обладнання використовував ONT, який забезпечують підключення кінцевих користувачів до оптичної мережі.

Також я розглянув вибір розгалужувачів та оптичних кабелів, які грають важливу роль у побудові мережі FTTB GPON. Розгалужувачі дозволяють розподілити оптичний сигнал між різними абонентами, забезпечуючи ефективне використання ресурсів. Оптичні кабелі, зокрема G657A, є оптимальним вибором для передачі сигналу в мережі, забезпечуючи низькі втрати та високу якість передачі.

У підрозділі 3.3 я побудовав мережу доступу FTTB на базі технології GPON. Ця схема передачі даних забезпечує високу швидкість передачі даних.

## ВИСНОВКИ

Підсумовуючи, в ході дослідження, проведеного у даній кваліфікаційній роботі, було вивчено та проаналізовано пасивні оптичні мережі доступу. Виявлено, що технологія FTTx, зокрема FTTB (Fiber-to-the-Building), є ефективним рішенням для побудови швидких та надійних мереж доступу.

Одним із ключових стандартів для пасивних оптичних мереж доступу є GPON. Проаналізувавши його особливості, стек протоколів та формати кадрів, було отримано розуміння процесу передачі даних у таких мережах. Також був проведений аналіз трафіку GPON, що допомагає оптимізувати роботу мережі та забезпечити високу якість обслуговування.

У розділі, присвяченому технічному розрахунку проєктованої мережі FTTB GPON, були виконані розрахунки, необхідні для визначення максимальної та мінімальної довжини регенераційної ділянки, практичного оптичного бюджету, сумарного загасання лінії, надійності та пропускної спроможності мережі. Ці розрахунки допомагають визначити параметри та характеристики мережі, що забезпечують ефективну та надійну передачу даних.

Побудова мережі доступу FTTB GPON вимагає правильного вибору станційного та абонентського обладнання, а також розгалужувачів та оптичних кабелів. Враховуючи потреби та вимоги мережі, необхідно вибрати відповідне обладнання, що забезпечить високу продуктивність, надійність та сумісність з іншими пристроями.

Отже, побудова мережі доступу FTTB GPON має свої переваги з точки зору вартості і масштабованості. Використання оптичних волокон дозволяє знизити витрати на проведення інфраструктури, оскільки оптичне волокно має високу пропускну здатність і може передавати великі обсяги даних на значну відстань без значних втрат сигналу.

Технологія GPON також забезпечує масштабованість мережі, що дозволяє легко додавати нових абонентів і розширювати її пропускну здатність в разі

потреби. Це особливо важливо в умовах постійного зростання попиту на швидкі і стабільні мережеві послуги.

Однак, при побудові мережі FTTB GPON необхідно враховувати деякі виклики, такі як вибір оптимального обладнання, управління і підтримка мережі, забезпечення безпеки і захисту даних. Необхідно також враховувати фактори, які можуть вплинути на якість сигналу, такі як втрати сигналу, перешкоди та електромагнітні впливи.

У цілому, побудова мережі доступу FTTB GPON є складним і багатогранним процесом, який вимагає знань технологій, правильного проєктування, технічного розрахунку та вибору обладнання. Однак, з правильним підходом та використанням сучасних технологій, ця мережа може забезпечити високу швидкість передачі даних, надійне з'єднання і задовольнити потреби користувачів у сучасних мережевих послугах.

Проєктування та розрахунок мережі FTTB GPON має велике значення для забезпечення якісного та стабільного інтернет-з'єднання для абонентів. Правильний підбір параметрів мережі, оптимізація ресурсів та розрахунок навантаження дозволяють досягти максимальної пропускнуєї спроможності та надійності мережі.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вовк А., Практика впровадження пасивних оптичних мереж (PON), 2023 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://deps.ua/ua/knowegable-base/articles/praktika-vn-passivnyh-op-mer-pon.html>
2. Fiber to the x, 2023 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [https://en.wikipedia.org/wiki/Fiber\\_to\\_the\\_x](https://en.wikipedia.org/wiki/Fiber_to_the_x)
3. " Network modeling approaches for calculating wholesale NGA prices: A full comparison based on the Greek fixed broadband market." Nikos Ioannou , Vangelis Logothetis, Dimitris Varoutas, October 2021
4. Компоненти GPON FTTH 04.2022 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://e-server.com.ua/sovety/pon-vs-ftth-tehnologija-ili-klassika-v-kachestve-shemy-podkljuchenija-abonentov>
5. Ethernet Passive Optical Network (EPON) architecture, 2022 [Електронний ресурс].— Режим доступу: [https://www.researchgate.net/figure/Ethernet-Passive-Optical-Network-EPON-architecture\\_fig1\\_260514153](https://www.researchgate.net/figure/Ethernet-Passive-Optical-Network-EPON-architecture_fig1_260514153)
6. WDM-PON Archives - Fiber Optical Networking, 2019 [Електронний ресурс].— Режим доступу: <https://www.fiber-optical-networking.com/tag/wdm-pon>
7. " Design, implementation and evaluation of a Fiber To The Home (FTTH) access network based on a Giga Passive Optical Network GPON" Zouhaira Abdellaoui, Yiyi Dieudonne, Anoir Aleya, July 2021.
8. Overview of GPON Technology, 2016 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://community.fs.com/blog/overview-of-gpon-technology.html>
9. The Fundamentals of Passive Optical Networking (PON), 2023 [Електронний ресурс].—Режим доступу: <https://www.prooptix.com/news/passive-optical-networking/>
10. Швидкісний Київстар [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://kyivstar.ua/business/products/fttb-internet>
11. FTTB\_Diagram.jpg(1143 × 647) [Електронний ресурс].— Режим доступу: [https://www.tpg.com.au/sites/default/files/inline-images/FTTB\\_Diagram.jpg](https://www.tpg.com.au/sites/default/files/inline-images/FTTB_Diagram.jpg)

12. Traffic flow in GPON FTTH network, 2021 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.technopediasite.com/2021/02/traffic-flow-in-gpon-ftth-network.html>
13. Термінал оптичної лінії GPON OLT GCOM GL5610-16P [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://gcom.com.ua/uk/pon/gpon-gl5610-16p/>