

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет робототехніки та штучного інтелекту

(повне найменування факультету)

Кафедра електроніки, фізики та СМАРТ-систем

(повне найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»**

**РОЗРОБКА FTTH-МЕРЕЖІ ШИРОКОСМУГОВОГО
ДОСТУПУ ДЛЯ ЖИТЛОВОЇ ЗАБУДОВИ**

**DEVELOPMENT OF FTTH BROADBAND ACCESS NETWORK FOR
RESIDENTIAL DEVELOPMENT**

спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Телекомунікації та радіотехніка»

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ТК-41

Вязовський Антон Олексійович

(підпис)

Керівник: к.т.н., доцент
Євсюк Микола Миколайович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу

допущено до захисту

«__» _____ 2026 р.

Гарант освітньої програми:

к.т.н., доцент Євсюк Микола Миколайович

(підпис)

Луцьк – 2026 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій
Кафедра електроніки та телекомунікацій
Ступінь вищої освіти: бакалавр
Галузь знань: 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
Спеціальність: 172 Телекомунікації та радіотехніка
Освітня програма: «Телекомунікації та радіотехніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

«__» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Вязовському Антону Олексійовичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: *«Розробка FTTH-мережі широкосмугового доступу для житлової забудови»*

керівник роботи: *к.т.н., доцент Євсюк Микола Миколайович*

затверджені наказом закладу вищої освіти від «31» грудня 2025 р. № 558/01-02

2. Строк подання здобувачем роботи: *04.06.2026 р.*

3. Вихідні дані до роботи: характеристика об'єкту житлової забудови; тип мережі доступу – FTTH; технологія доступу для житлового сектора – GPON, для комерційних приміщень – XG-PON; призначення мережі – надання послуг Triple Play; відстань від вузла агрегації провайдера до забудови – 1,65 км, спосіб прокладання оптичного кабелю – у кабельній каналізації.

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

Розділ 1 Аналіз технологій та архітектур сучасних оптичних мереж доступу типу FTTH

Розділ 2 Розробка технічного проєкту FTTH-мережі для житлової забудови

Розділ 3 Апаратно-технічна реалізація та монтаж розробленої FTTH-мережі

Розділ 4 Охорона праці

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу

Демонстраційний матеріал у вигляді презентації Power Point

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Розділ 1</i>	<i>Євсюк М. М., доцент</i>		
<i>Розділ 2</i>	<i>Євсюк М. М., доцент</i>		
<i>Розділ 3</i>	<i>Євсюк М. М., доцент</i>		
<i>Розділ 4</i>	<i>Заблоцький В. Ю., доцент</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Селепина Й. Р., доцент</i>		
<i>Гарант ОП</i>	<i>Євсюк М. М., доцент</i>		
<i>Показник запозичень тексту</i>	_____ %		
<i>Академічна доброчесність</i>	<i>Євсюк М. М., доцент</i>		

7. Дата видачі завдання 31 грудня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Огляд літератури за темою кваліфікаційної роботи</i>	до 01.03.2026 р.	
2.	<i>Розділ 1</i>	до 25.04.2026 р.	
3.	<i>Розділ 2</i>	до 09.05.2026 р.	
4.	<i>Розділ 3</i>	до 23.05.2026 р.	
5.	<i>Розділ 4</i>	до 27.05.2026 р.	
6.	<i>Висновки</i>	до 30.05.2026 р.	
7.	<i>Формування списку використаних джерел</i>	до 30.05.2026 р.	
8.	<i>Оформлення ілюстративного матеріалу</i>	до 30.05.2026 р.	
9.	<i>Нормоконтроль</i>	до 02.06.2026 р.	
10.	<i>Інструментальна перевірка на академічний плагіат</i>	до 03.06.2026 р.	
11.	<i>Представлення кваліфікаційної роботи бакалавра до захисту</i>	до 04.06.2026 р.	

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Вязовський А. О.

(прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Євсюк М. М.

(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Вязовський А. О. Розробка FTTH-мережі широкосмугового доступу для житлової забудови. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Телекомунікації та радіотехніка» спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2026.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з вступу, чотирьох розділів, висновку та списку використаних джерел.

У кваліфікаційній роботі виконано розробку FTTH-мережі широкосмугового доступу для житлової забудови з використанням технологій GPON та XG-PON. Проведено аналіз сучасних технологій широкосмугового доступу та обґрунтовано вибір архітектури FTTH-мережі з дворівневим каскадним сплітеруванням. Розроблено функціональну схему мережі для трипід'їзного дев'ятиповерхового будинку з комерційними приміщеннями, виконано вибір активного та пасивного обладнання, оптичних кабелів, PLC-сплітерів та абонентських терміналів. Виконано розрахунок оптичного бюджету та пропускної здатності мережі. Отримані результати підтвердили можливість стабільного надання послуг Triple Play при максимальному навантаженні мережі. Розглянуто технологію монтажу магістральних, розподільчих та абонентських оптичних мереж.

