

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Навчально-науковий Інститут телекомунікаційних систем
Кафедра Електронних комунікацій та Інтернету речей

«До захисту допущено»

В.О. завідувача кафедри

_____ Вячеслав НОСКОВ

« ____ » _____ 2025 р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

на тему: «Методика проєктування гібридної мережі FTTC/FTTB для
міської агломерації»

Виконав:

Студент IV курсу, групи ТС-12

Серкін Антон Олександрович _____

Керівник:

Доцент кафедри ЕКІР ІТС, доцент

Носков Вячеслав Іванович _____

Рецензент:

Незалежний експерт з телекомунікацій, кандидат

технічних наук, Вахрушев Володимир Платонович _____

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

Студент _____

Київ – 2025 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий Інститут телекомунікаційних систем
Кафедра Електронних комунікацій та Інтернету речей

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 172 Телекомунікації та радіотехніка

Освітньо-професійна програма «Системи електронних комунікацій та Інтернету речей»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.О. завідувача кафедри

_____ Вячеслав НОСКОВ

«___» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Серкіну Антону Олександровичу

1. Тема роботи «Методика проектування гібридної мережі FTTC/FTTB для міської агломерації», керівник роботи Носков Вячеслав Іванович, доцент, затверджені наказом по університету від 26 травня 2025 р. № 1755 – с.

2. Термін подання студентом роботи 10 червня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи: матеріали статей та наукових видань, інформаційні ресурси мережі Інтернет, навчально-методичні матеріали. Структурований план порядку розробки матеріалів дипломної роботи.

4. Зміст роботи

Обґрунтувати актуальність теми. Розглянути сучасні технології побудови мереж доступу, розглянути топологію та варіанти архітектури мереж доступу на основі PON. Порівняти мережі доступу GPON та GE-PON та надати рекомендації щодо їх використання в мережах електронних комунікацій. Розробити методику проектування мереж доступу на основі PON для міської агломерації. Навести приклад реалізації проєкту в умовах міста.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо): 1) Тема та мета дипломної роботи; 2) Технічні принципи мереж доступу на основі PON; 3) Порівняльні характеристики GPON та GE-PON; 4) Архітектура мереж доступу PON; 5) Порівняльний аналіз FTTB та FTTC в умовах міста; 6) Методика проектування та рекомендації щодо реалізації проєкту; 7) Висновки по роботі.

6. Дата видачі завдання 31.10.2024 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Теоретичні основи проектування оптоволоконних мереж доступу	14.04.2025	Виконано
2	Розробка методики проектування мереж доступу для міської агломерації	22.04.2025	Виконано
3	Практична реалізація FTTC і FTTB у міських агломераціях	30.05.2025	Виконано
4	Вступ, Висновки	02.06.2025	Виконано
5	Чистовий варіант дипломної роботи, плакати	10.06.2025	Виконано

Студент

_____ Антон СЕРКІН

Керівник роботи

_____ Вячеслав НОСКОВ

РЕФЕРАТ

Обсяг роботи 93 сторінки, 60 ілюстрацій, 7 таблиць, 16 джерел літератури.

Мета роботи:

1. Розробка рекомендацій щодо технічних рішень побудови мережі доступу за технологією PON в різноманітних умовах міської агломерації;
2. Розробка методики проєктування мережі доступу FTTC/FTTB для міської агломерації.

Актуальність теми: Актуальність теми пов'язана зі значною поширеністю мереж доступу за технологією PON, яка стала фактично золотим стандартом побудови мереж доступу. Це вимагає системних підходів в розробці технічних рішень на етапі проєктування мережі доступу, зокрема для архітектур FTTB та FTTC, що найбільш поширені в міських умовах. Рекомендаціям щодо вибору технічних рішень та розробці методики проєктування мереж доступу для міської агломерації і присвячена дипломна робота.

Об'єкт дослідження: Мережа доступу за технологією PON.

Предмет дослідження: Технічні принципи та методика проєктування мереж доступу для міської агломерації.

У даній роботі розглядається методика проєктування мережі доступу FTTC/FTTB для міської агломерації з урахуванням сучасних технологій побудови пасивних оптичних мереж (PON); аналізуються архітектури FTTC, FTTB, FTTH, їхні особливості, переваги та недоліки; принцип функціонування мереж на основі GPON та GEPON; надаються рекомендації щодо вибору оптимальних технічних рішень з урахуванням щільності забудови, оптичного бюджету, економічної доцільності та технічних обмежень; детально описується основні етапи проєктування, вимоги до обладнання, топології мережі, способи прокладання кабелю та проводяться розрахунки для прикладного впровадження мереж в умовах міста.

Ключові слова: оптична мережа доступу, FTTC, FTTB, PON, GPON, GEPON, архітектура мережі, оптоволоконна лінія зв'язку, міська агломерація, проєктування, оптичний бюджет, телекомунікації.

ABSTRACT

The volume of work is 93 pages, 60 illustrations, 7 tables, 16 sources of literature.

The purpose of the work:

1. Development of recommendations for technical solutions for building an access network using PON technology in a variety of urban agglomeration conditions;
2. Development of FTTC/FTTB access network design methodology for urban agglomeration.

Relevance of the topic: The relevance of the topic is associated with the significant prevalence of access networks using PON technology, which has actually become the gold standard for building access networks. This requires systematic approaches in developing technical solutions at the stage of access network design, in particular for FTTB and FTTC architectures, which are most common in urban environments. Recommendations on the choice of technical solutions and the development of methods for designing access networks for urban agglomeration are devoted to the thesis.

Object of research: PON technology access network.

Subject of research: Technical principles and methods of designing access networks for urban agglomeration.

This paper discusses the methodology of designing the FTTC/FTTB access network for urban agglomeration, taking into account modern technologies for building passive optical networks (PON); analyzed architecture FTTC, FTTB, FTTH, their features, advantages and disadvantages; the principle of operation of networks based on GPON and GEAPON; recommendations on the selection of optimal technical solutions taking into account building density, optical budget, economic feasibility and technical limitations; describes in detail the main stages of design, requirements for equipment, network topology, methods of cabling and calculations for the applied implementation of networks in the city.

Keywords: optical access network, FTTC, FTTB, PON, GPON, GEPON, network architecture, fiber optic link, urban agglomeration, designing, optical budget, telecommunications.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ .	8
1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЄКТУВАННЯ ОПТВОЛОКОННИХ МЕРЕЖ ДОСТУПУ	12
1.1 Сучасні технології побудови оптоволоконних мереж доступу	12
1.2 Топології пасивних оптичних мереж (PON)	24
1.3 Архітектура оптоволоконних мереж доступу	26
1.4 Висновки з розділу 1.....	33
2 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПРОЄКТУВАННЯ МЕРЕЖ ДОСТУПУ ДЛЯ МІСЬКОЇ АГЛОМЕРАЦІЇ.....	35
2.1 Завдання та основні етапи проєктування	35
2.2 Вибір технології та архітектури мережі доступу PON в міських умовах..	41
2.3 Вибір активного та пасивного обладнання	47
2.4 Вибір технічних рішень щодо розміщення та параметрів сплітерів. Розрахунок оптичного бюджету	56
2.5 Економічна оцінка мереж PON за архітектурою FTTC та FTTB.....	63
2.6 Висновки з розділу 2.....	66
3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ FTTC І FTTB У МІСЬКИХ АГЛОМЕРАЦІЯХ ..	68
3.1 Реалізація FTTC у районі з меншою щільністю населення.....	68
3.2 Реалізація FTTB у районі з високою щільністю населення	77
3.3 Порівняння результатів реалізації FTTC та FTTB.....	83
3.4 Рекомендації щодо технічних рішень побудови мережі доступу за технологією PON в різноманітних умовах міської агломерації	86
3.5 Висновки з розділу 3.....	90
ВИСНОВКИ.....	91
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	92

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АТС	Автоматична Телефонна Станція
ВОК	Волоконно-оптичний Кабель
ОР	Оптичний Розгалужувач (сплітер)
ОРК	Оптична Розподільча Коробка
ОРИШ	Оптична розподільча шафа
ПЛЗ	Повітряна Лінія Зв'язку
APC	Angled Physical Connect
UPC	Ultra Physical Contact
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
SNR	Signal-to-Noise Ratio
OLT	Optical Line Terminal
ONU	Optical Network Unit
ONT	Optical Network Terminal
VoIP	Voice over Internet Protocol
IPTV	Internet Protocol Television
FTTB	Fiber to the Building
FTTC	Fiber to the Curb
FTTH	Fiber to the House
GPON	Gigabit Passive Optical Network
GEPON	Gigabit Ethernet Passive Optical Network
PON	Passive Optical Network
ODN	Optical Distribution Network
NRZ	Non Return Zero
TDM	Time Division Multiplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
FBT	Fused Biconical Taper
PLC	Planar Lightwave Circuit
CaTV	Cable Television
QoS	Quality of Service

SP	Strict Priority Scheduling
WPR	Weighted Priority Round-robin
DSL	Digital Subscriber Line
GEM	GPON Encapsulation Method
SC	Subscriber Connector
PC	Physical Contact
LC	Lucent Connector
FT	Fiber Termination Connector
ST	Straight Tip Connector

ВСТУП

На сьогодні в світі, що постійно розвивається, є потреба в безперешкодному доступу до інформації. Ця інформація є важливим чинником для розвитку суспільства як такого, формує кожного як високотехнологічного учасника інформаційного простору. Саме виходячи з цього є актуальним і важливим питання щодо швидкого, цілісного і безперешкодного доступу до мережі. На сьогодні оптоволоконна мережа доступу є найбільш доцільною для використання користувачами через здатність швидко передавати інформацію, причому в досить великих обсягах. Для цього, можливе, використання меншої кількості обладнання, а також разом з цим, це зменшує використання електроенергії, для підтримання цієї системи, що формує економічну доцільність даної технології в цілому.

Є різні способи проєктування і будівництва оптоволоконних мереж доступу, що включають в себе різні підходи до реалізації технічної частини проєктів. Загалом вони формуються на основі завдань, що формує замовник (фізична особа, державна організація і т.д.) до проєктувальників, а ті в свою чергу до реалізаторів будівництва оптоволоконних мереж доступу.

В реаліях сьогодення, дана тема дипломної роботи є неабияк актуальною через розвиток даної технології і перспективу її еволюції в світлі майбутніх потреб користувачів мережі та через високу якість передачі інформаційних сигналів за даним принципом.

Актуальність теми пов'язана зі значною поширеністю мереж доступу за технологією PON, яка стала фактично золотим стандартом побудови мереж доступу. Це вимагає системних підходів в розробці технічних рішень на етапі проєктування мережі доступу, зокрема для архітектур FTTB та FTTC, що найбільш поширені в міських умовах. Рекомендаціям щодо вибору технічних рішень та розробці методики проєктування мереж доступу для міської агломерації і присвячена дипломна робота.

Існують різні аспекти побудови мереж доступу з використанням волоконно-оптичних ліній зв'язку. В даній дипломній роботі будуть представлені

методи проєктування мереж доступу для міської агломерації з використанням сучасних технологій побудови оптоволоконних мереж доступу.

Метою даного дослідження є розробка рекомендацій щодо технічних рішень побудови мережі доступу за технологією PON в різноманітних умовах міської агломерації та розробка методики проєктування мережі доступу FTTC/FTTB для міської агломерації.

Для досягнення цієї мети, буде проаналізовано різні підходи до проєктування та реалізації мережі та проведені розрахунки оптичного бюджету для аналізування поведження сигналу при використанні певної технології, що дасть змогу повністю дослідити тему дипломної роботи.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЄКТУВАННЯ ОПТОВОЛОКОННИХ МЕРЕЖ ДОСТУПУ

1.1 Сучасні технології побудови оптоволоконних мереж доступу

PON (Passive Optical Network) – це технологія передачі даних за допомогою використання оптоволоконного кабелю, який забезпечує зв'язок між центральним вузлом (приміщення оператора зв'язку) та кінцевим користувачем, якому надається послуга. Дана технологія не використовує активне обладнання (тобто те, що вимагає живлення від електромережі). На рис. 1.1 наведено загальний принцип реалізації мережі доступу на основі технології PON.

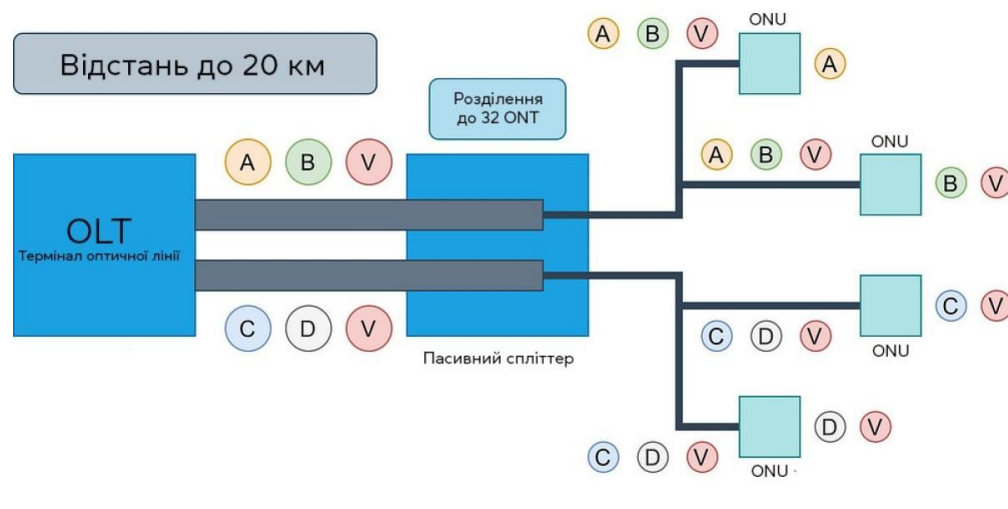


Рисунок 1.1 - Загальний принцип побудови мережі PON [1]

Основні типи PON та їх еволюція:

GPON (Gigabit Passive Optical Network):

Стандартизована ITU-T (G.984.x) технологія знайшла широке застосування у високошвидкісних мережах доступу. Має високі показники швидкості, у порівнянні з попередніми технологіями: в прямому потоці до 2,5 Гбіт/с, а в зворотному – 1,25 Гбіт/с. В даній технології використовуються такі довжини хвиль для передачі даних: 1490 нм в сторону абонента, 1310 нм зі сторони абонента, 1550 нм є зарезервованою для кабельного телебачення. Одиницею переносу даних у GPON виступає GEM-фрейм. Типові допустимі втрати в ODN

(Optical Distribution Network – укр. Оптична розподільча мережа) складають 28 дБ. Лінійним кодуванням в даній технології виступає: NRZ (Non Return Zero). Має свій загальний принцип побудови (рис. 1.2), також на рис. 1.3 наведено загальний принцип передачі даних на низхідній та висхідній ділянках.

Основними перевагами GPON є:

- Швидкість передачі даних: у порівнянні з попередніми технологіями, швидкість передачі інформації у GPON на порядок вище;
- Економічне використання волокон: на одне волокно можна розмістити до 128, користувачів, а дальність протяжності мережі може досягати 20 кілометрів;
- Масштабованість мережі: якщо використовувати “деревоподібну” топологію мережі доступу, то можна досягти найощадливішого способу підключення користувачів;
- Низькі витрати на експлуатаційні витрати;
- Стабільна технологія, яка забезпечує надійне підключення користувача послугами до різних сервісів.

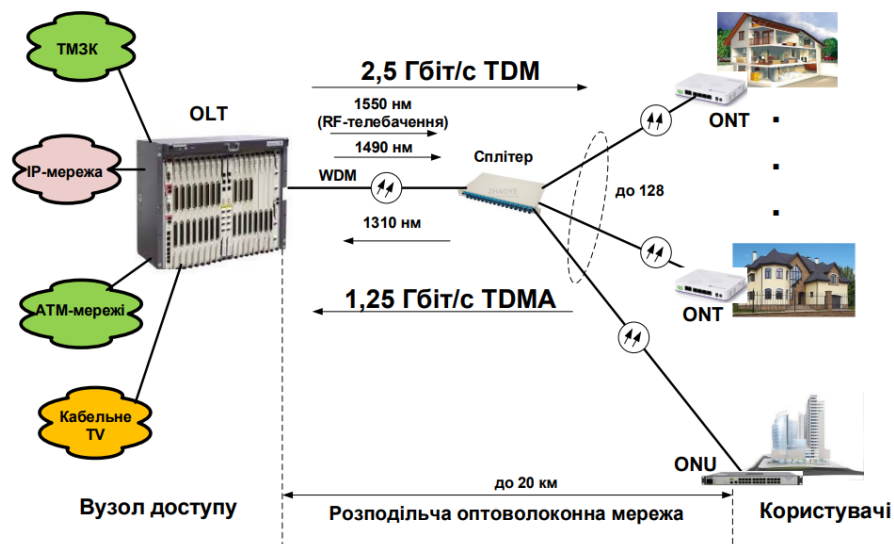


Рисунок 1.2 - Загальний принцип побудови GPON

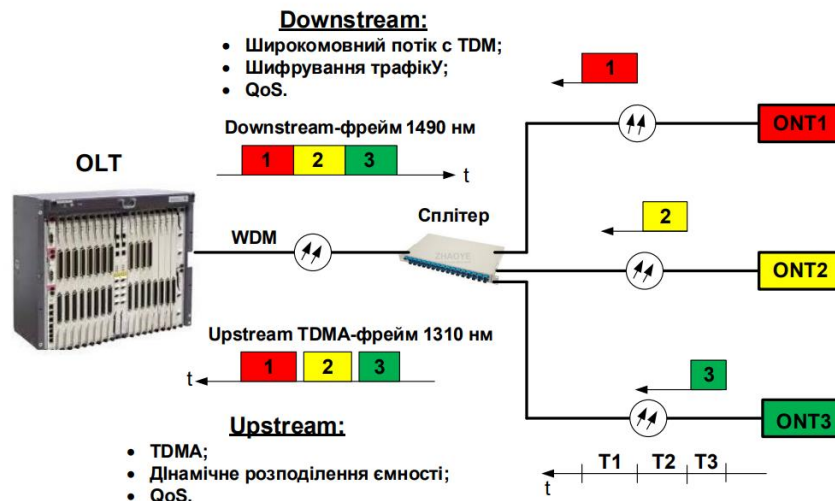


Рисунок 1.3 - Загальний принцип передачі даних на низхідній та висхідній ділянках

GEPON:

Мережа GEAPON у порівнянні з мережею GPON має нижчу швидкість передачі даних, а саме 1 Гбіт/с на Downlink та Uplink, що є стандартною швидкістю для Giga Ethernet. Для забезпечення передачі трафіку, дана мережа використовує метод інкапсуляції у Ethernet- фрейми, що відповідає стандарту IEEE 802.3ah.

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers – укр. Інститут інженерів з електротехніки та електроніки) – це спеціалізована на стандартизації організація, що є лідером зі стандартизації в галузі електроніки і електротехніки у світі. Штаб квартира даної організації знаходиться в селищі Піскатавей, штат Нью-Джерсі, США. Також дана організація проводила стандартизацію вищесказаних мереж.

Довжини хвиль для Downlink та Uplink складає 1490 та 1310 нм відповідно. Має коефіцієнт розгалуження – 64, що є у два рази менше за коефіцієнт розгалуження у мережі GPON. Максимальний радіус мережі складає 20 кілометрів, що є досить значною відстанню для прокладання. Здебільшого надають такі сервіси користувачам як: CaTV (Cable television – укр. Кабельне телебачення), Інтернет-сервіси, VoIP (Voice over IP – укр. голос через IP), IPTV (Internet Protocol Television - укр. IP-телебачення). Типові допустимі втрати в ODN (Optical Distribution Network – укр. Оптична розподільча мережа) складають

28 дБ. Лінійним кодуванням в даній технології виступає: 8B/10B (тобто 8 біт даних, які перетворюються у 10 біт лінійного сигналу).

Узагальненого порівняння мереж GPON та GEPON наведено в табл. 1.1:

Таблиця 1.1 - Узагальнене порівняння мереж GPON та GEPON

Технологія	GPON	GEPON
Стандарт	MCE-T G.984.x	IEEE 802.3ah
Одиниця переносу даних	GEM-фрейми	Ethernet-фрейми
Типові допустимі втрати в ODN, дБ	28	28
Лінійна швидкість UL/DL, Гбіт/с	1,25/2,5	1,25/1,25
Лінійне кодування	NRZ	8B/10B
Максимальний коефіцієнт розгалуження	128	64
Швидкість передачі даних в лінійному тракті, Гбіт/с	1,25/2,5	1/1
Довжини хвиль UL/DL, нм	1310/1490	1310/1490
Сервіси	TDM (E1, Nx64), CaTV, Інтернет-сервіси, VoIP, IPTV	CaTV, Інтернет-сервіси, VoIP, IPTV

Щодо інших стандартів мереж, а саме: XG-PON (NG-PON1), XGS-PON, 40G-PON (NG-PON2), 10GE-PON та 25/50GE-PON наведена вже інша таблиця, а саме табл. 1.2, для розуміння того, які особливості та відмінності в них є, а також якому стандарту вони відповідають.

Таблиця 1.2 - Узагальнене порівняння мереж NG-PON1 та NG-PON2 [2]

Система	NG-PON1			NG-PON2	
	XG-PON	XGS-PON	10GEPON	40GPON	25/50GEPON
Стандарти	ITU-T G.987x (2009)	ITU-T G.987x (2016)	IEEE 802.3av (2009)	ITU-T G.989x (2015)	IEEE 802.3ca (2020)
Швидкість DS/US, Гбіт/с	10/2,5	10/10	10/1	40/2,5	25 або 50/10 або 25
Сумісність	GPON	GPON	GEPON	GPON	GEPON
Максимальний коефіцієнт розгалуження	128	128	128	128	Немає даних

Загалом детально з цього переліку технологій розглянемо технологію XG-PON. Технологія XG-PON є покращеною версією GPON. Вони подібні за такими критеріями як: спосіб мультиплексування на ділянці Downlink – TDM; спосіб доступу на ділянці Uplink – TDMA; принцип забезпечення QoS (Quality of Service – укр. Якість обслуговування) та керування трафіком, який розподіляється по класам, пріоритетні черги з обслуговуванням за правилами SP (Strict Priority Scheduling – укр. Строгий пріоритет) або WPR (Weighted Priority Round-robin – укр. Кругове планування з ваговим пріоритетом) та загалом інші подібні характеристики.