Ключові слова: FTTH, GPON, XG-PON, PLC-сплітер, OLT, оптичний кабель, Triple Play, широкосмуговий доступ.

ANNOTATION

Viazovskyj A. O. Development of FTTH broadband access network for residential development. Manuscript.

Bachelor's qualifying work of EP «Telecommunications and radio engineering» specialty 172 Telecommunications and radio engineering. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2026.

The bachelor's qualifying work consists of an introduction, four sections, a conclusion and a list of information sources.

The qualification work has developed a FTTH broadband access network for residential buildings using GPON and XG-PON technologies. An analysis of modern broadband access technologies has been carried out and the choice of FTTH network architecture with two-level cascade splitting has been justified. A functional network diagram has been developed for a three-entrance nine-story building with commercial premises, and active and passive equipment, optical cables, PLC splitters and subscriber terminals have been selected. The optical budget and network bandwidth were calculated. The results confirmed the possibility of stable provision of Triple Play services at maximum network load. The technology of installation of trunk, distribution and subscriber optical networks was considered.

Keywords: FTTH, GPON, XG-PON, PLC Splitter, OLT, Optical Cable, Triple Play, Bbroadband Aaccess.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ ТА СКОРОЧЕНЬ

- FTTx (Fiber to the x) – доведення оптичного волокна до об'єкта;
- FTTH (Fiber to the Home) – оптичне волокно в дім;
- GPON (Gigabit PON) – гігабітна пасивна оптична мережа;
- IP (Internet Protocol) – «міжмережевий протокол», протокол мережевого рівня для передавання датаграм між мережами;
- IPTV (Internet Protocol Television) – телебачення за протоколом IP;
- ITU (International Telecommunication Union) – міжнародний союз електрозв'язку;
- ODF (Optical Distribution Frame) – оптична розподільча панель;
- OLT (Optical line terminal) – центральний термінал мережі PON;
- ONT (Optical network terminal) – оптичний мережевий термінал;
- PLC (Planar Lightwave Circuit) – планарний дільник для PON мереж;
- PmP (Point to Multipoint) – архітектура мережі «точка-багато точок»;
- PON (Passive optical network) – пасивна оптична мережа;
- QoS (Quality of Service) – якість обслуговування;
- SFP (Small Form-factor Pluggable) – модульний компактний приймач (трансивер);
- VLAN (Virtual Local Area Network) – віртуальна локальна мережа;
- WDM (Wave length Division Multiplexing) – спектральне ущільнення каналів передачі;
- XG-PON (10-Gigabit Passive Optical Network) – 10-гігабітна пасивна оптична мережа;
- XGS-PON (10-Gigabit Symmetrical Passive Optical Network) – 10-гігабітна симетрична пасивна оптична мережа;
- ВОК – волоконно-оптичний кабель;
- ВОЛЗ – волоконно-оптична лінія зв'язку;
- ОРК – оптична розподільча коробка;
- ОРШ – оптична розподільча шафа.

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТА АРХІТЕКТУР СУЧАСНИХ ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ ДОСТУПУ ТИПУ FTTH.....	11
1.1 Класифікація та переваги активних і пасивних оптичних мереж у системах широкосмугового доступу.....	11
1.2 Порівняльна характеристика технологій доступу сімейства FTTx.....	12
1.3 Архітектури побудови FTTH-мереж	14
1.4 Базові стандарти мережі FTTH	16
1.5 Основні компоненти FTTH-мережі	17
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ПРОЄКТУ FTTH-МЕРЕЖІ ДЛЯ ЖИТЛОВОЇ ЗАБУДОВИ.....	19
2.1 Аналіз об'єкту дослідження та району проєктування	19
2.2 Вибір та обґрунтування схеми каскадування сплітерів.....	20
2.3 Вибір обладнання станційної ділянки мережі.....	22
2.4 Обґрунтування вибору оптичного кабелю для лінійної ділянки.....	23
2.5 Розрахунок оптичного бюджету потужності для найвіддаленішого абонента	23
2.6 Оцінка інформаційної пропускної здатності мережі	26
РОЗДІЛ 3 АПАРАТНО-ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА МОНТАЖ РОЗРОБЛЕНОЇ FTTH-МЕРЕЖІ	30
3.1 Технічні характеристики та конфігурація оптичного лінійного терміналу BDCOM.....	30
3.2 Вибір та параметри SFP-трансиверів для магістральних каналів	32
3.3 Пасивне обладнання оптичної мережі	34