Є також і певні відмінності, а саме: для сумісності з вже наявними мережами GPON в ODN застосовуються інші довжини хвиль: низхідний – 1577 нм, висхідний 1270 нм; покращена інформаційна безпека; XG-PON є більш ефективною з точки зору споживання електроенергії, бо споживає менше потужності для передачі даних; покращені можливості щодо моніторингу і також інші відмінні від GPON аспекти.

Щодо допустимих втрат в оптичній розподільчій мережі (ODN), то в XG-PON можливо збільшити це значення до 33 дБ, що на декілька одиниць більше за GPON (28...31 дБ).

На рис. 1.4 наведені діапазони довжин хвиль, які необхідні для роботи окремих мереж PON:

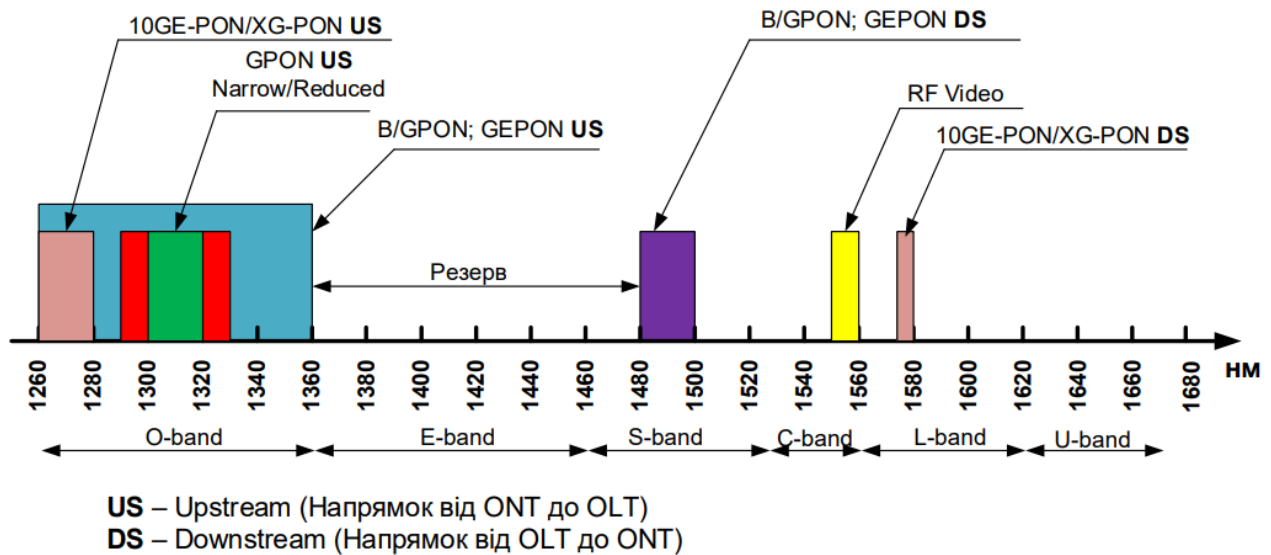


Рисунок 1.4 - Діапазони довжин хвиль для роботи мереж PON

Переваги та недоліки PON порівняно з іншими типами мереж доступу безумовно присутні. В основному перевагами пасивних оптичних мереж є наступні критерії: висока пропускна здатність, яка реалізується за рахунок оптичного волокна; менші витрати на експлуатації мережі, бо між оператором та користувачем відсутні активні компоненти (обладнання), яке потребує електроенергії та технічного обслуговування; дальність передачі даних (порівнюючи з Ethernet або DSL технологіями, у оптичних мереж даного типу є здатність передавати сигнал на відстань 20-40 кілометрів без регенераційних пунктів) і також інші переваги, які притаманні даній технології. Стосовно недоліків, то вони є такими: обмежена кількість користувачів на одній лінії; високі початкові витрати, які включають проектування, будівництво мережі та прокладку кабелю; складність модернізації мережі при переході на нові технології, бо для цього потрібно змінювати обладнання в приміщенні оператора зв'язку та в приміщенні користувача послугами.

Безумовно є й інші переваги та недоліки, але були виділені основні, які відіграють важливу роль в розумінні принципу роботи пасивних оптоволоконних мереж.

Працюють пасивні оптичні мережі доступу на основі оптоволоконних ліній зв'язку та пасивного обладнання (компонентів) мережі. Можна узагальнити принцип роботи мережі таким чином:

1. *Оптичний лінійний термінал*: (центральний вузол, OLT – Optical Line Terminal): дане обладнання знаходиться на стороні надавача послуг (провайдера). Розміщується дане обладнання на ділянці, яка має назву – “Станційна ділянка”. Це ділянка в приміщенні головної станції, яка зазвичай розташовується в приміщенні АТС. Це є місце, звідки оптичний сигнал вирушає до користувача по оптоволоконним кабелям. Зі станційної ділянки оптичний сигнал потрапляє на магістральну ділянку (але є випадки, що магістральна ділянка може бути відсутня і розпочинається відразу розподільча ділянка, бо все залежить від довжини лінії прокладання та інших технічних вимог). На рис. 1.5 представлено, який здебільшого вигляд має дане обладнання – OLT (в залежності від виробника, поставлених цілей та, звісно ж, бюджету на проєктування – вигляд оптичного лінійного терміналу може змінюватися).

OLT має кілька основних функцій:

- Передача та прийом оптичних сигналів за допомогою волоконно-оптичних кабелів;
- Керування розподілом смуги пропускання та якістю обслуговування (QoS); Надати для кількох (кількість залежить від вимог на проєктування) користувачів доступ до безпечного високошвидкісного Інтернету; Обробка VoIP, IPTV і трафіку даних у оптоволоконних широкосмугових мережах.



Рисунок 1.5 - Загальний вигляд OLT

Оптичні порти мають певний коефіцієнт розгалуження. В залежності від технології, що використовується на термінальному обладнанні, можна вказати максимальну кількість підключень на один порт OLT. Наприклад, для GPON такий показник буде мати ось таке значення - 1x128, а для GEAPON - 1x64. Такі обмеження були встановлені відповідними регулюючими органами, а саме для GPON згідно з ITU-T це є G.984.3 [3], а для GEAPON це стандарт IEEE 802.3ah. Такі обмеження встановлені через допустимий бюджет потужності. Наприклад, для GPON він знаходиться на рівні до 28 дБ, а для GEAPON це значення є нижчим і коливається від 20 до 25 дБ. Ось це і є основною причиною встановлення таких обмежень для OLT.

Загалом одна типова стійка OLT у мережі оператора зв'язку має від 8 до 16 портів PON. Сам по собі оптичний лінійний термінал може обслуговувати сотні або тисячі користувачів (все залежить від кількості користувачів на території розміщення мережі і т.д.).

Максимальна відстань між OLT та ONU/ONT залежить від конфігурації мережі, проте зазвичай не перевищує значення, що визначенні у межах 20 кілометрів.

2. *Сплітери*: оптичний сигнал, що надійшов з OLT на розгалужувач (спліттер), на даній ділянці свого маршруту, має бути розгалуженим на кілька волокон. Сплітер є таким пристроєм, за допомогою якого це здійснюється. Далі, дані оптичні волокна, слідують до оптичних мережевих терміналів (ONT). Сплітери бувають двох видів: зварні (FBT - Fused Biconical Taper) та планарні (PLC - Planar Lightwave Circuit). Також вони мають різну кількість можливих поділень на різні волокна. Різновиди сплітерів представленні на рис. 1.6.

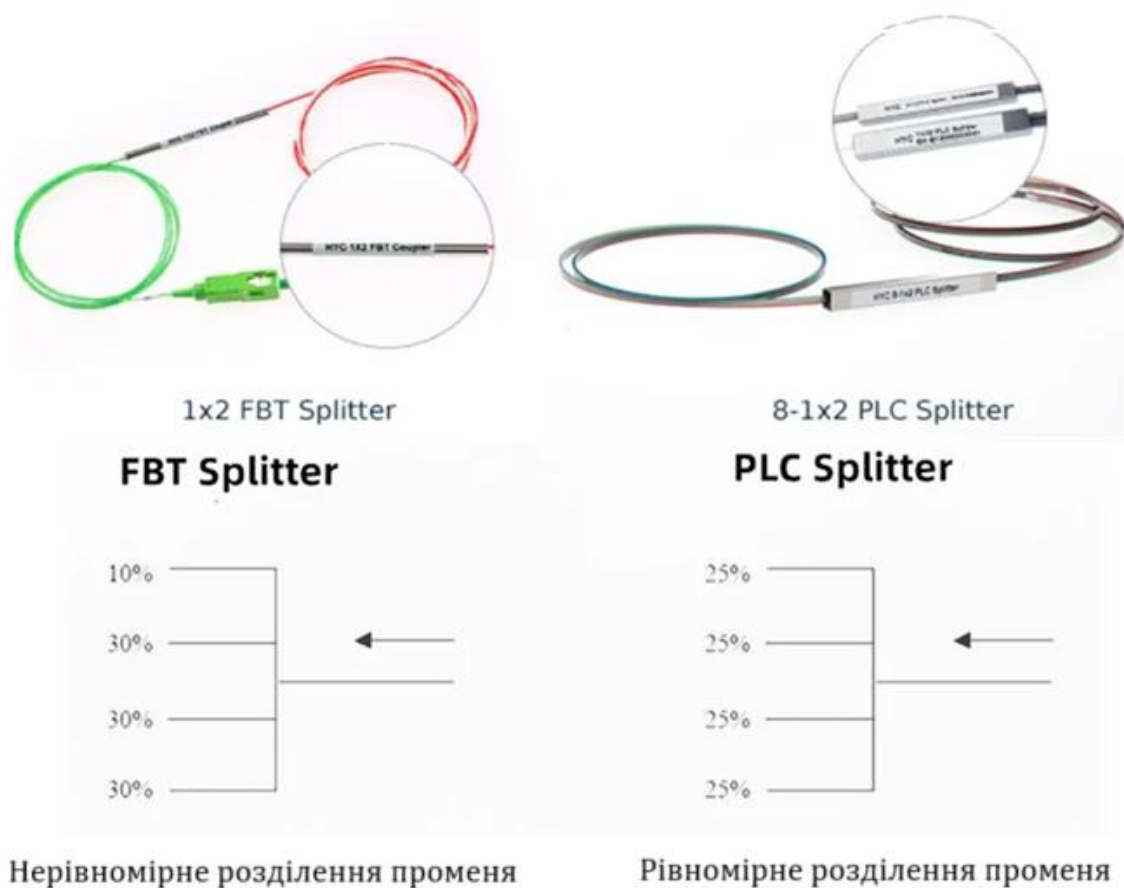


Рисунок 1.6 - Різновиди сплітерів

Вони мають одне основне призначення, а саме: поділ оптичного сигналу на кілька абонентських ліній.

Щодо *PLC-сплітерів* варто зазначити, що вони:

- виготовляються на основі кремнієвої підкладки з інтегрованими світловодами;
- мають стабільний поділ потужності у широкому діапазоні довжин хвиль (1260 та 1650 нм);
- мають високий коефіцієнт поділу (від 2 до 128).

Даний тип сплітерів має декілька основних переваг та недоліків:

- ідеальні для масштабних мереж, таких як FTTH, FTTB;
- є компактними, що у свою чергу дозволяє легко кріпити та розміщувати їх у оптичних розподільчих боксах, кросах;
- висока стабільність, тобто PDL (Polarization Dependent Loss – укр. Поляризаційно-залежні втрати) є низькими;
- є дорожчими за FBT-сплітери;
- під час виробництва потрібна висока точність для їх створення, що в свою чергу створює проблему і для обслуговування в польових умовах.

Щодо *FBT-сплітерів* варто зазначити, що вони:

- виробляються шляхом зварювання і витягування двох або більше оптичних волокон;
- втрати під час поділу є вищими за значення для PLC-сплітерів, а також є менш рівномірними у порівнянні з ними;
- є оптимальним рішенням для невеликих коефіцієнтів поділу, зазвичай не більше 1x16;
- порівняно з PLC типом сплітерів, FBT-сплітери функціонують у вузькому спектрі довжин хвиль (1310 або 1550 нм окремо).

Даний тип сплітерів має декілька основних переваг та недоліків:

- дешевші у виробництві у порівнянні з PLC-сплітерами;
- є можливість оптимізації для певної довжини хвилі;
- ідеальний варіант для маленьких локальних сегментів;
- в температурному діапазоні є менш стабільними;
- рівномірність розподілу сигналу є гіршою у порівнянні з PLC-сплітерами;
- не надають можливість використовувати їх для високого розгалуження через свої обмеження (наприклад поділ з коефіцієнтом 1x64 і більше).

Сплітери розміщуються централізовано або каскадно (у спеціальних корпусах, боксах і т.д.). Бокси (рис.1.7) складаються з касет, які вкладені в нього. В ці касети за певним принципом (не перегнути оптоволокну) вкладається саме оптоволокну і також сплітери, які з'єднанні з ним. Цей бокс потрібен для захисту оптичних з'єднань (зварні та механічні), що в свою чергу подовжує термін служби мережі і захищає її від несанкціонованого доступу чи впливу природних явищ, що можуть порушити працездатність та цілісність мережі в цілому.

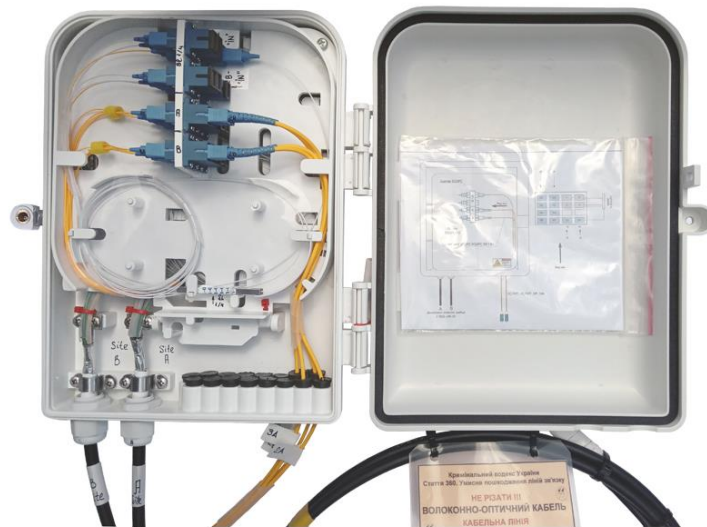


Рисунок 1.7 - Типовий оптичний бокс

3. Оптичний мережевий термінал або абонентський термінал (ONT – Optical Network Terminal): у приміщенні кожного користувача (або іншому місці в залежності від мережі) повинен бути встановлений особистий ONT (рис. 1.8). Дане обладнання працює на прийом оптичного сигналу від сплітера і в подальшому перетворює його з оптичного на електричний сигнал. Цей електричний сигнал може використовуватися кінцевими пристроями, а саме такими як: персональні комп'ютери, ноутбуки, Smart TV, смартфони і так далі.

Даний прилад виконує функцію перетворення оптичного сигналу, що надходить від провайдера, на електричний сигнал. Тобто він виступає у ролі певного перетворювача, що розміщується здебільшого у приміщенні користувача (залежить від типу мережі, на рис. 1.8 представлений варіант розміщення у приміщенні абонента, що є характерним для FTTH). Як видно на рисунку, є наявним підключення конектора оптоволоконного кабелю (передача сигналу від

провайдера), кабелю Ethernet (мідний кабель, що передає електричний сигнал до користувача) та живлення, яке є головною потребою даного обладнання задля його функціонування. Кількість портів може відрізнятися в залежності від виробника або потреб абонента.



Рисунок 1.8 - Загальний вигляд ONT

4. Зворотній напрямок передачі даних: у зворотному боці, потік даних йде від кінцевого користувача до лінійного терміналу провайдера (OLT), тож він проходить такий же шлях, що і до користувача, але вже в зворотному порядку. Він проходитиме весь шлях до OLT, де в кінці-кінців сигнал надійде на лінійний термінал і буде оброблений.

1.2 Топології пасивних оптичних мереж (PON)

Під час побудови пасивних оптичних (PON) мереж потрібно також враховувати топології, які необхідно задіяти. Основні з них будуть наведені нижче, а саме: зірка, шина та деревоподібна (або просто дерево).

Топології PON

1. Топологія “Зірка”:

Дана топологія застосовується в районі де присутня досить висока щільність розміщення користувачів у районі АТС (Автоматична Телефонна Станція). Для цієї топології характерним є мінімальна кількість оптичних розгалужувачів і, в цілому, є єдине місце для їхнього встановлення, як показано на рис. 1.9.

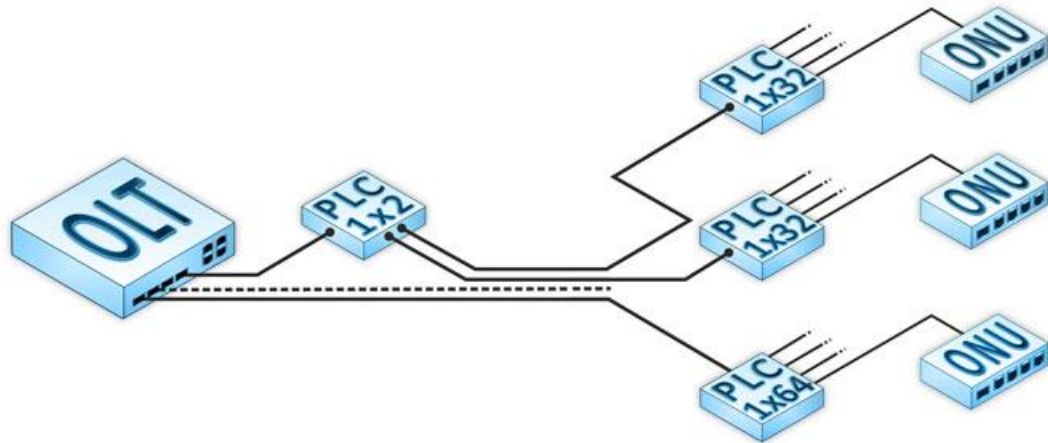


Рисунок 1.9 - Схематичний вигляд топології "Зірка" [4]

Дана топологія має наступні переваги як: зручність обслуговування системи та забезпечення експлуатаційних вимірів для пошуку місць, де присутнє пошкодження мережі.

2. Топологія “Шина”:

“Шина” це такий варіант топології, який використовується, коли абоненти розміщені вздовж оптичної магістральної ділянки. Головний недолік даної

топології – це великий діапазон різниці вихідної потужності оптичних розгалужувачів, що вносить досить великі корективи для експлуатаційних потреб при наступному встановленому розгалужувачі. Потрібно постійно розраховувати рівень оптичного сигналу, щоб підібрати потрібний нерівномірний оптичний розгалужувач. Такий тип розгалужувачів робить так, що вхідна оптична потужність на кожному оптичному приймачі відповідала його чутливості обладнання. Тому можна зазначити основне правило використання такого варіанту топології, а саме: використовувати топологію “Шина” лише при лінійному розміщенні абонентів вздовж оптичної магістралі та головне, щоб не використовувалася занадто велика кількість оптичних розгалужувачів (кількість розгалужувачів напряму залежить від оптичного бюджету мережі, що проєктується). Є чудовим варіантом при побудові мереж у приватному секторі, але виходячи з потреб користувачів. Схематичний вигляд топології “Шина” наведений на рис. 1.10.

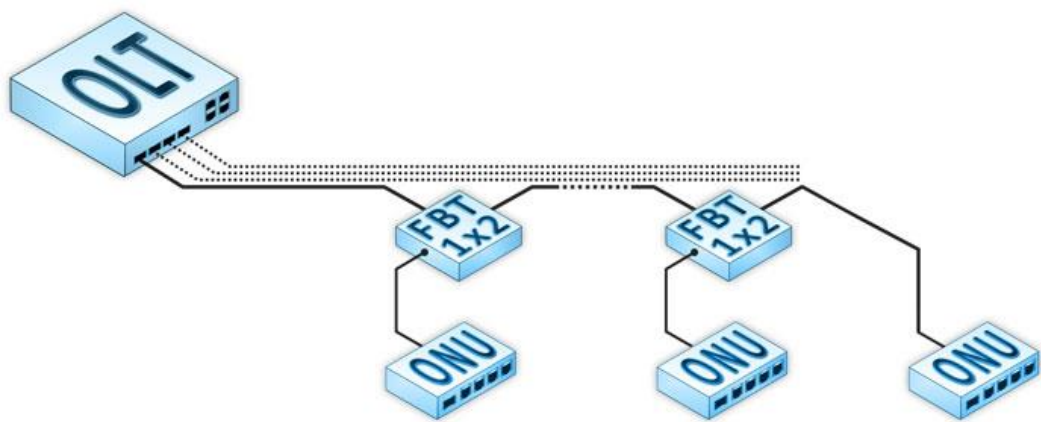


Рисунок 1.10 - Схематичний вигляд топології "Шина" [4]

3. Топологія “Дерево”:

Це є найбільш часто використовуваним варіантом топології при проєктуванні та побудові пасивних оптичних мереж на сьогоднішній день. Зручність та гнучкість даної топології при проєктуванні мережі зробили її найбільш популярною. Вона використовується, коли користувачі знаходяться на рознесений (різній) відстані. Завдяки коефіцієнтам ділення оптичних розгалужувачів – вдається забезпечити оптимальне розподілення потужності

оптичного сигналу між різними гілками (лініями). Є оптимальним рішенням для мереж, що розвиваються та розширюються (тобто більшає кількість користувачів). Це є одним з найкращих рішень для побудови у міській мережі. Схематичний вигляд топології “Дерево” наведений на рис. 1.11.