3.4 Експлуатаційні характеристики оптичних кабелів.....	39
3.5 Обґрунтування вибору абонентських оптичних розеток.....	43
3.6 Вибір та функціональні можливості абонентських терміналів..	44
3.7 Технічна реалізація розробленої FTTH-мережі	48
3.8 Технологія та особливості монтажу оптичних кабелів у житловій забудові.....	50
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ	54
4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів	54
4.2 Зменшення впливу небезпечних та шкідливих факторів	55
ВИСНОВКИ	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	61
ДОДАТКИ	63

ВСТУП

Широко смуговий доступ став невід'ємною частиною повсякденного життя, забезпечуючи роботу таких сервісів, як потокове відео, онлайн-ігри, хмарні обчислення, дистанційна освіта та віддалена праця. У зв'язку з цим дедалі більшого поширення набувають волоконно-оптичні технології, зокрема архітектура FTTH, що гарантує високошвидкісний та стабільний доступ до інформаційних ресурсів. Впровадження FTTH-мереж дозволяє задовольнити зростаючі потреби абонентів і створює надійну базу для розвитку цифрової інфраструктури.

Актуальність теми: полягає у необхідності опрацювання сучасних телекомунікаційних рішень для забезпечення якісного широко смугового доступу в умовах житлової забудови.

Мета роботи: розробити технічні рішення щодо побудови FTTH-мережі широко смугового доступу для житлової забудови з урахуванням сучасних технологічних вимог та забезпечення ефективного функціонування мережі.

Об'єктом розробки є мережі широко смугового доступу побудовані на архітектура FTTH для житлової забудови.

Завдання кваліфікаційної роботи наведені нижче.

1. Провести аналіз сучасних технологій широко смугового доступу.
2. Дослідити особливості та переваги технології FTTH.
3. Обґрунтувати вибір архітектури FTTH-мережі та компонентну базу.
4. Виконати розрахунок оптичного бюджету та пропускної здатності.
5. Здійснити вибір необхідного обладнання та аналіз його параметрів.
6. Розробити функціональну схему FTTH-мережі.
7. Описати технологію монтажу та експлуатації FTTH-мережі.

Предметом розробки є комплекс технічних рішень із розроблення пасивної оптичної мережі за архітектурою FTTH для житлової забудови. Опрацьовано методи формування мережевої топології, вибір активного й пасивного обладнання, розрахунок бюджету оптичної потужності та

розміщення мережевих елементів для забезпечення надійної та ефективної експлуатації системи на базі технології PON.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання отриманих результатів для створення ефективних та надійних мереж доступу за архітектурою FTTH, що відповідають сучасним вимогам користувачів.

Під час виконання кваліфікаційної роботи бакалавра було використано інструменти штучного інтелекту для редагування та форматування тексту та генерації рисунків (топологія побудови пасивної FTTH-мережі (рис. 1.4), схема сплітерування пасивної FTTH-мережі (рис. 2.2), розрахункова функціональна схема FTTH-мережі для визначення оптичних втрат для найвіддаленішого абонента (рис. 2.3), виключно як допоміжний засіб для пошуку ідей, уточнення формулювань та опрацювання літератури. Усі твердження, висновки та результати дослідження належать автору та ґрунтуються на власному аналізі, а отримані результати від генеративного ШІ були перевірені на достовірність та відповідність академічній доброчесності.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТА АРХІТЕКТУР СУЧАСНИХ ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ ДОСТУПУ ТИПУ FTTH

1.1 Класифікація та переваги активних і пасивних оптичних мереж у системах широкосмугового доступу

Оптичні мережі є основою сучасної інфраструктури широкосмугового доступу, забезпечуючи високу швидкість передавання даних та раціональне використання пропускної здатності оптичного волокна. Такі мережі дозволяють обслуговувати значну кількість абонентів з мінімальними витратами на обладнання.

«Відповідно до архітектури оптичні мережі поділяються на:

- активні мережі – у сегменті між вузлом доступу та кінцевим абонентським обладнанням використовується активне обладнання: комутатори або регенератори сигналу, які потребують електроживлення та забезпечують обробку і підсилення сигналу;

- пасивні мережі – у проміжних ділянках мережі відсутні активні елементи, що виключає необхідність електроживлення для таких компонентів. Це підвищує надійність системи та дозволяє суттєво зменшити витрати на експлуатацію і технічне обслуговування мережі» [1].

З огляду на вищенаведені особливості активних та пасивних мереж, особливу увагу доцільно приділяти саме пасивним оптичним мережам, які є одними із найперспективніших напрямів розвитку сучасної телекомунікаційної інфраструктури.

Важливу роль у функціонуванні пасивної оптичної мережі відіграє фізичний рівень, який визначає характеристики передачі сигналу, параметри лінійного тракту та загальну структуру мережі. Він охоплює використання ВОК, пасивних оптичних розгалужувачів (сплітерів), конекторів, зварних з'єднань та інших елементів, що забезпечують передачу сигналу від центрального вузла до кінцевих користувачів без застосування активних

пристроїв на проміжних ділянках.