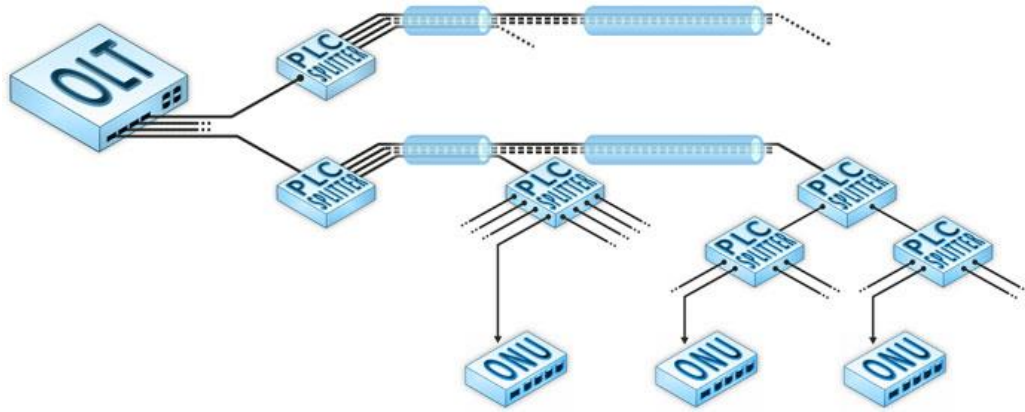


Рисунок 1.11 - Схематичний вигляд топології "Дерево" [4]

1.3 Архітектура оптоволоконних мереж доступу

На сьогодні у світі є потреба щодо постійного вдосконалення і розроблення нових, сучасних та перспективних технологій. Технології побудови оптоволоконних мереж доступу не виключення і постійно вдосконалюються. Сучасні технології побудови мають забезпечувати користувачів мережі різними послугами, наприклад: мультисервісність. Ця послуга передбачає надання абонентам одночасно послуг відеосерверів, телефонії, соціальних мереж, електронної пошти, доступ до Web- та FTP-серверів, месенджерів (WhatsApp, Signal і т.д.) та інших сервісів, що використовують мережу Інтернет.

Користувачі, в умовах сьогодення, потребують високошвидкісного інтернет-з'єднання, що в свою чергу, вимагає: зростання обсягів передавання інформації, підвищення вимог до швидкості та надійності доступу в мережу Інтернет. Основними драйверами розвитку оптоволоконних мереж, на даний час, є:

- зростання попиту на хмарні сервіси;
- потокові відео (прямі трансляції, відеодзвінки і т.д.);

- онлайн-ігри (Valorant, Dota 2, Overwatch 2 і т.д.);
- технології VR (Virtual Reality) та AR (Augmented Reality);
- перехід на нові стандарти, такі як 5G (де оптичні мережі складають неабияку важливу частину у транспортуванні даних);
- розвиток концепції Smart City (Розумного міста) та Інтернету речей (IoT - Internet of Things).

Беручи до уваги ці аспекти, що спонукають оптоволоконні технології до швидкого розвитку, можна зробити висновок, що розвиток оптоволоконних мереж є один з найважливіших напрямів у телекомунікаційній індустрії, особливо для мегаполісів, таких як Київ, Дніпро, Львів і так далі.

Сучасні технології побудови оптоволоконних мереж доступу, станом на сьогодні, представлені різними архітектурами побудови та методами підключення абонентів до високошвидкісного інтернету. Існує концепція реалізації побудови мережі доступу з використанням оптоволоконних ліній зв'язку – FTTx (Fiber To The x, де x - це позначення, до якої саме точки буде виконано прокладання оптоволоконного кабелю). Ця концепція передбачає використання оптоволоконних ліній зв'язку для забезпечення доступу до мережі в залежності від того, де саме знаходиться кінцевий користувач. Тобто вона структурує ступені наближення до кінцевого користувача. Є безліч варіацій побудови. Деякі з них представлені на рис. 1.12.

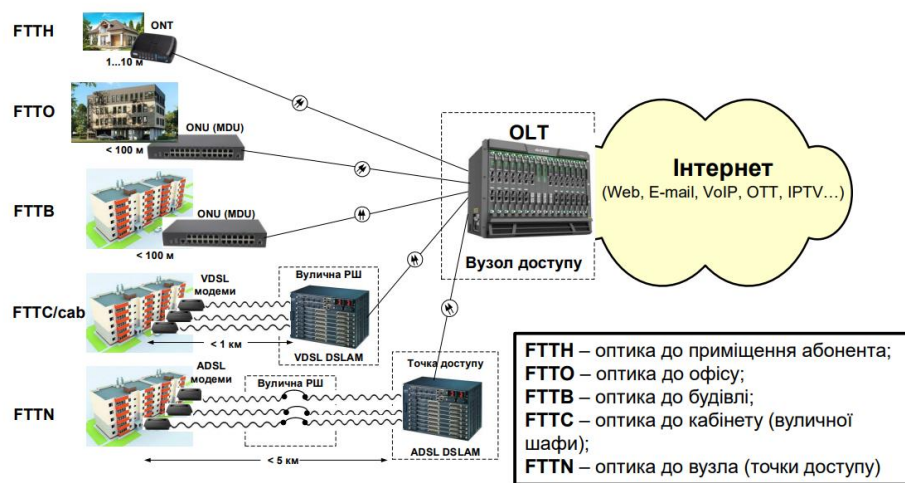


Рисунок 1.12 - Варіанти архітектури мереж доступу PON

FTTB (Fiber To The Building) [5] – волокно до будинку. В даному варіанті побудови передбачається доведення волокна до оптичного мережевого блоку, який розташовується на відстані менше 100 м. від терміналу клієнта (здебільшого для цього існує спеціально обладнане місце, яке може знаходитися на цокольному поверсі або на горищі житлового будинку або офісу). Притаманне для району з багатоповерховою забудовою.

FTTC (Fiber To The Curb) [5] – волокно до розподільчої шафи (у ній сигнал зазнає змін і подається у абонентські лінії (мідні виті пари). Волокно прокладається до оптичного мережевого блоку. Відстань між цим блоком та терміналом клієнта не має перевищувати 500 м. (реалізується даний варіант архітектури у вигляді розподільчої шафи, тобто фактично це точка розмежування магістральної та розподільчої ділянки телефонної мережі, де розміщується виносний модуль комутації або DSLAM). Дана архітектура є гарним варіантом для побудови в приватному секторі.

FTTH (Fiber To The Home) [5] – волокно до будинку абонента (користувача). Оптиковолоконний кабель прокладається до приміщення користувача, тобто до ONT (Optical Network Terminal) – індивідуальний термінал, який має бути встановлений у кожного клієнта для реалізації даної архітектури. Мідна ділянка абонентської лінії, в даному випадку, відсутня. Дана технологія ідеально підходить для місцевої забудови, через розвиненість даної архітектури у містах, де є попит на доступ до мережі Інтернет з великою швидкістю та низькими втратами сигналу.

Переваги та недоліки поширених варіантів архітектури мереж доступу PON

1. FTTH (Fiber To The Home) – це найкращий варіант з точки зору надійності, стабільності та швидкості, тому що оптиковолоконний кабель прокладається до будинку користувача відразу від приміщення оператора зв'язку. Загальний принцип реалізації представлений на рис. 1.13.

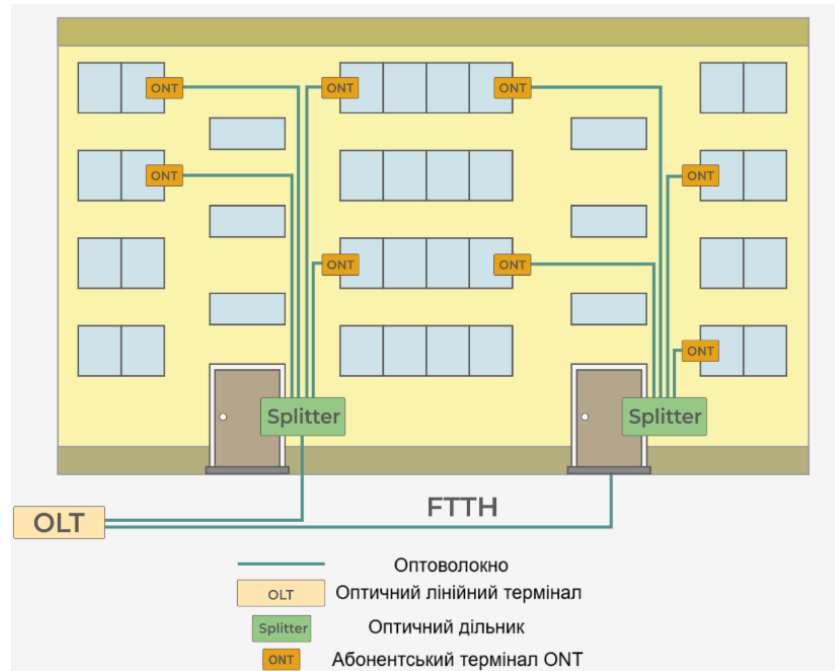


Рисунок 1.13 - Загальний принцип реалізації FTTH

Переваги FTTH:

- Максимальна швидкість передачі даних: від 1 Гбіт/с до 10 Гбіт/с. Це є одним з найкращих варіантів розвитку FTTx-технології;
- Низька затримка (< 1 мс). Це дозволяє раціонально та з більшою ефективністю використовувати мережу для сервісів реального часу, таких як: відеоконференції, онлайн-ігри, прямі трансляції, тощо;
- Висока надійність з'єднання: оптоволоконні лінії зв'язку менш залежні від електромагнітних завад та факторів, які спричинені погодними явищами, якщо порівнювати їх з мідними кабелями;
- Масштабованість: дана архітектура, може мати інфраструктуру, яка може бути модернізована до вищих швидкостей і при цьому не зазнати суттєвих змін у фізичному середовищі існування мережі.

Недоліки FTTH:

- Вони є доволі дорого вартісними з точки зору розгортання, що ускладнює масове впровадження даної архітектури побудови в деяких регіонах, містах, селах і т.д.;
- Складність будівництва та прокладання: необхідність забезпечити підключення кабелю до кожної квартири/будинку потребує значних

інженерних рішень та робіт, а також узгодження з відповідними органами влади.

2. FTTB (Fiber To The Building) – ця архітектура підведення оптичного кабелю до багатоквартирних будинків або офісів. Всередині будинку розведення кабелю до користувачів виконується кабелем “обвита пара” за технологією Ethernet або VDSL. Зазвичай обирають саме технологію Ethernet. Завдяки використанню доволі коротких ділянок мідних ліній забезпечується висока швидкість доступу для підключення користувачів до обладнання операторів, які надають послуги різних сервісів, таких як: Інтернет послуги для офісних центрів та Triple Play для сектору користувачів, що проживають у багатоквартирних будинках. Загальний принцип реалізації представлений на рис. 1.14.

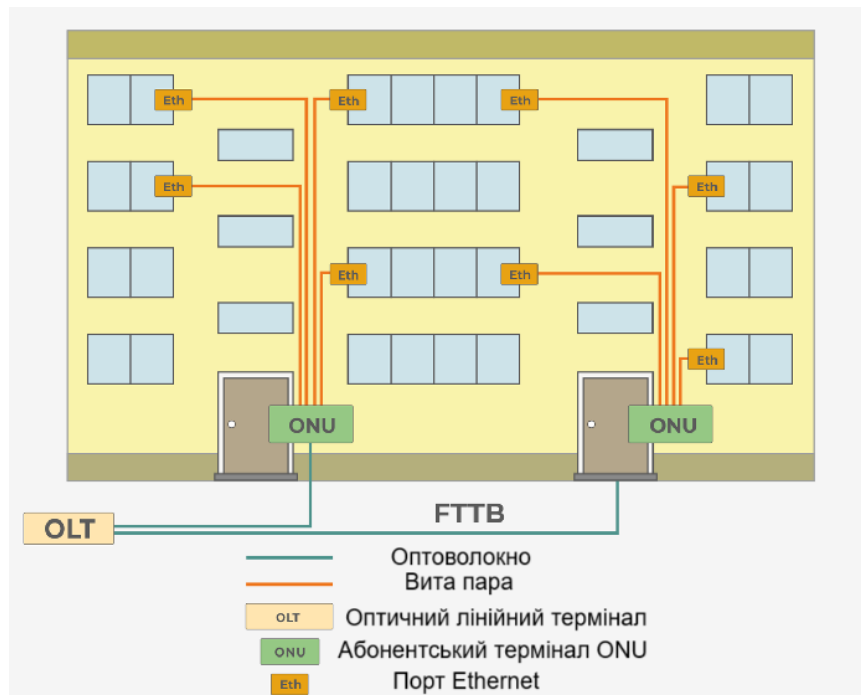


Рисунок 1.14 - Загальний принцип реалізації FTTB

Переваги FTTB:

- Висока швидкість передачі: до 1 Гбіт/с;
- Зниження витрат: у порівнянні з FTTN, використовується існуюча мідна або бездротова лінія зв'язку, що знаходиться всередині будівлі користувачів, що в свою чергу зменшує витрати на побудову мережі доступу;

- Можливість модернізації: згодом дану архітектуру, без великих витрат і складності, можна буде переробити в повноцінну FTTH (за потреби для користувачів у більш надійному з'єднанні).

Недоліки FTTB:

- Втрати сигналу у мідних кабелях: сигнал буде ставати слабкішим (кожні 100 м. втрати будуть сягати до 2 дБ);
- Залежність від внутрішньої мережі: кабелі, які є більш старими, можуть обмежувати швидкість передачі, а також стабільність переданого сигналу;
- Пошкодження обладнання: якщо розподільний вузол знаходиться біля будинку, то є можливість пошкодження обладнання з боку вандалів, які вчиняють хуліганські дії над власністю оператора і тим самим виводять з ладу систему, що в свою чергу призводить до втрати сигналу у користувачів.

3. FTTC (Fiber To The Curb) - дана технологія більше використовує мідні кабельні лінії, які прокладаються всередині будівель, що дозволяє збільшити швидкість передачі даних (якщо не порівнювати з іншими принципами побудови). Такий підхід є досить логічним і економічним рішенням для операторів надання послуг, які вже використовують технології xDSL та/або кабельного телебачення, бо за рахунок цього можливо досягнути підвищення обслуговування клієнтів і, разом з цим, підвищити пропускну здатність. Це в свою чергу покращує якість надання послуг для користувачів. Особливістю цього принципу побудови є те, що комунікаційний пристрій встановлений на відстані від приміщення користувача і представлений у вигляді шафи. Ця технологія загалом є компромісним рішенням, яке має свої переваги і недоліки. Загальний принцип реалізації представлений на рис. 1.15.



Рисунок 1.15 - Загальний принцип реалізації FTTC [10]

Переваги FTTC:

- Зменшення вартості для розгортання мережі: порівнюючи з FTTH та FTTB потребує меншої кількості оптоволоконних кабелів;
- У порівнянні з “традиційною” мідною мережею – забезпечує вищу швидкість передачі даних. Оптичне волокно дозволяє збільшити швидкість передачі до вузла доступу, що в свою чергу зменшує втрати сигналу;
- Можливість доволі легкої модернізації мережі: FTTC можливо поступово переобладнати на FTTH без кардинальних змін мережі в цілому;
- Краща якість сигналу: за рахунок використання в певній частині мережі оптоволоконних ліній зв’язку мінімізуються затримки, якщо порівнювати з мережами повністю побудовані за принципом мідних мереж, тобто xDSL.

Недоліки FTTC:

- Потреба у встановленні активних компонентів в точках доступу: для роботи вузлів FTTC необхідно інстальювати активні комутатори. Це збільшує кошторис під час проєктування та витрат на електроенергію в майбутньому. Не є раціональним, з точки зору можливості побудови кращої технології;
- Чутливість до технічного стану мідної ділянки мережі: якість з’єднання на пряму залежить від стану та довжини мідних кабелів зв’язку. Це може призводити до зменшення швидкості та збільшенні втрат сигналу в мережі;

- Менш надійний ніж FTTH, бо не є стійким до електромагнітних завад через використання мідних сегментів у мережі. Також не є стійким до погодних умов;
- Через використання мідного кабелю втрачає швидкість передачі даних: від вуличної шафи до приміщення користувача залежить від мідних кабелів (VDSL, G.fast), які в свою чергу створюють обмеження максимальної швидкості.

Різні варіанти архітектури оптоволоконних мереж доступу мають свої особливості та сфери застосувань. Для того, щоб раціонально і ефективно обрати архітектуру необхідно враховувати певні параметри, а саме:

- відстань до користувача;
- пропускна здатність;
- вартість впровадження архітектури (економічна складова проєкту);
- масштабованість мережі та її надійність.

1.4 Висновки з розділу 1

У цьому розділі було розглянуто теоретичні аспекти, що надають можливість у повній мірі зрозуміти з чого складається пасивна оптична мережа, які є види побудови оптоволоконних мереж доступу та яке обладнання використовується при побудові, також представлені інші технічні характеристики. На основі цієї інформації проєктувальник мережі може здійснювати розробку проєкту для побудови нової мережі або, наприклад, модернізації існуючої. При цьому, даний матеріал є необхідним для тих, хто займається даним видом діяльності. Це може зменшити час на розробку мережі через те, що не виникне потреба в отриманні додаткової інформації щодо того, яким чином реалізувати те чи інше обладнання у мережі. Це є теоретичною частиною, яка є “фундаментом” для проєктування, але не є її фактичною реалізацією. Кожен проєкт є фактично унікальним і потребує певного креативного підходу до реалізації, тому в наступних розділах даної дипломної

роботи буде розглянуто практичні аспекти розробки проєкту для міської агломерації.

2 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПРОЄКТУВАННЯ МЕРЕЖ ДОСТУПУ ДЛЯ МІСЬКОЇ АГЛОМЕРАЦІЇ

2.1 Завдання та основні етапи проєктування

В даній частині дипломної роботи будуть розглянуті завдання, що покладаються на проєктувальників під час розробки проєкту щодо розгортання мереж доступу для міської агломерації. Щодо міської агломерації, варто зазначити, що існують певні обмеження, що ускладнюють роботу інженерів-проєктувальників. Це включає такі аспекти як: щільна забудова у міських умовах (ускладняється прокладання оптоволоконних ліній зв'язку); більша дальність прокладання оптоволоконного кабелю (пов'язано з можливим великим рознесенням між кінцевими терміналами (користувачів) та приміщенням оператора зв'язку); визначення можливості модернізації мережі (наскільки доцільно оновлювати мережу та чи є така можливість); проєктування мереж з обмеженим оптичним бюджетом (потребує чітких і вірних розрахунків під час проєктування, для справної роботи мережі доступу, щоб користувач мережі доступу отримав якісне з'єднання з сервісами, які він вимагає).

Основне завдання полягає в тому, щоб користувач отримав ті послуги і сервіси, які мав на меті отримати. Також користувачі можуть замовити підключення за певною архітектурою (FTTH, FTTB, FTTC тощо), висунути вимоги щодо розміщення певного обладнання або кабелів (наприклад, якщо це приватна територія і замовник має виділене місце під прокладання оптоволоконного кабелю у себе на земельній ділянці). До оператора зв'язку можуть звернутися стосовно питань, таких як: вимога до більшої швидкості Інтернету для забезпечення швидкої передачі даних, прокладання певних типів ліній для задоволення потреб користувача (ADSL, VDSL тощо) і т.д.

Інші завдання полягають в тому, щоб забезпечити оптимальне розміщення всіх ділянок та обладнання для стабільного і безперебійного функціонування оптоволоконної мережі, а також для раціонального та ефективного економічного освоєння бюджету, що виділяється на певний проєкт. Це включає в себе завдання, які потребують узгодження і вирішення під час проєктування, а саме:

- визначення місця прокладання оптоволоконного кабелю (це може стосуватися як прокладання всередині будівлі (в шахті ліфту, через підвальне приміщення, між сходами, за допомогою ПВХ-труб тощо), так і в іншій споруді/місцевості (на це впливає щільність населення/забудови та наявність вже існуючої телекомунікаційної інфраструктури));
- тип прокладки (у вигляді ПЛЗ, всередині кабельних каналізацій, підземне прокладання у ґрунті і т.д.) та можливості реалізації того чи іншого варіанту (наявність стовпів для ПЛЗ, наявність місця в кабельній каналізації і т.д.);
- визначення місця розміщення оптичних муфт (згідно визначеної робочої довжини оптоволоконного кабелю – встановлюється через кожні 2 кілометри);
- на якій відстані розміщувати станційне обладнання (OLT) для задоволення в повній мірі існуючої потреби (існуюча забудова місцевості та відповідно існуюча певна кількість абонентів) у доступі до мережі, а також планування розвитку мережі для районів, де в найближчому майбутньому зросте кількість користувачів телекомунікаційних послуг (новобудови, як житлові будинки, так і офісні приміщення тощо);
- вибір топології мережі (в залежності від місцевості та потреб у якості та швидкості сигналу тощо);
- вибір оптичного волокна (є найважливішим пунктом під час проектування, бо це є фактично “хребтом”, на якому функціонує та працює мережа). Тип волокна, його характеристики (ті ж самі втрати під час передавання сигналу) та врешті-решт виробник – це основні критерії під час вибору оптичного кабелю (вибір волокна формується на основі конкретного проєкту);
- розуміння в повній мірі, який оптичний бюджет є в наявності і комбінувати його з технічною, економічною складовою проєкту, а також зважати на доцільність використання того чи іншого обладнання, кабелю або, навіть, способу прокладки. Це все формується на основі вимог клієнта та його економічною спроможністю.

Це є основними завданнями та критеріями, на які варто зважати під час розробки проєкту.

Під час проєктування оптоволоконної мережі доступу, в межах місцевої агломерації, потрібно зважати на безліч аспектів, які мають бути погоджені з іншими. Це може стосуватися питань щодо надання дозволу на проведення робіт на тій чи іншій території. Наприклад, прокладання оптоволоконного кабелю по вул. Милославська, м. Київ – це територія яка належить місту і для проведення робіт на ній потребується певний дозвіл, який потрібно отримувати після подачі певних документів у відповідний орган місцевої влади. Це лише одне питання, що виникає перед проєктувальниками, але воно має бути повністю вирішене, тому потрібно відповідально підходити до кожного етапу проєктування, задля того, щоб не виникали конфлікти інтересів між різними сторонами (наприклад, зі сторони міста та організації, що проводить роботи з побудови телекомунікаційної мережі).

Основні етапи на проєктування мають вагому роль. Деякі етапи можуть мати певну монотонну роботу, але від них залежить як буде сформовано проєкт в цілому. Ці етапи включають:

1. Збір вихідних даних для проведення подальших робіт щодо проєктування.

Це може включати в себе:

- дані, які надав замовник:
 - план детального планування свого житла (квартира/будинки/офіс);
 - план забудови певних районів/мікрорайонів для повного розуміння ситуації на місцевості;
 - інформація про щільність населення;
 - інформація про наявну інфраструктуру на цій території (наявність кабельної каналізації або ПЛЗ). Зазвичай надається у вигляді схеми;
 - дані щодо охоплення користувачів технологією Passive Optical Network (PON) в житловій забудові. Для будинків, які вже були на цій території та тих, які лише нещодавно були збудовані (новобудови) – дані можуть відрізнятися. Також може бути надана інформація щодо охоплення цією технологією офісних приміщень, певних організацій, які можуть розташовуватися або в житловій забудові, або в відокремлених будівлях/приміщеннях;

- вимоги щодо вибору технології PON. Замовник може вимагати певний тип, наприклад: GPON замість GEPON або навпаки;
- вимоги щодо певного виробника активного обладнання оптичного лінійного терміналу (OLT). Це може стосуватися того, що, наприклад, замовник вимагає обслуговування на основі обладнання від виробника “Alcatel” (Франція) замість “Huawei” (КНР - Китайська Народна Республіка), що може бути пов’язано з політикою компанії замовника (сектор кіберзахисту) або інших причин;
- інформація щодо потреби в широкосмуговому доступі до мережі;
- дані, що стосуються питань енергетичного бюджету, затухання інтерфейсів пасивної оптичної мережі в складі активного обладнання;
- інформація щодо виробника пасивного обладнання та компонентів;
- дані, щодо того, який тип конекторів був обраний замовником (SC, LC, FT, ST і т.д.);
- дані щодо максимальної ємності магістрального та розподільного волоконно-оптичного кабелю (ВОК).
- аналіз місцевості та визначення місць встановлення обладнання (активного та пасивного);
- збір інформації щодо будівель (кількість поверхів, під’їздів (та визначення з якого боку будівлі вони розміщені)), квартир та технічних приміщень (дах, підвал, комори тощо);
- аналіз кількості квартир на певному поверсі, кількості кімнат у офісному приміщенні та загалом аналіз приміщення на кількість кімнат. На даному етапі проводяться роботи щодо оформлення ескізів та фотофіксація приміщень;
- збір іншої інформації про приміщення, в якому планується прокладати оптоволоконну мережу (наявність різних можливостей щодо прокладання кабелів, здатність реалізувати розміщення обладнання в тій чи іншій точці будівлі і т.д.);
- визначення місця введення оптоволоконного кабелю до приміщення (це може бути здійснено через підвальне приміщення (притаманно під час прокладання кабелю через кабельну каналізацію), через перший поверх будівлі

(притаманно під час використання ПЛЗ) та іншими способами в залежності від проєкту). Якщо планується прокладати кабель в вже існуючій інфраструктурі будівлі, то потрібно перевірити чи є можливість прокласти оптоволоконну лінію, наприклад, в кабельній каналізації/ніші (чи є там місце для прокладки) та загалом перевірити їхній стан для визначення актуальності прокладання кабелю на їхній основі;

- визначення розташування оптичної розподільчої коробки/боксу (ОРК). Визначається на основі вихідних даних, що були зібрані у попередніх пунктах;
 - визначення необхідності (актуальності) у потребі підземної прокладки, побудови кабельної каналізації для прокладання оптоволоконної лінії зв'язку, встановлення обладнання на стовпах для організації повітряної лінії зв'язку (ПЛЗ). Кожен з цих принципів побудови включає в себе економічні фактори (наприклад, будівництво кабельної каналізації є значно дорожчим за будівництво ПЛЗ) та питання щодо того, що під кожен з цих принципів потребується обирати певний тип кабелю (вони мають різний характер в залежності від того прокладається кабель у повітрі (він має спеціальний трос у своїй основі) чи під землею або в кабельній каналізації (оболонка кабелю є більш захищеною від механічних пошкоджень));
 - Всі ці дані, отримані від замовника та отримані на основі аналізу місцевості/приміщення вносяться в спеціальний протокол обстеження.
2. Задля того, щоб замовник отримав якісну послугу, потрібно вірно обрати технологію (GPON, GEPON, XG-PON, 40G-PON тощо) та архітектуру (FTTH, FTTB, FTTC тощо) мережі. Це є необхідним для надійного функціонування та організації відповідного рівня зв'язку, що потребує абонент, який висунув певні вимоги щодо сервісів (IPTV, CaTV, TDM, Інтернет-сервіси, VoIP та інші).
 3. Проєктування відповідної топології (дерево, шина, зірка) з розміщенням певних вузлів мережі. Від топології залежить:
 - які будуть втрати сигналу в мережі?;
 - чи буде здатність масштабувати мережу (модернізація)?;
 - яка буде економічна доцільність використання тієї чи іншої топології?

4. Вибір обладнання для певного проєкту та розрахунок оптичного бюджету. Є одним з найважливіших етапів проєкту через свою важливість (від обладнання залежить справність і функціональність мережі доступу). Обладнання може здаватися з виду однаковим (від різних виробників або моделей), але саме технічні характеристики формують вибір певного обладнання. Щодо оптичного бюджету, то це є так званий “ресурс”, який є обмеженим. Тому на основі нього ми маємо визначати дії щодо проєктування мережі, бо перейшовши межу цього “ресурсу” у мережі доступу будуть присутні втрати сигналу та завади, що призведе до зменшення швидкості сигналу або повної втрати сигналу. В свою чергу користувач може не отримувати послугу з надання сервісів або взагалі, або частково обмежено (наприклад, перегляд онлайн-трансляцій на платформі Twitch буде постійно перериватися і не даватиме змогу абоненту задовольняти свої потреби);
5. Розрахувати або виміряти значення згасання в кожному волокні оптичного кабелю на обраній довжині хвилі;
6. Визначити, які є вимоги щодо співвідношення сигнал/шум (SNR);
7. Визначення довжини робочої хвилі (1310 нм або 1550 нм);
8. Економічне обґрунтування проєкту. Цей пункт передбачає, що наприкінці проєктування, коли відомі всі компоненти мережі, обладнання, що буде задіяно, то формується бюджет мережі. На основі нього визначається:
 - чи є це економічно доцільно?;
 - чи влаштовує це замовника проєкту (бюджет замовника дозволяє виконувати дану роботу щодо прокладання мережі і її подальшого обслуговування)?;
 - чи є потреба в оптимізації певних процесів (вибору більш дешевого обладнання, яке задовольнятиме висунуті потреби)?

Після економічного розрахунку можуть постати питання перед замовником або прибрати/понизити певні потреби (використання ADSL замість VDSL; прокладання оптоволоконного кабелю за FTTB архітектурою замість FTTH; відмовитись від певних сервісів (IPTV, VoIP тощо), або загалом відмовитися від даного проєкту.

9. На основі викладених етапів проєктування, після виконання певних дій, що потребувалися для того чи іншого проєкту – створюється проєктна документація на основі, якої виконується побудова/модернізація оптоволоконної мережі доступу.

Для кожного проєкту є свій власний (унікальний) підхід, що проявляється тим чи іншим чином, тому потрібно ретельно підходити до розробки, розрахунків та вибору обладнання і кабелів для мережі. Це є фундаментом для подальшої реалізації проєкту.

2.2 Вибір технології та архітектури мережі доступу PON в міських умовах

В міських умовах мережа доступу PON реалізується з певними особливостями. Це пов'язано перш за все з тим, що у містах здебільшого присутня більша щільність забудови і відповідно більша щільність населення, яка потребує отримання послуг. У порівнянні з сільською місцевістю, місцева потребує більших фінансових затрат через більшу дальність (здебільшого) прокладання оптоволоконного кабелю, а також для певних архітектур і кабелів типу “вита пара”.

Варто зазначити, що у містах, на сьогоднішній день, багатоповерхова забудова налічує в середньому 10-16 поверхів (якщо брати до уваги такі міста як Київ, Львів, Одеса, Дніпро тощо), що ставить перед проєктувальниками завдання визначити оптимальну топологію, архітектуру і, разом з тим, технологію мережі доступу.

В даній дипломній роботі розглядається дві архітектури побудови мережі: FTTB та FTTC. Враховуючи це, далі буде описано вибір технології мережі доступу PON в міських умовах саме для них.

Fiber to the Building в міських умовах:

Як було описано у попередньому розділі [1.3], даний вид реалізації мережі підводить оптичний кабель до будівлі/офісу користувача (до оптичного мережевого блока, що знаходиться на відстані не більше 100 метрів від

користувача). В умовах розміщення у місті, FTTB застосовується в районах зі значною щільністю населення та у місцях, де платоспроможність користувачів є середньою (у порівнянні з FTTN, де платоспроможність користувача є високою, але там використовується принцип прокладання оптичного волокна до квартири/кімнати користувача, що в свою чергу і збільшує витрати на реалізацію мережі доступу).

Приклад типової місцевості для даної технології: житловий масив Троєщина (Деснянський район, м. Київ); мікрорайон Шулявка (Солом'янський район, м. Київ); Шевченківський район, м. Харків тощо.

Fiber to the Curb в міських умовах:

У даній варіації архітектури мережі доступу основними рисами, що вирізняє її від інших є те, що вона ідеально підходить для малоповерхових будівель (житлових та не житлових, тобто офісів тощо) і є гарним варіантом для будівель не елітного сектору або, навіть, забудови дачного типу. Ці типи забудови, відповідно, характеризуються малою щільністю населення (користувачів), попит на більшу швидкість доступу до мережі/обміну інформацією є невеликим. Також необхідно звернути увагу, що в містах такі забудови теж існують. Це є приватним сектором, який здебільшого розміщується на околиці міста (в середмісті також існують будівлі даного типу, але зустрічаються вони рідше).

Можна навести яскравий приклад, як: село Троєщина, м. Київ (назва місцевості); Русанівські сади (дачна забудова на березі р. Дніпро), м. Київ; мікрорайон Підзамче, м. Львів і т.д.

На рис. 2.1 наведено графічне представлення вище сказаного з вказанням архітектур FTTB, FTTC та FTTN (у якості прикладу, враховуючи попередні порівняння з даною варіацією побудови мережі).

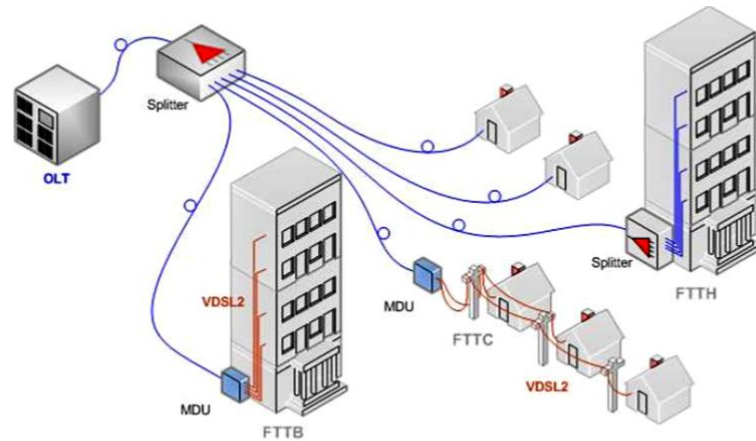


Рисунок 2.1 - Варіації побудови мережі доступу в міських умовах [11]

Як видно з рис. 2.1 для FTTC притаманним є обрання топології типу “шина”. Це пов'язано з тим, що будівлі розміщуються лінійно (уздовж вулиці) і раціональним рішенням є використати саме “шину”. У даній топології використовується менше оптичних розгалужувачів, а сигнал ділиться каскадно, на кілька точок уздовж лінії, що при невеликій кількості будівель є гарним рішенням (при збільшенні каскадів сигнал буде втрачати свою потужність і з часом просто затухне). Це дозволяє оптимізувати витрати, бо немає потреби у використанні, наприклад: оптичних муфт, коробок, зменшується довжина оптичного кабелю. Це зменшує вартість будівництва мережі, що є важливим чинником, бо частіше за все FTTC обирають як дешевшу альтернативу більш швидшим архітектурам. При проектуванні Fiber to the Curb важливо пам'ятати, що оптична ділянка до вузла є обмеженою, а мідна ділянка мінімізованою, тому топологія “шина” дозволяє компактно розмістити вузли уздовж вулиці (лінії) і при цьому не перевищити допустимі втрати.

У табл. 2.1 наведено основні критерії двох типів побудови оптоволоконної мережі для міста. Завдяки даній таблиці можна підсумувати, яка архітектура краще підходить і які потреби користувача охоплює.

Таблиця 2.1 - Порівняльний аналіз FTTB та FTTC в умовах міста

Архітектура	FTTB	FTTC
Цільове середовище	Багатоповерхова забудова з високою щільністю населення	Приватний сектор, дачна забудова, малоповерхові будинки
Рекомендована відстань від ONU/ONT до користувача	До 100 м.	До 500 м.
Тип будівель користувачів	Багатоквартирні будинки, офісні приміщення	Приватні будинки, невеликі офісні приміщення
Вартість розгортання мережі	Висока (з урахуванням робіт всередині будівель)/середня (здебільшого)	Нижча (прокладання оптики зупиняється біля будівлі)
Складність реалізації в умовах міста	Вища	Нижча
Надійність з'єднання	Вища (використовується коротка мідна ділянка, кабель типу: вита пара, Ethernet. Низький вплив завад)	Нижча (довша мідна ділянка, кабель типу: VDSL, G.fast. Більша чутливість до завад)
Швидкість та стабільність доступу	Вища (до 1 Гбіт/с), ближча до стандартів GPON	Обмежена (до 100-300 Мбіт/с для VDSL2; до 1 Гбіт/с для G.fast)
Можливість модернізації до FTTN-варіанту	Висока (оптичний кабель вже заведений в будівлю)	Не висока (потрібно здійснити прокладання оптичного кабелю всередину приміщення)
Енергоспоживання	Нижче (відсутні активні елементи мережі між ONU/ONT і клієнтом)	Вище (є необхідність у живленні для вузлів FTTC (DSLAM))
Доцільність в умовах агломерації	Ідеально підходить для щільної забудови	Оптимально для районів/мікрорайонів з рознесеною забудовою
Приклад застосування	Троєщина, Оболонь, Осокорки	Русанівські сади (м.Київ), Підзамче (м.Львів), Заріччя (м.Біла Церква)

Вибір технології для FTTC

Для FTTC, яка передбачає підведення оптичного кабелю до вуличної розподільчої шафи (вузла) доцільно використати технології GPON у поєднанні з технологіями xDSL або, можливо, застосувати технологію G.fast. Наприклад, за допомогою VDSL можна забезпечити швидкість від 100 до 300 Мбіт/с, а з використанням G.fast – швидкість буде на рівні 1 Гбіт/с. Потрібно зазначити, що все залежить від відстані “останньої милі” (мідна ділянка від розподільчого вузла до користувача).

Використання GPON є гарним рішенням для FTTC, тому що дана технологія надає змогу централізовано керувати трафіком та підтримує мультисерверність (доступ до мережі Інтернет, IPTV, VoIP). Також GPON має досить великий коефіцієнт розгалуження, а саме 1:128 (на 1 волокно 128 підключень). Це дає змогу доставляти великий обсяг інформації до вузла FTTC (DSLAM). Можна також використовувати такі технології, як XG-PON (10 Гбіт/с – downlink, 2,5 Гбіт/с - uplink) або XGS-PON (10 Гбіт/с – downlink, 10 Гбіт/с – uplink), але це з перспективою на майбутнє (збільшення попиту на швидкість у районах прокладання оптоволокна). На сьогоднішній день, оптимальним рішенням є використання саме технології GPON через гарне співвідношення ціна/якість. Можна також використати і технологію GEPON, але у неї використовується менший коефіцієнт розгалуження (1:64, на 1 волокно 64 підключення), не є гарним рішенням для тих, хто працює віддалено, має попит на використання потокового відеотрафіку (прямі трансляції, онлайн-зустрічі Zoom, Google Meet, IPTV), вимагає використання VoIP. Якщо вимоги є помірними, то можна реалізувати мережу з використанням бюджетного варіанту – GEPON (здебільшого попит на дану технологію в FTTC є більшим, бо є дешевшим і забезпечує потреби користувачів у доступі до мережі Інтернет).

Стосовно мідної частини мережі, то у табл. 2.2 наведено деякі характеристики для порівняння VDSL та G.fast (основні технології, що притаманні для “останньої милі”).

Таблиця 2.2 - Характеристики VDSL та G.fast

Технологія	VDSL	G.fast
Повна назва	Very High Bit Rate Digital Subscriber Line	Fast Access to Subscriber Terminals
Максимальна швидкість передачі даних	100 Мбіт/с у висхідному та низхідному потоках (VDSL2)	1 Гбіт/с на відстані 70 метрів, 800 Мбіт/с на відстані 100 метрів, 500 Мбіт/с через старий екранований кабель (100 метрів)
Тип модуляції	DMT	OFDM
Стандарт	ITU-T G.993.2, ITU-T G.993.5	ITU-T G.9700, G.9701

Вибір технології для FTTB

Для Fiber to the Building ідеальним рішенням є технологія GPON тому, що вона має досить швидку передачу інформації (2,5 Гбіт/с на низхідному напрямку та 1,25 Гбіт/с на висхідному). Це надає змогу отримати мультисервісний доступ до мережі, що є ідеальним рішенням для повного або принаймні часткового задоволення вимог абонентів. Через використання пасивного обладнання відсутня потреба у активному обладнанні між OLT та ONU/ONT. Враховуючи, що технологія буде використовуватися у багатоповерховій забудові, то GPON ідеально підходить для розгалуження в них. Одне волокно може забезпечити підключення 128 абонентів по оптоволокну (звісно до абонента буде надходити мідний кабель, за допомогою ONU/ONT буде здійснено перехід з оптичного сигналу на електричний). Допустимі втрати в ODN (Optical Distribution Network) при використанні даної технології становлять: для класу B+ до 28 дБ, а для класу C+ до 32 дБ.

Таким чином, доцільніше використовувати GPON для даної архітектури. Це можна сказати і про технологію XG-PON.

Для FTTB доцільно використовувати мідну частину мережі на основі кабелів Ethernet (LAN), бо користувач знаходиться на невеликій відстані. Наприклад, на основі кабелю Cat.5e можна отримати швидкість до 1 Гбіт/с згідно стандарту IEEE 802.3ab. Наприклад, при частоті 100 МГц даний вид кабелю буде

втрачати приблизно 0,2 дБ/м. Можна також використовувати VDSL2, що має 300 Мбіт/с у низхідному напрямку та 100 Мбіт/с у висхідному (згідно стандарту ITU-T G.993.2 [6]). Забезпечує достатню швидкість для базових послуг (IPTV у HD-якості, VoIP, потоковий відеотрафік).

2.3 Вибір активного та пасивного обладнання

Вибір активного і пасивного обладнання для FTTB та FTTC має свої особливості. Вони полягають у потребах споживачів телекомунікаційних послуг, бо на основі цих даних визначається, яку якість, швидкість та інші технічні характеристики має підтримувати те чи інше обладнання і не важливо чи це активний (OLT, ONU/ONT, DSLAM тощо) або пасивний (сплітери, конектори, оптичні кабелі, мідні кабелі тощо) компонент мережі.

В умовах міста є певні критерії, на які потрібно звернути увагу під час вибору обладнання.

Активне обладнання:

Активне обладнання – це те обладнання, що потребує електроживлення для своєї роботи. В оптоволоконній мережі зв'язку таким обладнанням виступає:

- оптичний лінійний термінал (OLT), який розміщується на станційній ділянці мережі (приміщення оператора зв'язку);
- оптичний лінійний термінал (ONU/ONT), який розміщується або в приміщенні користувача, або в розподільчій шафі/коробці на відстані від абонента;
- Мультиплексор доступу до цифрової абонентської лінії (DSLAM), який розміщується в розподільчій шафі на відстані (приблизно 300-500 метрів);
- Джерела живлення (блоки живлення, ДБЖ).

В архітектурі мережі оптоволоконного доступу FTTC, у ролі перетворювача оптичного сигналу на електричний виступає DSLAM і відповідно відбувається перехід з оптичного волокна на мідний кабель. В мережі, яка функціонує за принципом FTTB, використовується ONU (MDU). Приклад такого обладнання від компанії Huawei наведено на рис. 2.2. Дане обладнання

розраховане на велику кількість підключень користувачів (наприклад, 24 абоненти), у той час як ONT (який притаманний FTTH) дозволяє здійснити підключення меншої кількості користувачів. Потрібно враховувати те, що в умовах міста, що швидко розвивається – потрібно використовувати ту кількість портів, що повністю забезпечить існуючих користувачів, а також потрібно залишити декілька вільних портів для задоволення потреб майбутніх користувачів мережі.



Рисунок 2.2 - ONU (MDU) від компанії Huawei (SmartAX MA5821)

На рис. 2.3 представлено загальний вигляд DSLAM від компанії Siemens для того, щоб краще зрозуміти, що це за обладнання.



Рисунок 2.3 - Загальний вигляд обладнання від компанії Siemens (DSLAM SURPASS hiX 5625)

Загалом DSLAM призначений для мультиплексування сигналів xDSL-ліній для подальшого утворення групового цифрового сигналу з високою швидкості

передачі. Кількість інтерфейсів xDSL-ліній може сягати сотень або навіть тисяч з'єднань.

Пасивне обладнання:

До даного обладнання мережі відносяться ті компоненти, що не споживають електроенергію для підтримки своєї працездатності. Ці компоненти розташовуються в оптичній розподільчій мережі (ODN). Це такі компоненти оптоволоконної мережі як:

- одномодове оптичне волокно і волоконно-оптичні кабелі;
- пасивні розгалужувальні елементи (FBT- та PLC-сплітери);
- оптичні з'єднувачі;
- розподільча шафа/бокс (коробка);
- оптична муфта;
- пігтейли/патчкорди;
- оптичні розетки/патч-панелі.

Міжнародний союз електрозв'язку (ITU) має інформацію щодо опису кожного пасивного оптичного компоненту. Ця інформація надана в Рекомендації MCE-T G.671. Інформація щодо опису оптичного волокна та ВОК надана в Рекомендації MCE-T G.652.