Враховуючи зазначені переваги, пасивні мережі стали основою для побудови сучасних FTTx-рішень, які забезпечують ефективну організацію широкосмугового доступу для кінцевих користувачів таких як розширення спектру телекомунікаційних послуг, включаючи високошвидкісний доступ до Інтернету, IP-телебачення та цифрову телефонію.

1.2 Порівняльна характеристика технологій доступу сімейства FTTx

Оптоволоконний доступ означає, що кінцеві користувачі підключаються до обладнання провайдера інтернет-послуг через оптоволокно. Архітектура побудови мереж оптичного доступу характеризується ступенем наближення оптичного мережевого терміналу до користувача. Сектор стандартизації Міжнародного Союзу Електрозв'язку (ITU-T) виділяє декілька характерних варіантів, представлених на рисунку 1.1 [2].

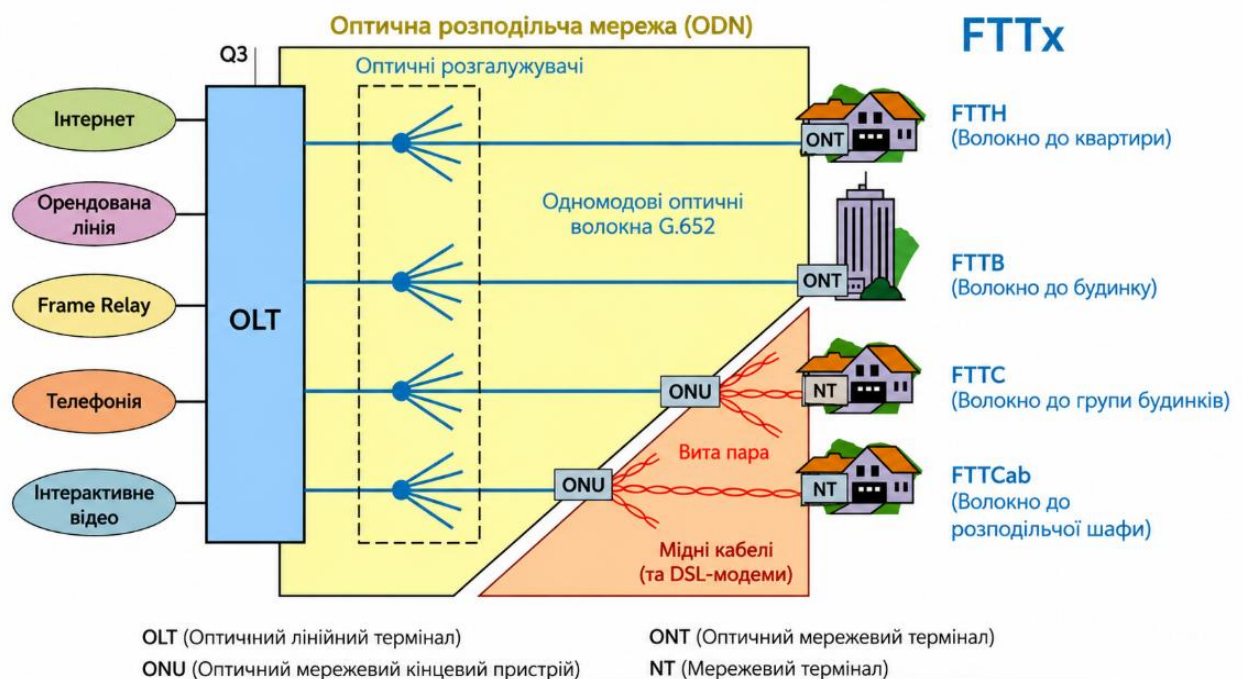


Рисунок 1.1 – Архітектура технології доступу на ділянці OLT-FTTx [2]

Вузол мережі включає лінійний термінал OLT, а зона його обслуговування визначається територією покриття мережі PON. В OLT розміщується основне активне обладнання, яке забезпечує взаємодію між кінцевими абонентами та зовнішніми інформаційними ресурсами, такими як мережа Інтернет і мультимедійні сервіси (рис. 1.1). «Вхідні порти PON-обладнання OLT підключаються за допомогою комутаційних кабелів до оптичного кросу ODF де здійснюється організація та розподіл оптичних ліній: комутаційні та магістральні кабелі з'єднуються зі стаціонарними оптичними лініями через спеціальні з'єднувальні елементи (касети та зварні з'єднання). Оптичний крос розміщується у стійках з обладнанням OLT» [1].

Від вузла мережі прокладається магістральна оптична лінія, яка підводиться до ОРШ.

«У розподільній частині мережі передача сигналу до абонентських пристроїв (ONT/ONU) здійснюється за допомогою оптичних розгалужувачів, які встановлюються в оптичних розподільних коробках та/або розподільних боксах. Така структура забезпечує ефективний розподіл сигналу між декількома користувачами в межах PON мережі» [2].