Варто зазначити, що передача на downlink та uplink може здійснюватися за допомогою одного й того самого волокна та елемента (дуплексна робота) або з використанням окремих волокон та елементів (симплексна робота).

Для кращого уявлення про певні пасивні елементи мережі на наступних рисунках буде наведено загальний вигляд того чи іншого компоненту оптоволоконної мережі доступу.

На рис. 2.4 наведена різниця між розповсюдженням світлового потоку в одномодовому та багатомодовому волокні.

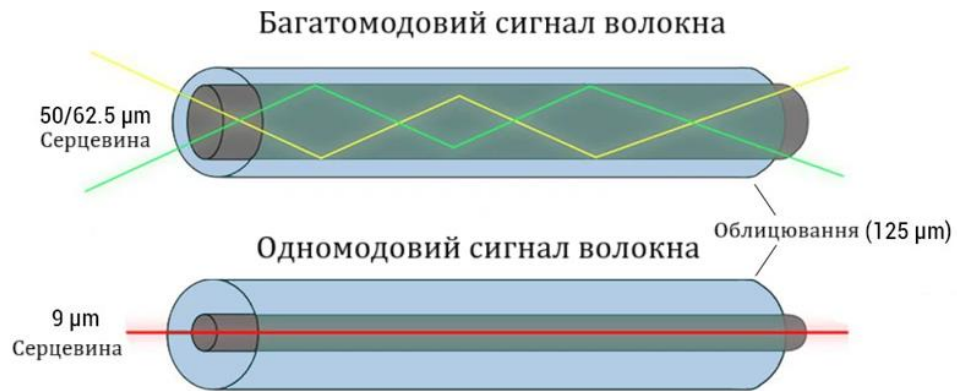


Рисунок 2.4 - Одномодове та багатомодове оптичне волокно

Як видно з рис. 2.4, діаметр серцевини у багатомодового волокна є більшим ніж діаметр у одномодового, але товщина облицювання (оболонки) кабелю є однаковою.

На рис. 2.5 представлена конструкція волоконно-оптичного кабелю (ВОК).

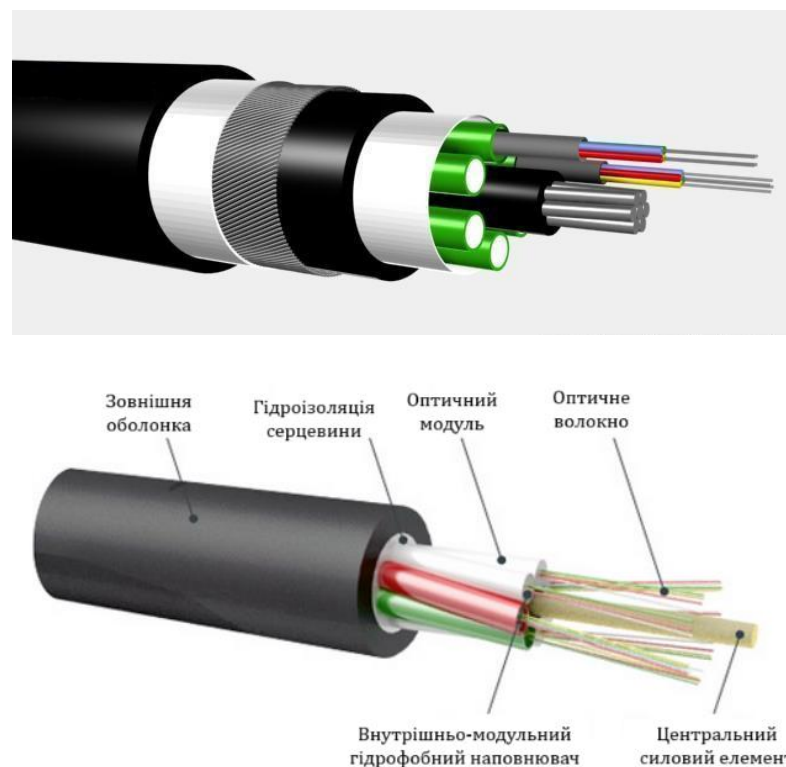


Рисунок 2.5 - Конструкція оптоволоконного кабелю

На рис. 2.6 та 2.7 представлені сплітери типу PLC та FBT.

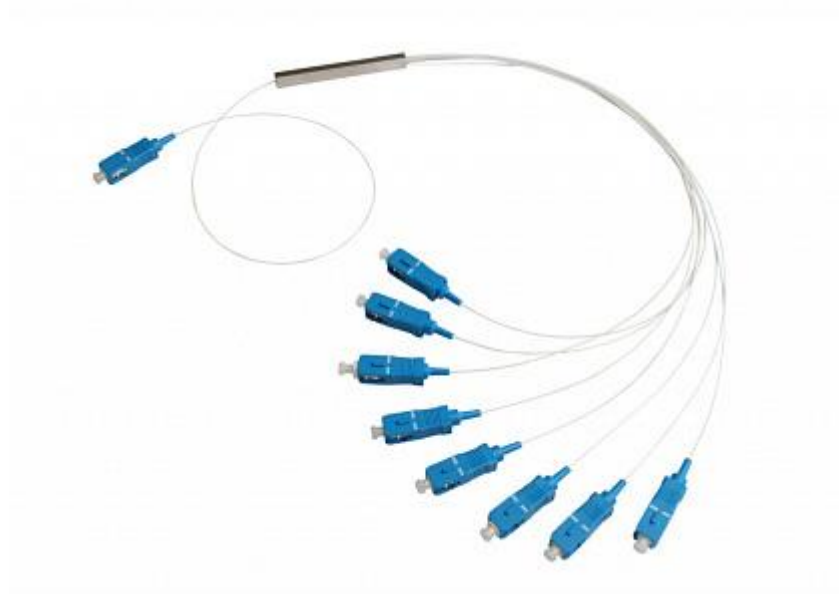


Рисунок 2.6 - Сплітер типу PLC 1x8 (SC/UPC, 900 μ m, G657A FiberField)



Рисунок 2.7 - Сплітер типу FBT 1x2

На рис. 2.8 наведена основна відмінність між сплітерами типу PLC та FBT, а саме: коефіцієнт поділу. Для сплітерів типу PLC поділ оптичного сигналу здійснюється рівномірно для кожного волокна, в той час як для FBT-сплітера – це значення можна регулювати. Це створено для використання в різних умовах, що можуть виникати під час проектування мережі, наприклад, якщо втрати оптичного сигналу від виходів сплітера до відповідних ONU не однакові.

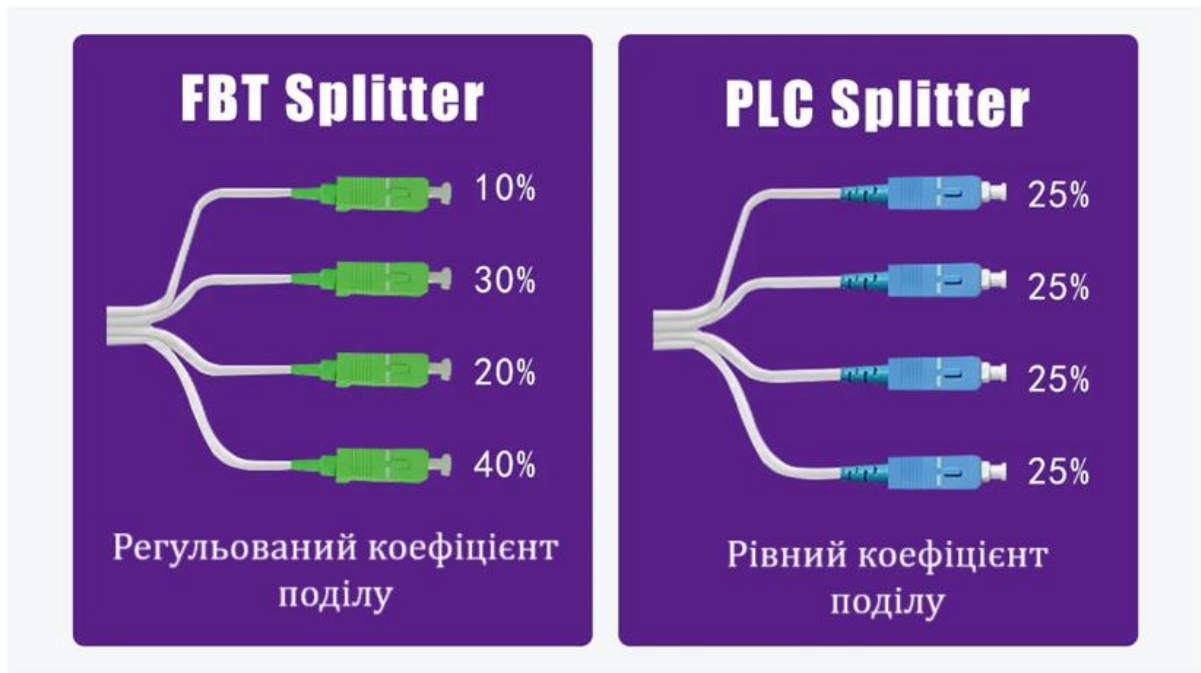


Рисунок 2.8 - Принцип реалізації коефіцієнту поділу у FBT та PLC-сплітерів

Оптичні з'єднувачі бувають кількох різних типів. Перший тип – це конектор типу SC (рис. 2.9).



Рисунок 2.9 - Оптичний з'єднувач SC-типу

Саме такий тип оптичного з'єднувача і рекомендується використовувати у PON, тим паче рекомендовано використовувати його з поліровкою типу APC (Angled Physical Connect - укр. Кутовий фізичний контакт). Це пов'язано з тим, що рівень відбиття становить приблизно -60 дБ і має найменше завад у порівнянні з іншими типами полірування. На рис. 2.10 наведено варіанти полірування оптичних з'єднувачів і їхні рівні відбиття (FLAT - Flat Polished Connector (укр. Плоский полірований конектор), PC - Physical Contact (укр.

Фізичний контакт), UPC - Ultra Physical Contact (укр. Ультрафізичний контакт)). Причому найгірший показник має полірування FLAT, а саме приблизно -30 дБ, що фактично вдвічі гірше за показник полірування APC.

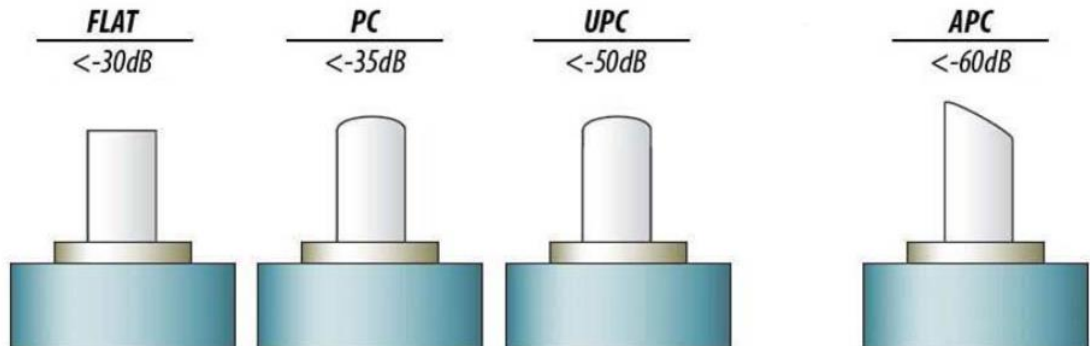


Рисунок 2.10 - Варіанти полірування оптичних з'єднувачів

На рис. 2.11 наведено варіанти оптичних з'єднувачів з різними типами полірування торця.

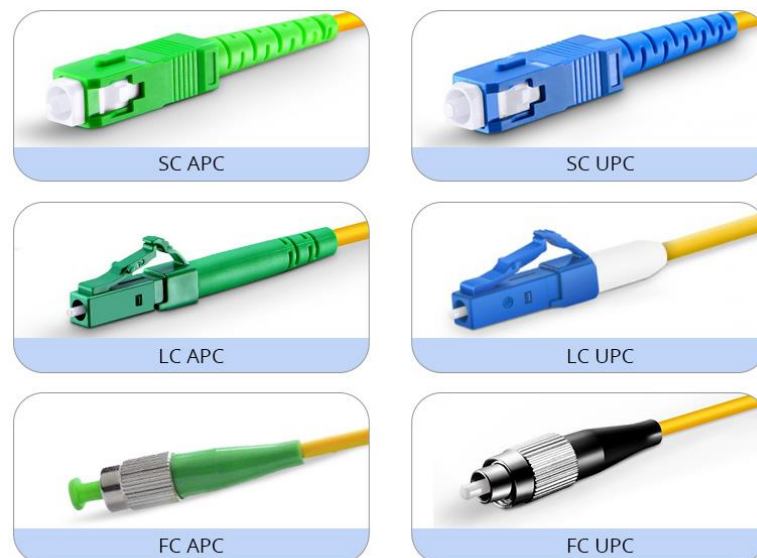


Рисунок 2.11 - Варіанти оптичних з'єднувачів з різними типами полірування торця

Щодо конектору типу LC, то це фактично є зменшений варіант конектору типу SC, який займає менше місця в серверних, офісах і т.д., але менш стійкий до механічних пошкоджень, тому все ж таки надати перевагу SC-типу.

Отже, для міської агломерації, для отримання швидкого та якісного з'єднання з мережею потрібно використовувати конектор (з поліруванням торця) - SC/APC, через його найкращі технічні параметри, що є неабияким важливим фактором для мережі доступу у місті.

На рис. 2.12 наведено загальний вигляд оптичної муфти, яка використовується для захищення зварного з'єднання двох будівельних довжин ВОК. Будівельна довжина ВОК залежить від кількості волокон і знаходиться в межах 2 - 7 км. Існують різні варіанти оптичних муфт прохідні, розгалужувальні, тупікові і т.д.



Рисунок 2.12 - Загальний вигляд оптичної муфти FOSC-B4-S24-1 на 24 волокна

На рис. 2.13 та 2.14 представлено загальний вигляд пігтейлу та патчкорду. Пігтейл має конектор лише на одному кінці (використовується: для зварювання з волокнами оптичного кабелю у кросі/шафі з метою подальшого підключення до обладнання), в той час як патчкорд має конектор на кожному з двох кінців (використовується: для підключення активного обладнання OLT/ONU до оптичного кросу або іншого пристрою; комутація в розподільних щитах, серверах).

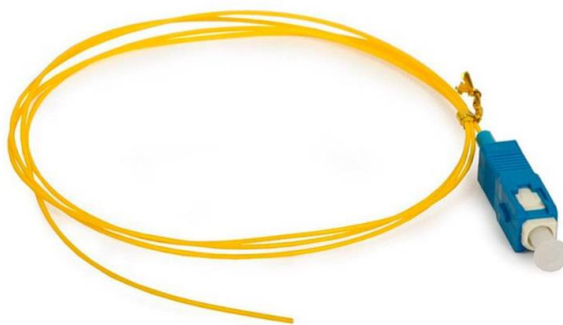


Рисунок 2.13 - Загальний вигляд пігтейлу



Рисунок 2.14 - Загальний вигляд патчкорду

Оптичні розетки/патч-панелі – це пристрої, що використовуються для з'єднання, організованого підключення та комутації оптичних волокон в оптоволоконних мережах доступу. На рис. 2.15 та 2.16 наведено загальний вигляд оптичної розетки та оптичної патч-панелі.

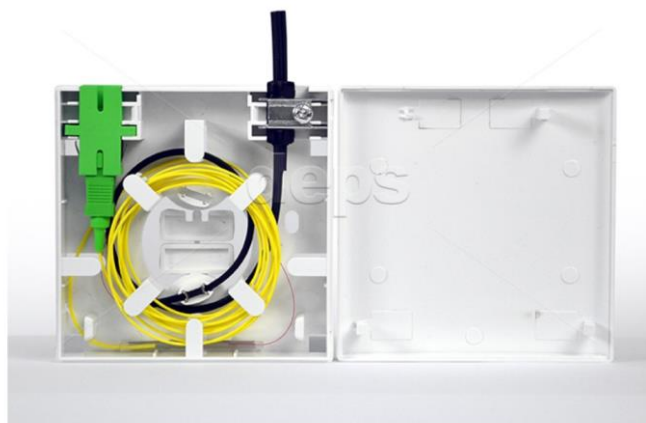


Рисунок 2.15 - Загальний вигляд оптичної розетки



Рисунок 2.16 - Загальний вигляд оптичної патч-панелі

Для міської агломерації важливо правильно обрати надійне обладнання як активне, так і пасивне. Потрібно звертати увагу на вимогу, що висуваються до проекту, які стандарти має підтримувати те чи інше обладнання, зважати на кількість оптичних волокон у ВОК, правильно обирати оптичний з'єднувач та тип полірування торця, а також правильно розраховувати довжину оптичного кабелю/волокна та обирати обладнання згідно кількості, що надає змогу підключити усіх користувачів, що забажали підключитися до оптоволоконної мережі доступу, а також враховувати майбутні підключення і залишати певний резерв.

2.4 Вибір технічних рішень щодо розміщення та параметрів сплітерів. Розрахунок оптичного бюджету

Проектування волоконно-оптичної мережі доступу потребує обґрунтованого вибору технічних рішень, що стосуються архітектури мережі, її ключових елементів, зокрема сплітерів. Для того, щоб правильно розмістити обладнання, потрібно розуміти скільки необхідно підключити користувачів. Це важливо, тому що сплітери, що мають великий коефіцієнт поділу оптичних волокон, відповідно мають і більше затухання оптичного сигналу.

Вибір типу сплітерів та місця їхнього розміщення

Як було вказано у підрозділі [2.3] – є два типи сплітерів: PLC (планарні інтегральні пристрої) та FBT (зварні). У міській агломерації доцільно

використовувати саме PLC-сплітери, бо вони мають більш стабільні характеристики, забезпечують рівномірність поділу потужності, є компактними і здатні працювати у широкому спектрі довжин хвиль.

Щодо зварних сплітерів, то частіше зустрічаються ті, що мають крок коефіцієнту поділу, що дорівнює 5%.

Розміщення сплітерів є досить важливим етапом реалізації мережі. Для FTTC-архітектури притаманна менша щільність користувачів і більша протяжність ділянки між ними. В такому випадку краще застосовувати каскадний тип підключення сплітерів (за принципом, наприклад: $1 \times 2 + 1 \times 8$ або $1 \times 4 + 1 \times 16$). Завдяки такому підходу вдається оптимізувати витрати, що стосуються закупівлі більшої довжини оптичного кабелю, бо зменшується кількість оптичного кабелю до кожної точки розгалуження. На рис. 2.17 наведено приклад каскадного розміщення сплітерів (варіант топології P2MP “дерево”).

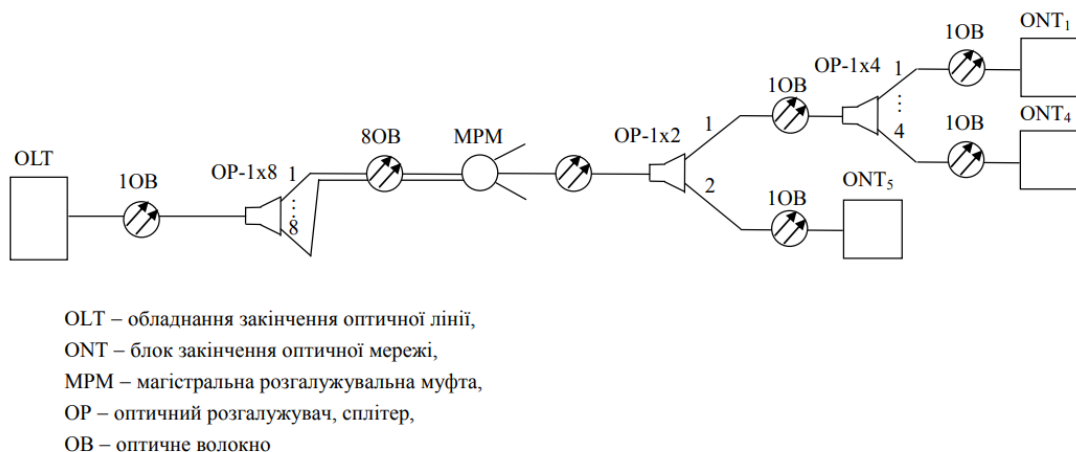


Рисунок 2.17 - Каскадне розміщення сплітерів [5]

Для мереж з використанням FTTB-архітектури використовують централізоване розміщення сплітерів. Їх розміщують в оптичному кросі на технічному поверсі або в підвалі. Коефіцієнт розгалуження, здебільшого має такі значення як (залежить від кількості користувачів): 1×32 або 1×64 (приклад для багатоповерхового будинку).

На рис. 2.18 наведено типові втрати для PLC- та FBT-сплітерів для коефіцієнту поділу від 2 до 128.

Планарні сплітери (PLC)		Зварні сплітери (FBT)		
Розгалуження	Ослаблення на вихідний порт, дБ	Асиметричне розгалуження на два виходи, відсоток	Ослаблення на хвилі 1310 нм, дБ	Ослаблення на хвилі 1490 нм, дБ
1x2	4.3	50/50	3.17/3.19	3.12/3.17
1x3	6.2	45/55	3.73/2.71	3.73/2.72
1x4	7.4	40/60	4.01/2.34	3.92/2.32
1x6	9.5	35/65	4.56/1.93	4.69/1.96
1x8	10.7	30/70	5.39/1.56	5.53/1.57
1x12	12.5	25/75	6.29/1.42	6.28/1.28
1x16	13.9	20/80	7.11/1.06	7.21/1.06
1x24	16.0	15/85	8.16/0.76	8.17/0.82
1x32	17.2	10/90	10.08/0.49	10.21/0.60
1x64	21.5	5/95	13.70/0.32	12.83/0.35
1x128	25.5			

Рисунок 2.18 - Типові параметри оптичних розгалужувачів

Характеризуються сплітери за:

- кількості входних і вихідних портів;
- коефіцієнт поділу оптичної потужності;
- робоча довжина хвилі;
- клас якості;
- технологія виробництва.

Сплітери бувають двох типів за кількістю входних портів:

- ті, що мають один входний порт (1xN);
- двовхідні сплітери (2xN).

Здебільшого, сплітери типу 2xN використовуються для резервування обладнання.

Параметри, що стосуються робочої довжини хвилі оптичних розгалужувачів діляться на:

- одновіконні ($\lambda=1310$ нм або 1550 нм);
- двовіконні ($\lambda=1310$ нм та 1550 нм);
- тривіконні ($\lambda=1310, 1490, 1550$ нм);
- широкосмугові ($\lambda=1310$ нм ÷ 1620 нм).

Розміщення сплітерів може бути:

- централізованим (у OLT або центральному вузлі). Може розміщуватися, наприклад в телекомунікаційній шафі або в дата-центрі;
- розподільне розміщення (розміщується ближче користувачів). Встановлюється у розподільчих коробках, муфтах, вуличних шафах, будівлях тощо);
- гібридний варіант (об'єднання централізованого і розподіленого варіанту). Дане об'єднання реалізовується у вигляді, наприклад: ОР на 1x4 розміщується у центральному вузлі, а ОР на 1x8 у розподільчій коробці). Це дає змогу оптимізувати підхід до реалізації побудови оптичної мережі доступу, тим паче полегшує роботу щодо проектування мережі у міській агломерації через свою гнучкість та ефективність від такого типу розміщення ОР.

Оптичний бюджет

Оптичний бюджет – це максимальна допустима сума втрат у мережі PON, при якій забезпечується стабільна передача сигналу від оптичного передавача (OLT) до оптичного приймача (ONU/ONT). Втрати мають знаходитись у межах між допустимими максимальними (OB_{max}) та мінімальними (OB_{min}) значеннями:

$$OB_{max} = P_{out,min} - P_{in,min}; \quad (2.1)$$

$$OB_{min} = P_{out,max} - P_{in,max}. \quad (2.2)$$

де: $P_{out,min}$ та $P_{out,max}$ - допустимі мінімальна та максимальна потужність передавача; $P_{in,min}$ та $P_{in,max}$ - мінімальний та максимальний рівень сигналу на вході приймача. Ці параметри залежать від класу обладнання GPON. Наразі в мережах GPON найчастіше використовується клас В.

Кожен компонент оптичного лінійного тракту PON має власну величину оптичних втрат.

В Рекомендації ITU-T G.983.1 [7] та G.984.2 [8] визначений діапазон послаблення сигналу в пасивній оптичній мережі (PON):

- клас А: 5 дБ – 20 дБ;
- клас В: 10 дБ – 25 дБ;
- клас С: 15 дБ – 30 дБ.

Ширина діапазону допустимого послаблення сигналу в мережі для мережі будь-якого класу становить 15 дБ.

Розрахунок оптичного бюджету в PON з оптичними розгалужувачами з рівномірним розподілом оптичної потужності по відгалуженням: [9]

Для кожного каналу OLT-ONU_i (i = 1...N, де N – це число користувацьких закінчень) можна описати умови щодо втрат в прямому (d) і зворотному (u) потоках:

$$OB_{d,min} \leq \alpha_d \cdot L_i + IL_i + AL + WL + RL_i + CL_i + SL_i \leq OB_{d,max} - \text{Штраф}_d - \text{Запас}, (2.3)$$

$$OB_{u,min} \leq \alpha_u \cdot L_i + IL_i + AL + WL + RL_i + CL_i + SL_i \leq OB_{u,max} - \text{Штраф}_u - \text{Запас}, (2.4)$$

де L_i – довжина i-го каналу, км;

α_d і α_u – питоме затухання в оптичному волокні на довжині хвилі прямого і зворотного потоків, дБ;

IL_i – втрати, що вносяться всіма ОР в i-му каналі, дБ;

RL_i – втрати на всіх конекторах роз'ємного з'єднання в i-му каналі, дБ;

CL_i – втрати на всіх нероз'ємних зварних з'єднаннях у i-му каналі, дБ;

SL_i – втрати на всіх нероз'ємних механічних з'єднаннях у i-му каналі, дБ;

AL – ослаблення сигналу на атенюаторі, дБ;

WL – ослаблення сигналу на WDM мультиплексорі, дБ;

Штраф – послаблення сигналу за рахунок старіння волокна/компонентів, впливу зовнішніх факторів, спотворення форми сигналу через вплив хроматичної і поляризаційної модової дисперсії, дБ;

Запас – технологічний запас у вигляді додаткових з'єднань та вставок при проведенні певних ремонтних робіт, дБ.

При цьому ослаблення сигналу можна розрахувати тільки на один канал OLT-ONU_i, тому що планарні розгалужувачі мають однаковий розподіл потужності для кожної гілки.

Для остаточного розрахунку оптичного бюджету необхідно мати технічні дані про виробника активного обладнання, оптичних компонентів і мережевих компонентів.

Розрахунок оптичного бюджету в PON з оптичними розгалужувачами з нерівномірним розподілом оптичної потужності по відгалуженням: [9]

Є певні вимоги щодо розрахунку оптичного бюджету в PON з ОР з нерівномірним розподілом оптичної потужності по відгалуженням:

- максимально допустиме послаблення сигналу не має перевищувати значення, що розраховане за формулою (2.1);
- мінімально допустиме значення послаблення сигналу не має бути меншим за значення, що розраховане за формулою (2.2).

У табл. 2.3, в якості прикладу, будуть представлені параметри ОР з нерівномірним розподілом оптичної потужності по відгалуженням (рекомендується використовувати ці дані для розрахунку внесених втрат для двовіконних ОР типу 1х2, які мають невеликий коефіцієнт поділу):

Таблиця 2.3 - Параметри ОР з нерівномірним розгалуженням

Коефіцієнт поділу, %	Оціночні внесені втрати, дБ	Різниця внесених втрат між вихідними портами, дБ
50/50	3,7/3,7	0
45/55	4,2/3,2	1
40/60	4,8/2,8	2
35/65	5,4/2,4	3
30/70	6,2/2	4,2
25/75	7,1/1,6	5,5
20/80	8,2/1,3	6,9
15/85	9,7/1	8,7
10/90	11,7/0,7	11
5/95	15,2/0,5	14,7

Для того, щоб встановити величину внесених втрат ОР із чисельною кількістю вихідних портів або із зміненням коефіцієнтом ділення A_i , дБ, рекомендується використовувати оціночну формулу, а саме:

$$A_i = 10 \lg(100\% / D\%) + \log 2(N - 1) \cdot 0,4 + 0,2 + 1,5 \lg(100\% / D\%), \quad (2.5)$$

де $D\%$ - це відсоток потужності, яка подається на конкретний порт, %;

N – загальна кількість вихідних портів;

i – номер певного вихідного порту.

Застереження. В розрахунках за цією формулою можна застосовувати дані з табл. 2.3. Однак, отримані значення будуть лише приблизно відображати величину внесеного затухання, яка може мати похибку в межах 0,1...0,4 дБ. Для отримання чітких розрахунків потрібно мати дані про внесені втрати для кожного ОР, які надаються виробником. Проте, наближені розрахункові дані також можуть бути використанні для проектування.

Для кожного оптичного каналу між OLT та ONT_i , загальні втрати в лінії, позначені як A_Σ (у дБ - децибелах), визначаються шляхом розрахунку суми загасань кожного з компонентів системи:

$$A_\Sigma = \alpha(l_1 + \dots + l_n) + WL + N_p \cdot A_p + N_c \cdot A_c + (A_{PA31} + A_{PA3m}), \quad (2.6)$$

де l_i – довжина i -ї ділянки, км;

n – кількість ділянок;

α – коефіцієнт затухання оптичного волокна, дБ/км;

WL – величина ослаблення сигналу на мультиплексорі з використанням технології WDM, дБ;

N_p – кількість роз'ємних з'єднань;

A_p – середні втрати в роз'ємному з'єднанні, дБ;

N_c – кількість зварних з'єднань;

A_c – середні втрати в кожному зварному з'єднанні, дБ;

A_{PA3i} – втрати в i -му ОР (сплітері), дБ.

По-перше, розраховується ослаблення для кожної гілки від OLT до ONT_i з урахуванням перших чотирьох компонентів (останній вираз в дужках ми не враховуємо). Після цього необхідно визначити, як розподілити сигнал в ОР. Починати слід з тих, що розташовані найбільш віддалено (останній каскад), щоб загасання скрізь було приблизно однаковим.

Далі цей процес потрібно повторити, але вже з урахуванням загасання в ОР, де коефіцієнт розподілу був обраний і відомо, яке загасання на кожному порті. Таким чином, розрахунки проводяться до того моменту, поки не буде розраховано коефіцієнти для ОР першого каскаду.

Розрахунок бюджету втрат – це ідеальний спосіб для оптимального способу перевірки та підтвердження того, що сумарний рівень втрат для кожної гілки (включаючи запас та штрафні втрати) OB_{min} , дБ, відповідає встановленому значенню, а саме:

$$OB_{min} \leq A_{\Sigma i} \leq OB_{max} - \text{Штраф} - \text{Запас}, \quad (2.7)$$

де $A_{\Sigma i}$ – загальні втрати в лінії (між OLT та ONT_i) для *i*-го каналу, дБ;

Штраф – це додаткові втрати, які пов’язані зі старінням волокна або компонентів мережі, а також впливом зовнішніх факторів тощо;

Запас – це певний технологічний запас/резерв у вигляді додаткових з’єднань і вставок, що використовується під час проведення ремонтних робіт, дБ.

Для остаточного розрахунку оптичного бюджету необхідно мати технічні дані про виробника активного обладнання, оптичних компонентів і мережевих компонентів.

2.5 Економічна оцінка мереж PON за архітектурою FTTC та FTTB

При проектуванні оптоволоконної мережі доступу одним з ключових пунктів є економічна оцінка та обґрунтованість проектних рішень. Дана оцінка визначає доцільність реалізації проекту з урахуванням фінансової спроможності замовника та потреб користувачів. У агломерації міста, де щільність населення та попит на доступ до високошвидкісного Інтернету варіюються в залежності від типу забудови, FTTC та FTTB-архітектури повинні ґрунтуватися не лише на технічній складовій, а ще й на економічній. В даному підрозділі будуть порівнянні економічні витрати (капітальні та експлуатаційні) для архітектур FTTC та FTTB, а також буде визначена їх економічна ефективність в умовах агломерації міста. Головні витрати на реалізацію оптичних мереж доступу

складають: витрати на обладнання, прокладання кабелю, монтажні роботи, обслуговування мережі, а також потенціал для модернізації.

Економічна оцінка оптоволоконних мереж доступу ґрунтується на 2-х основних категоріях витрат: капітальних (CAPEX) та експлуатаційних (OPEX).

Капітальні витрати (CAPEX):

- Вартість активного обладнання (OLT, ONU/ONT, DSLAM для FTTC);
- Вартість пасивного обладнання (ВОК, сплітери, конектори, муфти, розподільчі бокси тощо);
- Витрати пов'язані з прокладанням кабелю (оптичного та мідного для обох архітектур);
- Витрати на монтажні роботи (встановлення обладнання, зварювання волокон, підключення абонентів до мережі доступу).

Експлуатаційні витрати (OPEX):

- Обслуговування та ремонт обладнання;
- Енергоспоживання (для активного обладнання);
- Моніторинг та технічна підтримка мережі;
- Витрати пов'язані з заміною обладнання або модернізацією мережі в майбутньому.

Порівняльний аналіз економічної складової FTTC та FTTB:

FTTC:

CAPEX:

- Простіша у реалізації і має менший термін окупності, що є економічно вигідно;
- Завдяки меншій довжині оптичної ділянки зменшуються витрати на закупівлю ОК, що зменшує кошторис проєкту;
- Можна використовувати існуючу мідну інфраструктуру для підключення абонентів, що зменшує витрати на прокладання мідних кабелів до користувачів;
- Побудова у районах з більшою щільністю населення та високою поверховою забудовою є недоцільним з економічної точки зору (потенційні абоненти надаватимуть перевагу більш швидкій та якісній мережі);

- Вищі експлуатаційні витрати (пов'язано зі збільшеним використанням енергоспоживання).

OPEX:

- Витрати на обслуговування мідних кабелів;
- Витрати на підтримання активного обладнання у справному стані (надання безперебійного живлення, охолодження обладнання, постійне технічне обслуговування тощо);
- При масштабуванні/модернізації мережі, FTTC потребує значно більших коштів, аніж FTTB.

Дана архітектура має меншу швидкість передачі даних і обмежує користувача у доступі до ресурсів, що потребують вищу якість сигналу, тому тариф за дану послугу є меншим. Даний фактор впливає на окупність оптичної мережі доступу.

FTTB:

CAPEX:

- У порівнянні з FTTC вартість на прокладання є вищою за рахунок збільшення ділянки (ділянка до будинку/приміщення);
- Менша залежність від активного обладнання (кількість активного обладнання є меншою);
- Не потрібно встановлювати розподільчу шафу на вулиці;
- Побудова у районах з меншою щільністю населення та малоповерховими будинками є недоцільною з точки зору економічної доцільності;
- Потребує внутрішньої будинкової розводки, що збільшує витрати, особливо у старих будівлях, де відсутня сучасна кабельна інфраструктура).

OPEX:

- Нижчі витрати на обслуговування, бо в даній архітектурі більшу частину мережі покриває оптичне волокно, яке є стійким до зовнішніх впливів і має більший термін служби;
- Менше використання електроспоживання;
- Здатність масштабувати/модернізувати мережу за менші кошти завдяки більшому покриттю оптичним волокном.

Дана архітектура надає більшу швидкість та кращу якість сигналу для абонента. Це, в свою чергу, збільшує тариф для користувача і є більш дорожчим у порівнянні з тарифом за послуги надані на основі FTTC-архітектури.

Отже, економічно вигіднішим у короткостроковій перспективі є мережа побудована за принципом архітектури FTTC. Це пов'язано з меншими капітальними витратами і можливістю реалізації за рахунок існуючої мідної інфраструктури. Однак менша швидкість, вищі операційні витрати на обслуговування та складність модернізації (потребує більше коштів на оновлення) робить дану архітектуру менш привабливою з економічної точки зору. Щодо FTTB, то дана архітектура вимагає більших інвестицій на початку будівництва, але в подальшому не вимагає великих вкладень в обслуговування (порівняно з FTTC-архітектурою). Вона має кращу якість послуг, краще піддається масштабуванню/модернізації і не потребує значних вкладень для цього. Для міських мікрорайонів/районів даний варіант є кращим, а також для проєктів, що є довгостроковими і потребуватимуть розширення мережі в майбутньому.

2.6 Висновки з розділу 2

У даному розділі було у повній мірі розглянуті питання, що стосуються методики проєктування мережі доступу у міській агломерації, з урахуванням специфіки щільної забудови, різної платоспроможності користувачів та особливостей, пов'язаних з інфраструктурою, що притаманні FTTC- та FTTB-архітектур. Наведені чіткі вимоги щодо перед проєктних робіт для інженерів-проєктувальників, описані і проаналізовані завдання, які формують проєкт, також описано все обладнання, яке потребується для реалізації оптичної мережі доступу тощо. Наведено обґрунтоване рішення щодо вибору технології та архітектур PON-мережі, зокрема визначено, де краще застосовувати GPON та GEPON, для кожного з типів забудови або щільності населення. Було визначено, що FTTB краще використовувати у більш щільних районах та у багатоповерхових

будівлях, де є потреба у більшій швидкості мережі та кращій якості надання послуг. FTTC, у свою чергу, виявилась оптимальним рішенням для приватного сектору або малоповерхової забудови, де щільність населення є меншою. Це є більш простим варіантом для впровадження мережі та вимагає менші витрати на реалізацію такої мережі, але через більшу мідну ділянку швидкість та якість буде трохи гіршою, аніж у FTTB.

Особливу увагу було привернуто вибору топології мережі (“шина”, “дерево”, “зірка”), підбору активного та пасивного обладнання (з детальним описом). Це допоможе з реалізацією та підтриманням функціональності волоконно-оптичної мережі доступу.

Описаний розрахунок оптичного бюджету є важливим критерієм для оцінки мережі і формує його подальшу реалізацію та функціональність в цілому. Економічна оцінка для даних архітектур відображає витрати (капітальні та експлуатаційні), які притаманні кожній з них, а також проведений порівняльний аналіз надає краще уявлення про кожну з них.

Отже, описаний матеріал у даному розділі, дозволяє гнучко і ефективно реалізовувати мережі доступу в урбанізованих середовищах з урахуванням тих чи інших технічних вимог, особливостей місцевого розташування та економічної специфіки впровадження даної мережі за допомогою технологій PON та архітектур FTTB та FTTC.

3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ FTTC І FTTB У МІСЬКИХ АГЛОМЕРАЦІЯХ

У даному розділі буде наведено практичну реалізацію FTTC і FTTB у міській агломерації з детальним описом місцевості, обраного активного та пасивного обладнання, буде проведено розрахунок оптичного бюджету, а також проведено економічну оцінку реалізації мереж. Після того буде проведений порівняльний аналіз двох принципів побудови мережі доступу.

3.1 Реалізація FTTC у районі з меншою щільністю населення

Даний тип архітектури для прикладу буде реалізовано у Деснянському районі міста Києва, а саме у місцевості під назвою село Троєщина. В даній частині району, за адресою: вулиця Оноре де Бальзака, буд. 11, розташовуються дві будівлі (п'ятиповерхові). В кожній з них розташовується 1 під'їзд та 2 квартир на один поверх, тобто сумарно 10 квартир на будинок. У результаті проєкт охоплює 20 квартир, які потребують підключення до мережі доступу. Загальна кількість майбутніх користувачів складає приблизно 100 людей. Також у цьому районі розміщується АТС, на основі якої оператори зв'язку надають доступ до мережі та де розміщується OLT відповідно. Адреса АТС Деснянського району: вул. Рональда Рейгана, буд. 17. Карта-схема прокладання ділянки між АТС та будинками представлена на рис. 3.1. Загальна протяжність ділянки складає 1 км. 80 м. Дана мережа буде запроєктована на основі технології GPON.



Рисунок 3.1 - Карта-схема реалізації мережі доступу

Як видно з рис. 3.1, ділянка має протяжність сумарну понад 1 км. Так як ця мережа проєктується за архітектурою FTTC, то на відстані приблизно 300 метрів від будівель буде розміщено ОРШ, в якій буде здійснено перехід з оптичного сигналу (оптичний кабель) на електричний (мідний кабель), рис. 3.2.

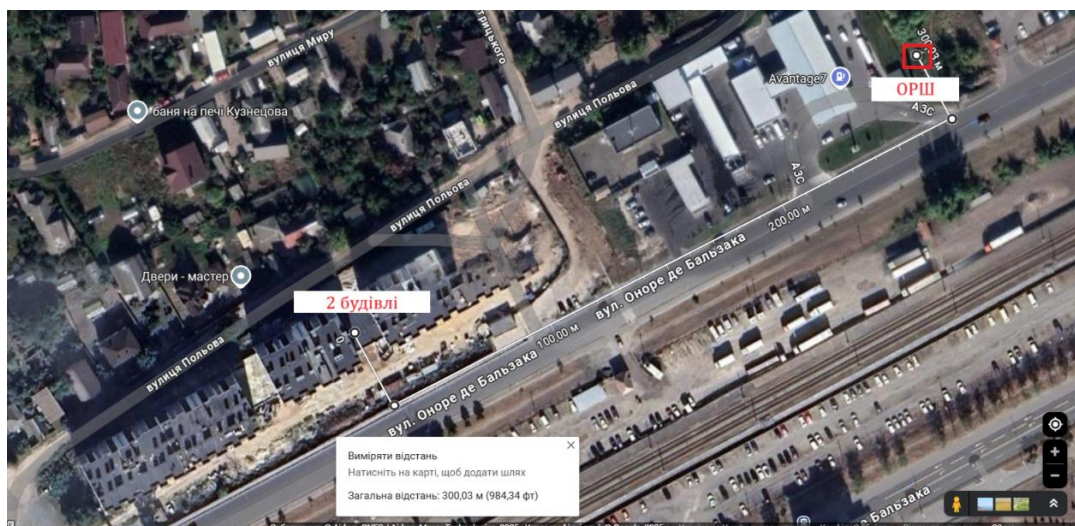


Рисунок 3.2 - Розміщення ОРШ

Дана мережа буде прокладатися підземним шляхом, тобто у кабельній каналізації. Ввід кабелю до будівлі буде здійснено через підвальне приміщення за допомогою спеціальних підвісних консолей, які після того виведуть кабель за допомогою ПВХ-труб до кожного користувача (з першого по п'ятий поверх). Зі

сторони користувача (у квартирі) буде розміщений маршрутизатор/VDSL-модем, який надасть змогу отримувати відповідні послуги.