Подальша архітектура побудови оптичної мережі визначається низкою факторів, серед яких основними є щільність житлової забудови, кількість потенційних абонентів, економічна доцільність впровадження, а також технічні вимоги до швидкості та якості передачі даних. Вибір конкретної архітектури безпосередньо впливає на структуру мережі, рівень капітальних витрат та можливості подальшого масштабування.

«У межах концепції FTTx є декілька варіантів побудови мереж доступу, які відрізняються глибиною проникнення оптичного волокна до кінцевого користувача» [3]. Розглянемо їх детальніше.

«Технології FTTC (Fiber To The Curb) або FTTCab (Fiber To The Cabinet) передбачає підведення оптичного волокна до розподільного вузла, який розташовується на відстані, як правило, до 500 метрів від кінцевого абонента. Такий вузол може бути реалізований у вигляді розподільної шафи

або точки розмежування магістральної та розподільної ділянок мережі. У цих точках зазвичай встановлюється активне обладнання, зокрема мультиплексор доступу цифрової абонентської лінії – DSLAM, комутаційні модулі або концентратори, які забезпечують подальшу передачу сигналу до абонента по мідних лініях, зазвичай «кручена пара» [3].

«Технологія FTTB (Fiber To The Building) передбачає підведення оптичного волокна безпосередньо до будівлі, де встановлюється оптичний мережевий вузол. Відстань від цього вузла до абонентського обладнання, як правило, не перевищує 100 метрів. Подальший розподіл сигналу всередині будівлі здійснюється за допомогою внутрішньобудинкових кабельних систем, що дозволяє забезпечити достатньо високу швидкість доступу при відносно невеликих витратах» [3].

«Сучасною та перспективною є технологія FTTH (Fiber To The Home), яка передбачає підведення оптичного волокна безпосередньо до житлового приміщення абонента. У цьому випадку в приміщенні встановлюється індивідуальний оптичний термінал ONT, який забезпечує підключення користувацьких пристроїв до мережі. Такий підхід дозволяє досягти максимальної пропускної здатності, високої стабільності з'єднання та повної незалежності від мідної інфраструктури» [3].

Вибір конкретної реалізації FTTx залежить від технічних та економічних умов, однак саме FTTH є найефективнішим рішенням для забезпечення високошвидкісного доступу в сучасних умовах розвитку телекомунікаційних мереж.

1.3 Архітектури побудови FTTH-мереж

До сучасних мереж широкосмугового доступу висуваються високі вимоги щодо якості обслуговування QoS. Основними параметрами є пропускна здатність, затримка передачі, рівень втрат пакетів та стабільність з'єднання.

«Надійність мережі визначається її здатністю працювати безперервно навіть у випадку відмов окремих елементів. Для цього застосовуються резервування каналів, дублювання обладнання та використання якісних матеріалів» [2].

Існує два основних способи підключення ONT до оптичних волокон. Однією з них є топологія «точка-точка» P2P, яка використовує оптичне волокно від центрального офісу до кожного користувача (рис.1.2); інший – топологія «точка-багатоточок» P2MP (рис. 1.3).



Рисунок 1.2 – P2P однорангове рішення FTTH [3]

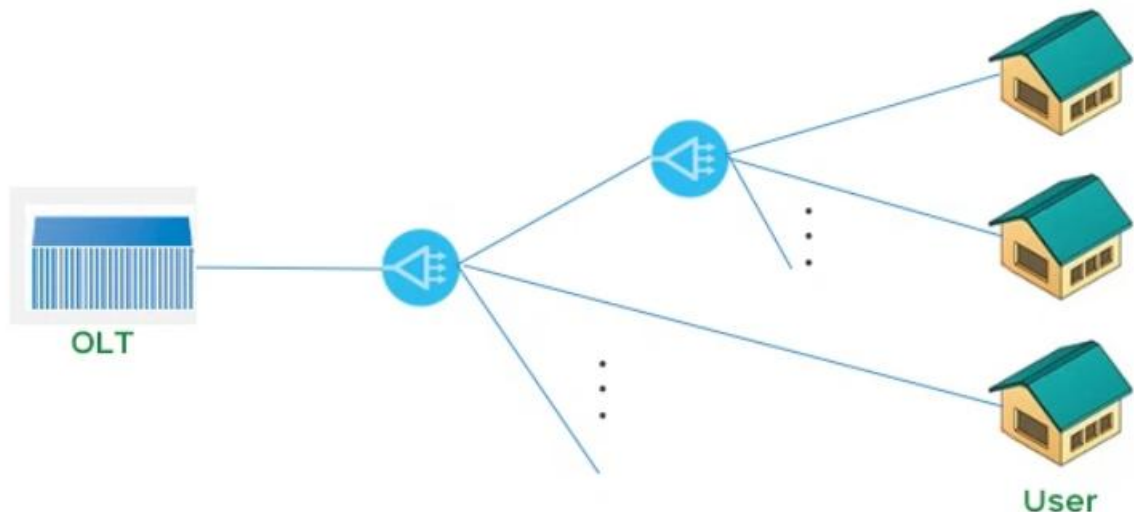


Рисунок 1.3 – P2MP рішення FTTH [3]