Отже, для даного проєкту потрібне ось таке обладнання:

OLT: Оптичний лінійний термінал BDCOM P3600-08E (розміщується в АТС Деснянського району), рис. 3.3;



Рисунок 3.3 - Оптичний лінійний термінал BDCOM P3600-08E

SFP-модуль: Модуль оптичний BDCOM GPON OLT-GSFP-C++ (розміщується в OLT), рис. 3.4;



Рисунок 3.4 - Модуль оптичний BDCOM GPON OLT-GSFP-C++

Оптична патч-панель: Патч-панель оптична ODF Line 19" 1U SC08 (розміщується в АТС Деснянського району), рис. 3.5;



Рисунок 3.5 - Патч-панель оптична ODF Line 19" 1U SC08

ВОК: Оптичний кабель FinMark UT008-SM-04, 8 волокон (довжина близько 800 м. (з запасом)), є магістральний кабелем, який розміщується на ділянці від АТС до ОРШ), рис. 3.6;



Рисунок 3.6 - Оптичний кабель FinMark UT008-SM-04, 8 волокон

Сплітер: PLC Splitter (Сплітер) 1x4, SC/UPC, 900 um, G657A FiberField (розміщується в ОРШ, 3 відгалуження для запасу/резерву), рис. 3.7;

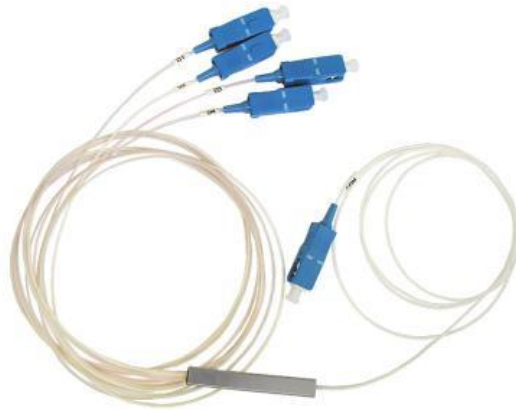


Рисунок 3.7 - PLC Splitter (Сплітер) 1x4, SC/UPC, 900 um, G657A FiberField

ОРШ: Розподільча шафа Україна ОРШ - ПВК-96(3) корпус (розміщується на відстані 300 м. від будівель), рис. 3.8;



Рисунок 3.8 - Розподільча шафа Україна ОПШ - ПВК-96(3) корпус

MDU: 2 абонентські термінали Huawei SmartAX MDU MA5626-16FE (кожен з них має 16 портів типу RJ-45, розміщуються дані MDU в ОПШ), рис. 3.9;



Рисунок 3.9 - Абонентський термінал Huawei SmartAX MDU MA5626-16FE

Патч-панель (мідна ділянка): Патч-панель 1U 24 порти кат. 5E 19" з менеджментом кабелю ззаду, UTP (розміщується в ОПШ і потрібна для організованого розміщення кабелю UTP cat.5e у стійці), рис. 3.10;



Рисунок 3.10 - Патч-панель 1U 24 порти кат. 5E 19" з менеджментом кабелю ззаду, UTP

Мідний кабель: Кабель UTP 4x2x0.49, кат. 5E-SL (котушка 305 м., для проекту буде закуплено 17 котушок для прокладання до будівлі, внутрішньо будинкової розводки та для запасу), рис. 3.11;

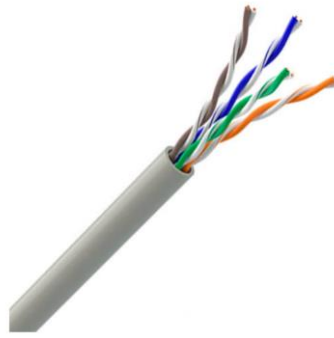


Рисунок 3.11 - Кабель UTP 4x2x0.49, кат. 5E-SL

Пігтейли: 2 пігтейли SC/UPC 1,5 м EServer, рис. 3.12;



Рисунок 3.12 - Пігтейл SC/UPC 1,5 м EServer

Патч-корди (оптичні): Патч-корд оптичний SC/UPC-SC/UPC SM 1м Simplex UPC-1SCSC(SM)S(ON) (потрібен для з'єднання OLT та оптичної патч-панелі), рис. 3.13;



Рисунок 3.13 - Патч-корд оптичний SC/UPC-SC/UPC SM 1м Simplex UPC-1SCSC(SM)S(ON)

Патч-корди (мідні): 20 шт. патч-кордів 0.5 м UTP cat.5e сірих W&T CAT.5E UTP CORDS-0.5M-GREY (потрібні для з'єднання MDU із патч-панеллю), рис. 3.14.



Рисунок 3.14 - Патч-корд 0.5 м UTP cat.5e сірих W&T CAT.5E UTP CORDS-0.5M-GREY

Тепер перейдемо до розрахунку оптичного бюджету. Для початку буде наведено схему всієї мережі для зручності розрахунку, рис. 3.15.

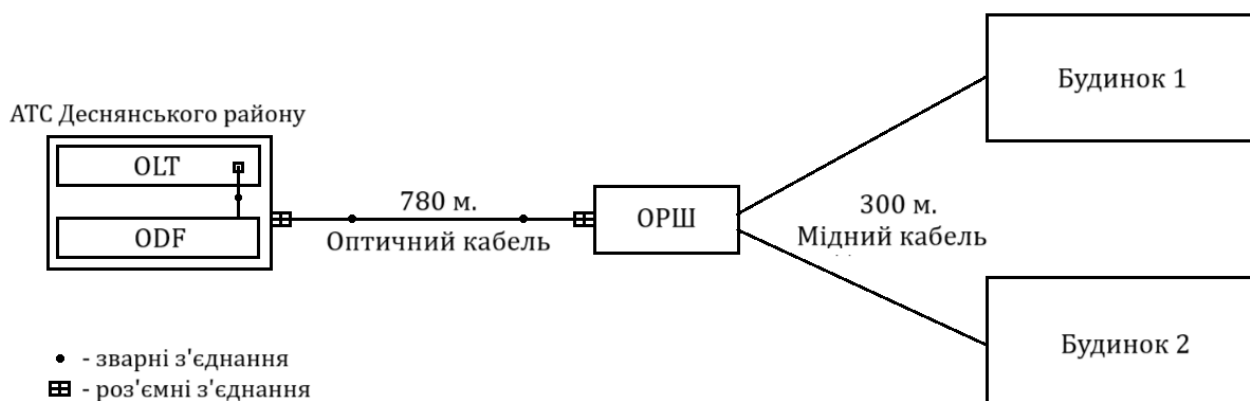


Рисунок 3.15 - Загальна схема всієї мережі

На рис. 3.16 представлена схема ОРШ, а на рис. 3.17 схема розведення кабелю всередині будівлі. Це допоможе краще зрозуміти структуру мережі. Представлена схема відображає принцип розведення кабелю для обох будинків.

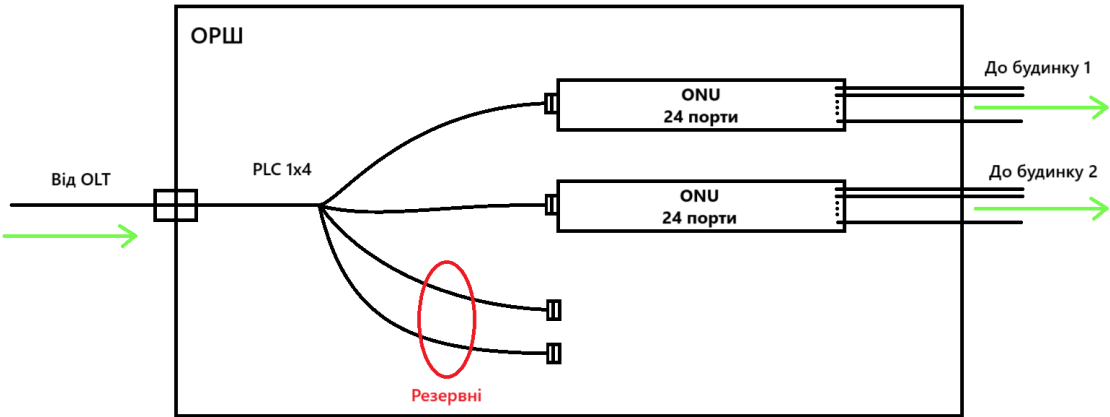


Рисунок 3.16 - Схема ОРШ

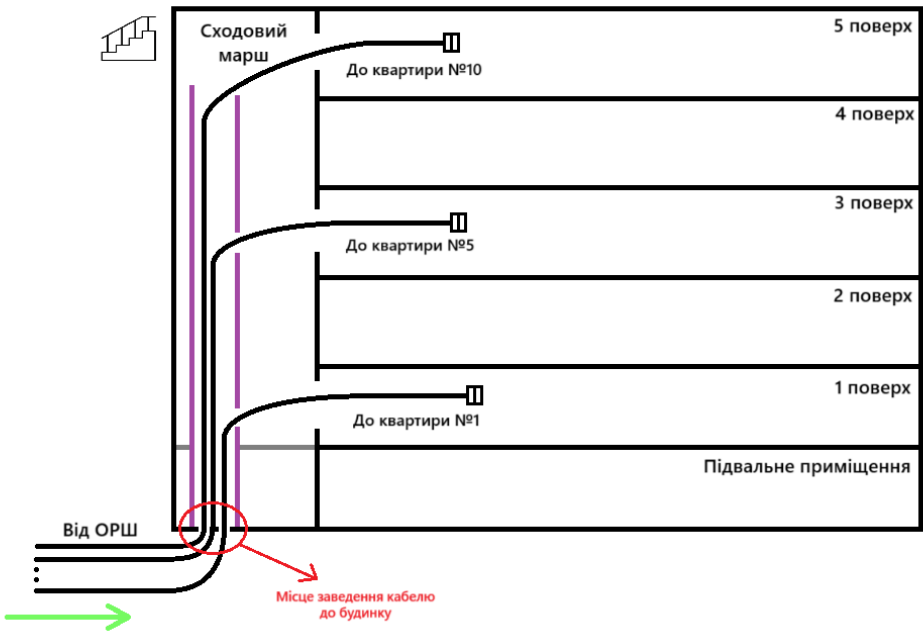


Рисунок 3.17 - Схема розведення кабелю у будинку

У табл. 3.1 наведено кількість з'єднань (роз'ємних та зварних):

Таблиця 3.1 - Кількість роз'ємних та зварних з'єднань

Ділянка	Роз'ємні	Зварні
OLT - ОРШ	5	3

Для визначення втрат на планарному сплітері буде використання таблиця з типовими параметрами розгалужувачів. Дана таблиця була наведена на рис. 2.19 у підрозділі [2.3]. У цьому випадку використовується PLC-сплітер з коефіцієнтом поділу 1x4, значення ослаблення на вихідний порт якого складає 7,4 дБ.

Отже, вихідні дані такі:

- Загальна довжина оптичного кабелю: 780 м.;
- Втрати у кабелі: 0,35 дБ/км.;
- Сплітер: PLC 1x4 із значенням втрат 7,4 дБ;
- Кількість роз'ємних з'єднань: 5, втрати кожного – 0,1 дБ;
- Кількість зварних з'єднань: 3, втрати кожного – 0,3 дБ;
- Резерв втрат: 2 дБ (штрафні втрати – 1 дБ та майбутні втрати за рахунок старіння волокна – 1 дБ).

Принцип розрахунку оптичного бюджету наведений у підрозділі [2.4], тому проведемо відповідні розрахунки:

Розрахунок оптичного бюджету:

1. Втрати у кабелі:

$$0,35 \text{ дБ/км.} \times 0,78 \text{ км.} = 0,273 \text{ дБ}$$

2. Втрати на зварних з'єднаннях:

$$0,3 \text{ дБ} \times 3 = 0,9 \text{ дБ}$$

3. Втрати на роз'ємних з'єднаннях:

$$0,1 \text{ дБ} \times 5 = 0,5 \text{ дБ}$$

Тепер потрібно визначити загальну суму втрат і якому класу відповідає дана пасивна оптична мережа:

$$\sum_{\text{заг.втрати}} = 0,273 + 0,9 + 0,5 + 7,4 + 2 = 11,073 \text{ дБ}$$

Отже, отримавши результат загальних втрат у мережі PON за архітектурою FTTC у значенні 11,073 дБ, можна зробити висновок, що дана мережа відповідає класу А мережі GPON. Клас А, як було згадано у підрозділі [2.4], має граничне значення у 20 дБ для ODN. Визначимо енергетичний запас, який існує в такій мережі. Для цього потрібно граничне значення для ODN відняти від загальних

втрат у мережі, в даному випадку отримано значення: $20 \text{ дБ} - 11,073 \text{ дБ} = 8,927 \text{ дБ}$. Мережа, що проєктується для місцевої агломерації на основі PON та FTTC є працездатною.

З економічної точки зору вся мережа коштує 110 984 грн. (без урахування монтажних робіт). З урахуванням монтажних робіт проєкт буде коштувати 288 734 грн.

3.2 Реалізація FTTB у районі з високою щільністю населення

Даний тип архітектури для прикладу буде реалізовано у Деснянському районі міста Києва. У даній частині району, за адресою: вулиця Миколи Закревського, буд. 55, розташовуються будинок (дев'ятиповерхові). В ньому розташовується 2 під'їзди та 5 квартир на один поверх, тобто сумарно 90 квартир на будинок. Є потреба у підключенні 41 квартири до мережі доступу, тому проєкт охоплює не всі квартири у будинку, а лише певну частину. В першому під'їзді підключення здійснюється для 21 квартири, в другому під'їзді – для 20 квартир. Загальна кількість майбутніх користувачів складає приблизно 200 людей. Також у цьому районі розміщується АТС, на основі якої оператори зв'язку надають доступ до мережі та де розміщується OLT відповідно. Адреса АТС Деснянського району: вул. Рональда Рейгана, буд. 17. Карта-схема прокладання ділянки між АТС та будинком представлена на рис. 3.18. Загальна протяжність ділянки складає 3 км. Дана мережа буде запроектована на основі технології GPON.

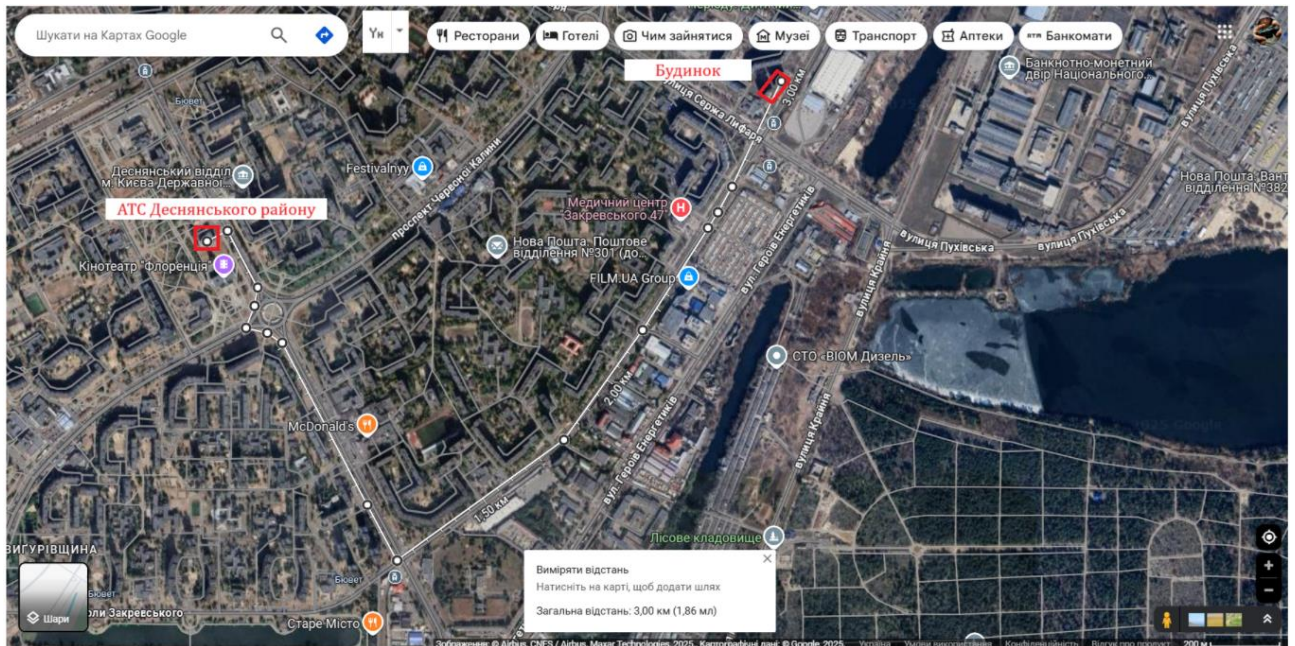


Рисунок 3.18 - Карта-схема реалізації мережі доступу

Дана мережа буде прокладатися підземним шляхом, тобто у кабельній каналізації. У підвальному приміщенні буде здійснено перехід на внутрішньо будинковий тип прокладки кабелю за допомогою сплітера, який буде розміщуватися в ОРК. Від даного ОРК буде здійснено підключення двох MDU за допомогою оптичних розеток, які розмішуються в серверних шафах. Ввід кабелю до будівлі буде здійснено через підвальне приміщення за допомогою спеціальних підвісних консолей, які після того виведуть волоконно-оптичний кабель через ліфтову шахту до технічного поверху будинку, де будуть встановлені серверні шафи. До квартир мідний кабель (вита пара) буде прокладено через ПВХ-труби. Зі сторони користувача (у квартирі) буде розміщений маршрутизатор/VDSL-модем, який надасть змогу отримувати відповідні послуги.

Отже, для даного проєкту потрібне ось таке обладнання:

- OLT: BDCOM P3600-08E (розміщується в АТС Деснянського району);
- SFP-модуль: BDCOM GPON OLT-GSFP-C++;
- Оптична патч-панель: ODF Line 19" 1U SC08;
- ВОК (АТС Деснянського району – будинок): FinMark UT008-SM-04, 8 волокон (довжина 3 км.);

- БОК (внутрішньо будинкової прокладка): Оптичний кабель розподільчий FinMark FTTH002-SM-02/Flex, 2 волокна (довжина 100 м.), рис. 3.19;
- Сплітер: PLC Splitter (Сплітер) 1x4, SC/UPC, 900 um, G657A FiberField (2 шт.);
- Серверна шафа та полички для неї: шафа серверна настінна 6U 19" глибина 500 мм акрил чорний CMS UA-MGSWA65B (2 шт.), рис. 3.20; консольна полиця 350мм 1U 19", EServer, чорна (2 шт.), рис. 3.21;
- ОРК: Crosver FOB-03-12, рис. 3.22;
- MDU: BDCOM P2000-24B (2 шт.);
- Патч-панель (мідна ділянка): Патч-панель 1U 24 порти кат. 5E 19" з менеджментом кабелю ззаду, UTP (2 шт.);
- Мідний кабель: кабель UTP 4x2x0.49, кат. 5E-SL (катушка 305 м., для проекту буде закуплено 5 катушок для прокладання до будівлі, внутрішньо будинкової розводки та для запасу);
- Пігтейли: SC/UPC 1,5 м EServer (7 шт.);
- Патч-корди (оптичні): SC/UPC-SC/UPC SM 1м Simplex UPC-1SCSC(SM)S(ON) (2 шт.);
- Патч-корди (мідні): патч-корди 0.5 м UTP cat.5e сірих W&T CAT.5E UTP CORDS-0.5M-GREY (41 шт.);
- Муфта оптична: FOSC-400B4-S24-1/6;
- Оптичні розетки: Абонентська розетка FTTH для 2xSC simplex/LC duplex L&W LW-FTTH-ZMH-12 (2 шт.), рис. 3.23.



Рисунок 3.19 - Оптичний кабель розподільчий FinMark FTTH002-SM-02/Flex, 2 волокна



Рисунок 3.20 - Шафа серверна настінна 6U 19" глибина 500 мм акрил чорний
CMS UA-MGSWA65B

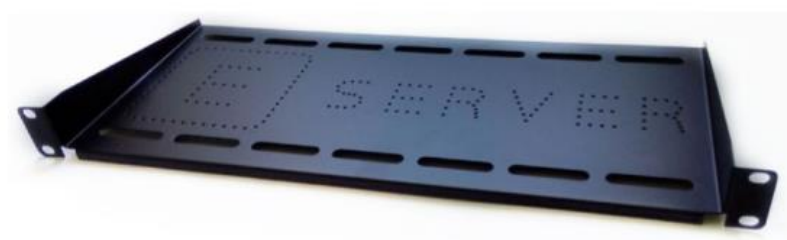


Рисунок 3.21 - Консольна полиця 350мм 1U 19", EServer, чорна



Рисунок 3.22 - Оптична розподільча коробка Crosver FOB-03-12



Рисунок 3.23 - Абонентська розетка FTTH для 2xSC simplex/LC duplex L&W
LW-FTTH-ZMH-12

Тепер перейдемо до розрахунку оптичного бюджету. Для початку буде наведено схему всієї мережі для зручності розрахунку, рис. 3.24.

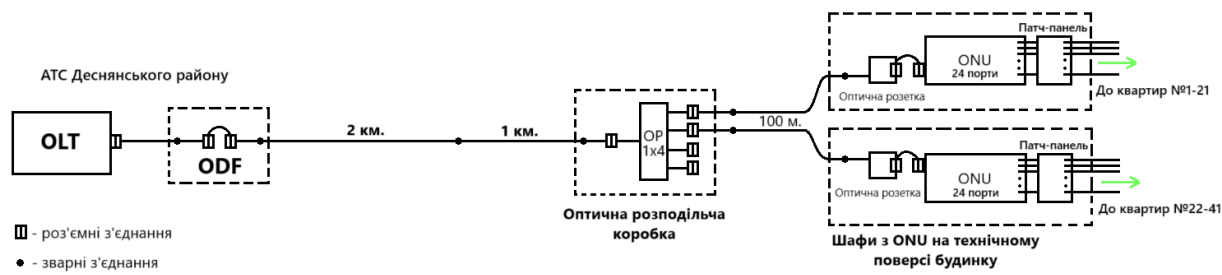


Рисунок 3.24 - Загальна схема всієї мережі

На рис. 3.25 представлено схему розведення кабелів всередині будинку.

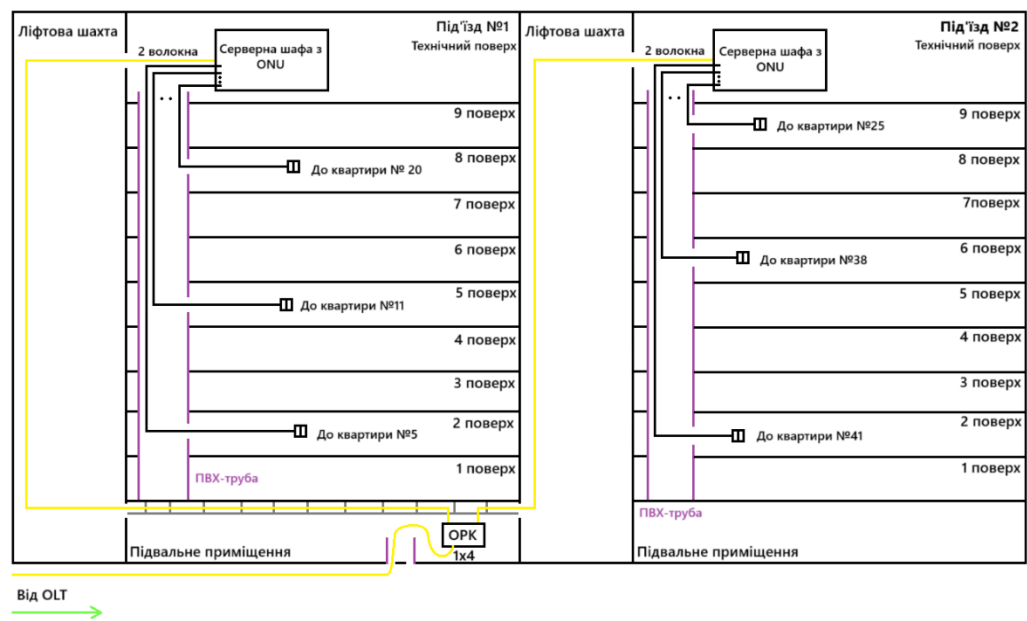


Рисунок 3.25 - Схема розведення кабелю у будинку

У табл. 3.2 наведено кількість з'єднань (роз'ємних та зварних):

Таблиця 3.2 - Кількість роз'ємних та зварних з'єднань

Ділянка	Роз'ємні	Зварні
OLT - ONU	7	6

Для визначення втрат на планарному сплітері буде використання таблиця з типовими параметрами розгалужувачів. Дана таблиця була наведена на рис. 2.19 у підрозділі [2.3]. У цьому випадку використовується PLC-сплітер з коефіцієнтом поділу 1x4, значення ослаблення на вихідний порт якого складає 7,4 дБ.