«Перевагами методу «точка-точка» є гарантована швидкість пропускання, високий рівень використання портів обладнання, кращий захист інформації користувача, велика відстань передачі та велика зона обслуговування. Однак одночасно потрібно прокладати велику кількість

оптичних волокон і оптичних приймачів, а вартість обладнання висока» [3].

«Технологія доступу по оптоволокну типу «точка-багатоточка» базується на використанні оптичного лінійного термінала (OLT), абонентського термінала (ONT/ONU) на стороні користувача та пасивної оптичної розподільчої мережі (ODN), що складається з оптичного волокна та розгалужувачів (сплітерів). Архітектура мережі побудована таким чином: у низхідному каналі зв'язку оптичний сигнал від обладнання провайдера (OLT) передається через волокно до пасивного розгалужувача, де він розділяється і спрямовується до кожного кінцевого термінала користувача (ONT/ONU)» [2].

1.4 Базові стандарти мережі FTTH

Сучасні FTTH-мережі базуються на стандартах пасивних оптичних мереж, серед яких поширеними є GPON, XG-PON та XGS-PON. Порівняння параметрів характеристик стандартів пасивних оптичних мереж за [3] представлено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняльний аналіз стандартів PON

Характеристика	GPON	XG-PON	XGS-PON
Стандарт	ITU-T G.984	ITU-T G.987	ITU-T G.9807.1
Пропускна здатність Вниз / (Down) Вгору / (Up)	до 2,5 Гбіт/с	до 10 Гбіт/с до 2,5 Гбіт/с	до 10 Гбіт/с
Довжина оптичної хвилі Down/ Up	1310/1490 нм	1577 / 1270 нм	1577 / 1270 нм
Кількість абонентів	до 64 (128)	до 128	до 128
Дальність передачі	до 20 км	до 20 км	до 20 км
Оптичний бюджет	~28 дБ	~29...31 дБ	~29...31 дБ
Сумісність	Базовий стандарт	Сумісний з GPON	Сумісний з GPON та XG-PON
Підтримка QoS	так	так	так
Основне застосування	FTTH, масовий доступ	Високошвидкісні мережі	Преміум FTTH, бізнес-користувачі

З наведеного порівняння слідує, що стандарт GPON є базовим і поширеним рішенням для побудови мереж FTTH, забезпечуючи достатню швидкість для більшості користувачів. XG-PON розширює можливості

мережі за рахунок значного збільшення швидкості в напрямку до абонента, однак залишається асиметричним. Стандарт XGS-PON забезпечує симетричну передачу даних на швидкості до 10 Гбіт/с, що робить його оптимальним для майбутніх високонавантажених мереж та бізнес-сегменту.

1.5 Основні компоненти FTTH-мережі

У результаті проведеного аналізу встановлено, що технологія FTTH є найперспективнішим рішенням для побудови мереж у житловій забудові, оскільки вона забезпечує високу пропускну здатність, надійність та можливість подальшого масштабування. Така FTTH-мережа складається з активних і пасивних компонентів, основу яких складають:

- оптичні лінії передачі;
- оптичні розподільчі шафи та кроси;
- пасивні сплітери;
- активне обладнання в OLT;
- абонентські термінали ONT/ONU.

Типова топологія побудови пасивної оптичної FTTH-мережі, яка демонструє повний шлях передачі даних від центрального вузла провайдера до кінцевого абонентського обладнання наведена на рисунку 1.4.

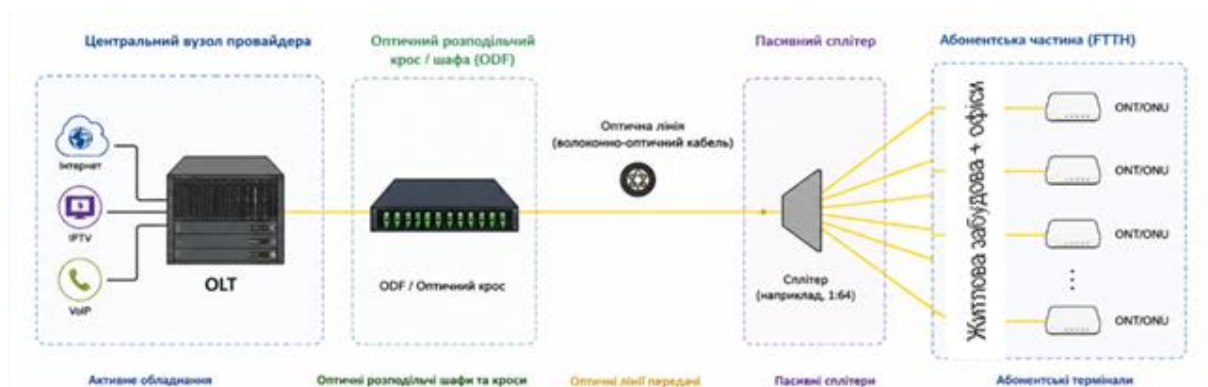


Рисунок 1.4 – Типова топологія побудови пасивної оптичної FTTH-мережі

На основі проведеного в даному розділі аналізу можна зробити висновок, що вибір конкретного типу обладнання для побудови FTTH-мережі є одним із основних етапів проєктування, який безпосередньо впливає на основні показники мережі: ефективність, надійність та масштабованість. При цьому необхідно враховувати технічні характеристики активних та пасивних компонентів, їхню сумісність між собою, а також відповідність сучасним стандартам пасивних оптичних мереж.

Раціональний підбір обладнання, зокрема терміналів OLT, ONT, оптичних кабелів та сплітерів, дозволяє забезпечити оптимальне використання ресурсів мережі, мінімізувати втрати сигналу та гарантувати стабільну роботу системи в умовах зростаючого навантаження.

Обґрунтований вибір технічних рішень є необхідною передумовою для побудови сучасної FTTH-мережі, здатної забезпечити високоякісний широкосмуговий доступ для кінцевих користувачів.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ПРОЄКТУ FTTH-МЕРЕЖІ ДЛЯ ЖИТЛОВОЇ ЗАБУДОВИ

2.1 Аналіз об'єкту дослідження та району проєктування

Метою кваліфікаційної роботи є побудова масштабованої мережі широкосмугового доступу за архітектурою FTTH для багатоквартирного будинку з вбудованими комерційними приміщеннями (рис. 2.1): на базі технології GPON – для житлового сектору та на базі технології XG-PON – для офісів (комерційного сектору).



Рисунок 2.1 – План багатоквартирного будинку з вбудованими комерційними приміщеннями

Вихідні дані по об'єкту розробки наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для проєктування мережі

Житлова забудова	Відстань від вузла агрегації провайдера, км	Характеристика будинку			Кількість абонентів для підключення
		Кількість поверхів	Кількість під'їздів	Кількість квартир, офісів	
Багатоквартирний будинок	1,65	9/8	3	36/32/32	100
Комерційні приміщення		1	2, 3	6	6 офісів

Мережа призначена для надання комплексних мультимедійних послуг (Triple Play): високошвидкісного доступу до мережі Інтернет, цифрового телебачення (IPTV/OTT) та IP-телефонії.

Для побудови магістральної ділянки мережі використовується оптичний кабель з волокном стандарту G.652.D.

Оптичний кабель прокладатиметься в існуючій кабельній каналізації.

Внутрішньобудинкова мережа виконуватиметься з використанням оптичного волокна стандарту G.657 шляхом вертикального прокладання кабелів у малострумових нішах міжповерхових стояків у кожному під'їзді.

Підключення комерційних приміщень об'єкта здійснюватиметься через виділений порт OLT, що дозволяє відокремити бізнес-трафік від житлового сектора. Враховуючи максимальну відстань до абонента 1,65 км, для забезпечення надійного зв'язку обладнання PON обираємо класу B+ з енергетичним бюджетом не нижче 28 дБ [4].

2.2 Вибір та обґрунтування схеми каскадування сплітерів

За таблицею 2.1 загальна кількість абонентів житлової частини становить 100 квартир. Оскільки стандартне співвідношення сплітерування 1:64 є практичною межею для стабільної роботи GPON-мережі класу B+, недоцільно підключати весь будинок до одного PON-порту. Тому для житлового сектора будинку з врахуванням масштабування використовуємо три GPON-порти OLT.

Для першого PON-порту доцільно передбачити обслуговування першого під'їзду, де розміщено 36 квартир. Для другого PON-порту – другий під'їзд будинку із загальною кількістю 32 квартири. Для третього PON-порту підключаємо третій під'їзд будинку із загальною кількістю 32 квартири. Такий розподіл дозволяє рівномірно завантажити ресурси OLT та залишити можливість резервування портів для майбутніх підключень.

Для житлової частини застосовуємо двокаскадну схему сплітерування з використанням оптичних сплітерів за схемою: $1:4 + 1 \times 1:16$ (табл. 2.2). Перший рівень сплітерування виконується в оптичному розподільчому боксі кожного під'їзду. Другий рівень сплітерування розміщується на поверхах під'їзду. Таке розташування зменшує довжину абонентських відгалужень та спрощує підключення нових користувачів.