Отже, вихідні дані такі:

- Загальна довжина оптичного кабелю: 3100 м.;
- Втрати у кабелі: 0,35 дБ/км.;
- Сплітер: PLC 1x4 із значенням втрат 7,4 дБ;
- Кількість роз'ємних з'єднань: 7, втрати кожного – 0,1 дБ;
- Кількість зварних з'єднань: 6, втрати кожного – 0,3 дБ;
- Резерв втрат: 2 дБ (штрафні втрати – 1 дБ та майбутні втрати за рахунок старіння волокна – 1 дБ).

Принцип розрахунку оптичного бюджету наведений у підрозділі [2.4], тому проведемо відповідні розрахунки:

Розрахунок оптичного бюджету:

1. Втрати у кабелі:

$$0,35 \text{ дБ/км.} \times 3,1 \text{ км.} = 1,085 \text{ дБ}$$

2. Втрати на зварних з'єднаннях:

$$0,3 \text{ дБ} \times 6 = 1,8 \text{ дБ}$$

3. Втрати на роз'ємних з'єднаннях:

$$0,1 \text{ дБ} \times 7 = 0,7 \text{ дБ}$$

Тепер потрібно визначити загальну суму втрат і якому класу відповідає дана пасивна оптична мережа:

$$\sum_{\text{заг.втрати}} = 1,085 + 1,8 + 0,7 + 7,4 + 2 = 12,985 \text{ дБ}$$

Отже, отримавши результат загальних втрат у мережі PON за архітектурою FTTB у значенні 12,985 дБ, можна зробити висновок, що дана мережа відповідає класу А мережі GPON. Клас А, як було згадано у підрозділі [2.4], має граничне значення у 20 дБ для ODN. Визначимо енергетичний запас, який існує в такій мережі. Для цього потрібно граничне значення для ODN відняти від загальних

втрат у мережі, в даному випадку отримано значення: $20 \text{ дБ} - 12,985 \text{ дБ} = 7,015 \text{ дБ}$. Мережа, що проєктується для місцевої агломерації на основі PON та FTTB є працездатною.

З економічної точки зору вся мережа коштує 159 030 грн. (без урахування монтажних робіт). З урахуванням монтажних робіт проєкт буде коштувати 301 780 грн.

3.3 Порівняння результатів реалізації FTTC та FTTB

У даній дипломній роботі були продемонстровані практичні реалізації мереж доступу FTTC- та FTTB-архітектури у Деснянському районі міста Києва, що дозволяє провести їх порівняльний аналіз. Він буде проведений з урахуванням технічних характеристик, економічних витрат на побудову мереж і перспективи масштабування відповідно.

Спершу була реалізована FTTC. Це була гібридна мережа доступу з оптичним кабелем, який мав довжину 780 м. до ONU, який був розміщений в розподільчій шафі (де розміщувався також і сплітер PLC 1x4, SC/UPC) та в подальшому підключався до абонентів з використанням витієї пари довжиною до 300 м. На відміну від топології “шина”, яка доволі часто зустрічається у FTTC-рішеннях, в даному проєкті була використана топологія “дерево”. Під’єднання було здійснено до двох будинків, для кожного з яких було задіяно окремий ONU, що є оптимальним рішенням для випадків забезпечення життєздатності мережі (можливості працездатності мережі в першому будинку, якщо обладнання, яке обслуговує другий будинок, вийде з ладу). Також це дозволило уникнути каскадного поділу сигналу та зменшити нерівномірність навантаження на лінію. Дана мережа має клас А – що є досить гарним показником для функціональності мережі, відповідно оптичні втрати склали: 11,073 дБ, та гарантували 8,927 дБ енергетичного запасу. Це дає змогу підключити більшу кількість користувачів до мережі або компенсувати деградацію сигналу в майбутньому. Це гарантує масштабування мережі та її працездатність в майбутньому. Швидкість передачі буде на рівні 150 Мбіт/с, що забезпечить базові потреби абонентів.

В даній мережі була використана технологія GPON, бо враховуючи швидкий темп розвитку міста, будівництва новобудов та зростання потреб користувачів у швидкості та якості (навіть на прикладі даного району, де реалізується мережа – територія поступово забудовується багатоповерхівками, навіть там де донедавна розміщувалися приватні будинки, або низько поверхові будинки) це є оптимальним рішенням, аніж використовувати GPON технології (до 64 користувачів на один порт OLT). Це б призвело до більш швидкої модернізації мережі.

Стосовно того, що оптична ділянка FTTC є меншою за довжиною, то дана мережа доступу не гарантує той рівень сигналу, який буде надаватися користувачам мережі доступу, які підключенні за принципом FTTB відповідно, але тариф за використання є нижчим, бо це є частиною закономірності: чим краща якість – тим більша вартість.

Щодо FTTB-архітектури, то в даному випадку, було здійснено підключення багатоповерхового будинку, який має 2 під'їзди. Даний будинок є типовою міською забудовою. Кількість людей у будинку приблизно 200 осіб, що вдвічі більше, ніж було у FTTC-архітектури, де було задоволено потреби приблизно 100 людей. Завдяки використанню довшої оптичної ділянки вдалося забезпечити більшу швидкість і якість сигналу при загальних оптичних втратах 12,985 дБ. Це повністю відповідає оптичному класу А стандарту ITU-T G.984.2 для технології GPON, що забезпечує гарантовану якість сигналу, в межах допустимих значень. Варто зазначити, що FTTB-архітектура даної мережі доступу має також гарний енергетичний запас, а саме: 7,015 дБ. Можна порівняти енергетичні запаси двох архітектур і у FTTC цей запас буде вищим, але FTTB гарантувало підключення більшої кількості квартир (41 квартира). Це означає, що FTTB має кращі характеристики використання оптичного бюджету та задіяння оптичного сигналу, для передачі інформації, даних, медіа і т.д. Швидкість передачі трафіку буде на рівні до 1 Гбіт/с, що забезпечить досить широкий спектр потреб користувачів, що мешкають у міській агломерації. Це надасть змогу підтримувати вимогливі сервіси, такі як потокове відео у високій роздільній

здатності, онлайн-ігри та хмарні обчислення. FTTB з технологією GPON гарантує більшу пропускну здатність для абонентів.

З економічної точки зору FTTC-варіант обійшовся у загальну вартість: 288 734 грн. У порівнянні з FTTB-варіантом, який коштує 301 780 грн, реалізація FTTC є дешевшою на 13 046 грн. Але окупність принципу “волокна до будинку” є більшою за принцип “волокна до розподільчої шафи”. Розрахунок на основі економічних складових двох мереж, вказує на те, що мережа доступу за FTTC-архітектурою окупиться приблизно за 6 років (якщо тариф на послугу складає 200 грн. в місяць), а за FTTB-архітектурою: приблизно 2 роки (якщо тариф на послугу складає 300 грн. в місяць). Це є однозначним плюсом для провайдера зв'язку, що забезпечує під'єднання абонентів з використанням FTTB. Це надає змогу надавати більш якісні послуги, встановлювати більш сучасне обладнання та здійснювати модернізацію старих мереж. Великою частиною економічних затрат на побудову мереж є монтажні роботи, які в даному проєкті були проведені за допомогою підрядних компаній. Для здешевлення робіт, можна здійснювати монтаж за допомогою власного обладнання та відповідно навченого персоналу, але це потребує витрат для збільшення штату персоналу, його навчання та виплати заробітної плати.

Таким чином, після проведеного порівняльного аналізу, мережа FTTB є технологічно доцільною для районів із щільною багатоповерховою забудовою, тоді як FTTC краще підходить для районів з меншою щільністю, де притаманна мінімізація витрат та відповідно зменшення якості та швидкості.

Платоспроможність абонентів є важливим аспектом для вибору архітектури мережі. Потрібно зважати на те, що вибір архітектури повинен базуватись на аналізі кількох факторів: відстані до абонента, щільності забудови, типу доступної інфраструктури, а також вимог до швидкості та надійності підключення.

Перспективи масштабування у FTTC є доволі обмеженими через використання більшої мідної ділянки, яка знижує швидкість та якість сигналу при збільшені відстані або кількості користувачів. Модернізація до FTTH або FTTB потребуватиме значних капітальних вкладень, оскільки потрібно буде

замінити певний мідний сегмент мережі на оптичні кабелі та переобладнати ОРШ.

FTTB має, навпаки, високий потенціал масштабування, оскільки оптична ділянка вже прокладена до будинку. Перехід до FTTH можливий шляхом заміни MDU на індивідуальні ONT у квартирах користувачів, що потребує менших витрат порівняно з FTTC. Крім того, FTTB краще підходить під зростаючі потреби користувачів у швидкості та якості, що є критичним у міських агломераціях з веденням активної забудови того чи іншого району міста.

3.4 Рекомендації щодо технічних рішень побудови мережі доступу за технологією PON в різноманітних умовах міської агломерації

Побудова мережі доступу за технологією PON в умовах міської агломерації вимагає гнучкого підходу до вибору технічних рішень, що пов'язані з архітектурними варіаціями реалізації. Це все залежить від типу забудови (поверховість, вік будівлі тощо), щільності розміщення користувачів, технічних обмежень, платоспроможності користувачів та економічної доцільності. На практиці проєктування мереж доступу, інколи використовують і комбіновані варіанти архітектур PON, які дозволяють, наприклад, ефективно поєднувати оптоволоконний сегмент із традиційними мідними чи Ethernet-лініями на завершальному етапі.

Рекомендація для проєктувальників: Для того щоб краще здійснювати проєктувальні роботи – використовуйте геоінформаційні системи (GIS) для оцінки розташування будинків і відстані до АТС, щоб оптимізувати прокладення кабелю. За допомогою даної системи можливо здійснювати розрахунок довжини кабельних мереж, визначити оптимальні місця для розміщення обладнання мережі (як активного, так і пасивного). Це значно пришвидшить роботу і зекономить кошти. Щодо оптичного бюджету, то враховуйте допустимий діапазон і обирайте архітектуру виходячи з цих обмежень.

Вибір технології PON:

Технологія PON визначає пропускну здатність, кількість підключених абонентів та перспективність мережі. На сьогоднішній день, у міських умовах найчастіше використовують GPON та GPON.

- GPON є основним вибором для міських агломерацій завдяки швидкості до 2,5 Гбіт/с (прямий потік) і 1,25 Гбіт/с (зворотний потік), підтримці до 128 абонентів на один порт OLT і сумісності з перспективними стандартами, такими як наприклад: XG-PON тощо. В міській агломерації більш доцільно використовувати саме технологію GPON зважаючи на вище викладені переваги.
- GPON варто застосовувати в невеликих мережах приватного сектору з обмеженим бюджетом, де потреби у швидкості, якості та пропускну здатності не є досить високими і критичними. Дана технологія здатна підключити до 64 абонентів на один порт OLT, що є вдвічі менше за кількість у GPON-технології.

Рекомендується використовувати GPON для більшості міських мереж, особливо в тій місцевості (райони, мікрорайони, житлові масиви тощо), де є високий попит на швидкість і потенціал до зростання абонентської бази (новобудови). Для приватного сектору з низькою щільністю населення доцільно розглядати GPON, якщо капітальні витрати є критичними. Для покращення умов щодо модернізації мережі у майбутньому для місцевості з активною забудовою треба переконатися, що обладнання (OLT, ONU), яке підтримує сумісність із GPON здатне здійснити перехід до використання технологій наступних поколінь. Це покращить економічні показники в майбутньому, коли в умовах місцевої агломерації необхідно буде здійснити модернізацію мережі.

Вибір топології мережі:

Потрібно вибрати топологію “дерево” для більшості міських мереж, бо вона здатна забезпечити гнучкість і масштабованість завдяки своїй особливій практиці застосування. Для приватного сектору можна використовувати топологію “шина”, але потрібно аналізувати проєкт та приймати рішення на

основі відповідних висунутих потреб, особливостей місцевості, здатності реалізації тощо.

Вибір і розміщення обладнання:

Потрібно вибирати обладнання з урахуванням сумісності та резерву потужності. Для ФТТВ потрібно гарантувати розміщення сплітерів в захищених технічних приміщеннях, для того щоб мінімізувати ризики пошкодження. Для ФТТС краще використовувати каскадні сплітери, але переконайтеся, що ОРШ має захист від вологи та температурних коливань (IP55 або вище). Використовуйте конектори для під'єднання того чи іншого обладнання виходячи з практичності застосування. Звісно краще за все взяти конектори SC/APC, бо вони мають найкращі технічні показники (менше внесені втрати на з'єднанні), але можливі випадки, коли потрібно використати трохи гірший за показниками тип конектору, але підключити більшу кількість оптичних ліній зв'язку (говорячи про оптичний термінал). Обов'язково використовуйте патч-панелі, як оптичні, так і для кабелів типу вита пара. Зі зростанням мережі – все важче стає організовувати кабельну інфраструктуру наприклад на станції надання послуг (приміщення де розміщується OLT).

Потрібно розміщувати обладнання в тих місцях, де до нього не буде можливості дістатися тим людям, які його не обслуговують. Це збереже його цілісність від непередбачуваних хуліганських дій. Найкраще місце для розміщення – це підвальне приміщення або технічний поверх будинку, куди немає доступу без певного ключа або пропуску. Щодо серверних шаф, то також потрібно використовувати ті, що мають можливість закриватися на ключ.

Розрахунок оптичного бюджету:

Під час розрахунку оптичного бюджету необхідно врахувати додаткові (резервні) втрати, які здебільшого прийнято визначати на рівні 2 дБ. Це необхідно для компенсації втрат за рахунок старіння волокна та можливих перекручень кабелю при його прокладанні. Потрібно також зважати на те, що має бути певний енергетичний запас. Оптимальним запасом вважається такий, що розрахований на рівні 3-5 дБ.

Економічна оптимізація:

Для FTTC максимізуйте використання наявної інфраструктури (по можливості), щоб знизити початкові витрати на побудову мережі доступу. Для FTTB інвестуйте і централізоване розміщення обладнання для зменшення OPEX. На етапах побудови – проводьте економічний аналіз. Потрібно зважати на платоспроможність користувачів і провести розрахунок окупності мережі, спираючись на вартість проєкту, тарифу на надання послуг та кількості користувачів. Для монтажних робіт, якщо є можливість, доцільно використовувати власний персонал.

Забезпечення масштабованості та перспектив розвитку:

Міські мережі повинні бути готові до зростання попиту на швидкість і нові сервіси, такі як наприклад: 5G, IoT, хмарні-сервіси.

Потрібно залишати резерв волокон під час проєктування мереж доступу (наприклад, 8 волокон замість 4), портів на сплітерах (наприклад, 4 порти замість 2 на виході). Це забезпечить можливість масштабування мережі або негайного переведення абонента на інше підключення (резервне). Загалом резерв має складати мінімум 20-30%.

Потрібно використовувати те обладнання, яке має змогу бути сумісним, наприклад, з XG-PON (довжини хвиль 1577/1270 нм), для спрощення модернізації у майбутньому. Зважаючи, що у містах попит на пропускну здатність є більшим, то це перспектива на досить близьке майбутнє.

Планування мережі має відбуватися з урахуванням зростання щільності забудови та, відповідно, абонентів у нових мікрорайонах. За можливості потрібно аналізувати демографічні та містобудівні плани районів міста, щоб передбачити зростання абонентської бази. Це дасть змогу більш оперативно проводити модернізацію мереж для подальшого швидкого забезпечення попиту від користувачів мережі доступу.

Дані рекомендації можуть допомогти проєктувальникам забезпечити чіткі технічні та економічні орієнтири для побудов мереж доступу за технологією PON у міських агломераціях.

3.5 Висновки з розділу 3

У даному розділі було розглянуто питання, щодо практичної реалізації мереж доступу PON за архітектурами FTTC/FTTB. Реалізація була здійснена у межах Деснянського району через його оптимальне розміщення для демонстрації побудови мережі. Приватний сектор та багатоповерхові будинки розміщується на невеликій відстані одне від одного і при цьому знаходяться у міській агломерації. Для реалізації FTTC було використано обладнання, яке забезпечить підключення абонентів та задоволення їх потреб, але також дасть змогу в майбутньому відразу здійснити перехід на модернізовану варіацію мережі. Саме тому було прийнято рішення щодо використання технології GPON. Щодо FTTB, то для задоволення всіх потреб користувачів було здійснено прокладання оптоволоконного кабелю до технічного поверху будинку, що дало змогу прокласти оптоволоконний кабель через перший під'їзд і в подальшому здійснити розводку кабелю типу “вита пара” від серверної шафи з ONU, яка розміщена на технічному поверсі до кожного користувача, який мав бути підключеним до мережі надання послуг. Це дозволило скоротити витрати на побудову мережі і зменшити ризик пошкодження кабельної інфраструктури з боку хуліганських дій. ОРК розміщення у підвальному приміщенні через потребу у переході від магістрального оптичного кабелю до внутрішньо будинкового. Дана мережа також була реалізована за допомогою GPON-технології, що повністю покрила потребу у підключенні всіх квартир. Розглянуті питання в даному розділі є основою для проєктування та побудови PON-мереж за принципом FTTC/FTTB у місті, тому якщо виконувати всі вище описані пункти, то мережа буде працювати надійно і довговічно.

ВИСНОВКИ

В даній роботі наведені основні підходи та методика проєктування мережі доступу в умовах міської агломерації. В роботі розглядаються питання, які виникають перед інженерами в процесі проєктування мережі доступу. Визначено які особливості місцевої агломерації для оптичної мережі доступу існують. На основі цього надані рекомендації щодо того, яким чином потрібно реалізовувати той чи інший етап робіт. У даній дипломній роботі в процесі розгляду поширених архітектур побудови оптоволоконної мережі доступу FTTC- та FTTB в умовах міської агломерації надані рекомендації щодо вибору обладнання; архітектури та топології мережі; який тип прокладки кабелю краще застосовувати, та при яких умовах тощо. Наведено приклади проєктів для певних територій Деснянського району м. Києва з використанням архітектури FTTC та FTTB і виконано їх порівняння.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. PON vs AON vs PTP - відмінності, структура та порівняння технологій [Електронний документ] - Режим доступу: https://e-server.com.ua/uk/poradi/pon-vs-aon-vs-ntp-vidminnosti-struktura-ta-porivniannia-texnologii?srsId=AfmBOopyMi84zvUsbi0ump7lgl_SxyTfD-0Ya8k-LBeDYTWfSr-Qe4p9.
2. Warier, S. (2017). Engineering Optical Networks. Сполучені Штати Америки: Artech House.
3. ITU-T; “G.984.3 - Gigabit-capable passive optical networks (G-PON): Transmission convergence layer specification”; Geneve, January 2014.
4. UA.PON v4.0. Основні топології пасивних оптичних мереж [Електронний документ] - Режим доступу: <https://ic-line.ua/wiki/pon4-1>.
5. Проектування та експлуатація сучасних мереж широкосмугового доступу: навч. посіб. для дипломного проектування та магістерських робіт / [В.О. Балашов, А.Г. Лашко, Л.М. Ляховецький, В.І. Орешков]. – Одеса: РВЦ ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2019. – 267 с.
6. ITU-T; “G.993.2 - Very high speed digital subscriber line transceivers 2 (VDSL2)”; Geneve, February 2007.
7. ITU-T; “G.983.1 - Broadband optical access systems based on Passive Optical Networks (PON)”; Geneve, January 2005.
8. ITU-T; “G.984.2 - Gigabit-capable passive optical networks (GPON): Physical media dependent (PMD) layer specification”; Geneve, August 2019.
9. Пасивні оптичні мережі. Правила проектування та монтажу. Кодекс практики, що встановилася. Білорусь, Мінзв'язку, 2011.
10. Що означає Fiber to the X?. [Електронний документ] - Режим доступу: <https://ua.opticomfiber.com/info/article18-80520962.html>.
11. What is the Difference Between FTTH and FTTB? [Електронний документ] - Режим доступу: <https://www.abalone-tech.com/what-is-the-difference-between-ftth-and-fttb/>.

12. Recent Progress in Data Engineering and Internet Technology / ed. by F. L. Gaol. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2012. [Електронний документ] - Режим доступу: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-28798-5>.
13. Introduction to FTTx Networks: Understanding Fiber to the X Technology - Geospatial Net. Geospatial Net - A company that offers geospatial services, plans FTTH (Fiber-to-the-Home) networks, and specializes in software development. [Електронний документ] - Режим доступу: <https://geospatialnetworks.com/introduction-to-fttx-networks/>.
14. Сучасні рішення з побудови розподільних вузлів в мережах PON. Компанія DEPS. [Електронний документ] - Режим доступу: <https://deps.ua/ua/knowledgeable-base/samples-of-the-technical-solutions/ua-sovremennye-resheniya-po-postroeniyu-raspredelitelnykh-uzlov-v-setyakh-pon.html>.
15. Progress in Advanced Information and Communication Technology and Systems. Advanced Approaches to Intelligent Data Processing and Smart Networking (ред. М. Ю. Ільченко, Л. С. Глоба, Л. О. Уривський).
16. Пасивні оптичні мережі bpon та gpon [Електронний документ] - Режим доступу: <https://studfile.net/preview/9786428/page:8/>.