Для комерційних приміщень об'єкта використовуємо окремий XG-PON-порт OLT зі сплітером $1:8$ (табл. 2.2). Це дозволяє зменшити втрати в оптичній лінії та забезпечити кращий запас за енергетичним бюджетом та полегшити експлуатаційне обслуговування оптичної FTTH-мережі за технологією XG-PON.

Таблиця 2.2 – Сплітерування оптичної FTTH-мережі

Сектор мережі	Кількість абонентів	PON-порт OLT	Схема сплітерування
1-й під'їзд	36	1	$1:4 + 1:16 = 1:64$
2-й під'їзд	32	1	$1:4 + 1:16 = 1:64$
3-й під'їзд	32	1	$1:4 + 1:16 = 1:64$
Комерційні приміщення (офіси)	6	1	$1:8$

Розроблена схема сплітерування за даними таблиці 2.2 наведена на рисунку 2.2.

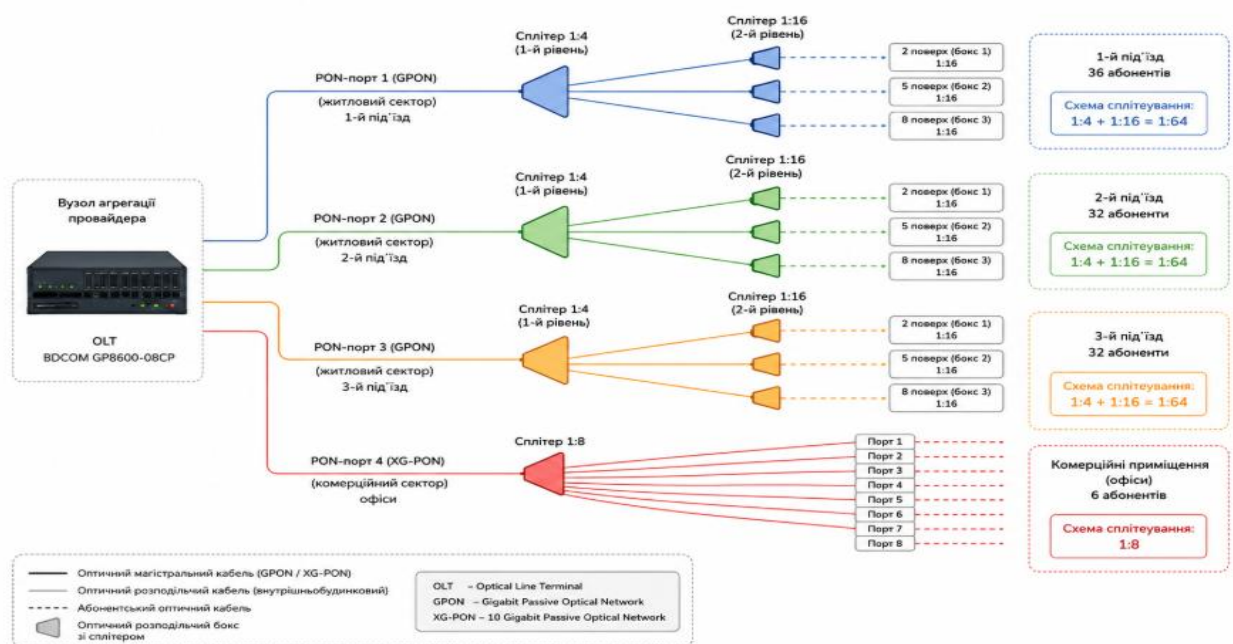


Рисунок 2.2 – Схема сплітерування пасивної оптичної FTTH-мережі

Розроблена схема сплітування враховує кількість абонентів і забезпечує задану технічну надійність, масштабованість та повну підтримку сервісів Triple Play.

2.3 Вибір обладнання станційної ділянки мережі

2.3.1 Оптичний лінійний термінал OLT

Для організації центрального вузла PON-мережі обираємо оптичний лінійний термінал BDCOM GP8600-08CP. Дане обладнання має комбіновані порти та підтримує технологію GPON/XG-PON/XGS-PON, забезпечує роботу з оптичними мережами класу B+ з енергетичним бюджетом до 28 дБ [5].

Для розробленої FTTH-мережі планується використання трьох PON-портів: два GPON-порти для житлового сектора та один XGPON-порт для комерційних приміщень. Вибраний OLT має 8 комбо PON-портів, що дозволяє підключати заплановану кількість абонентських терміналів та забезпечує резерв для подальшого розвитку мережі. Обладнання підтримує сервіси Triple Play, включаючи високошвидкісний доступ до Інтернету, IPTV та IP-телефонію, а також функції віртуальної локальної мережі VLAN, якість обслуговування QoS та multicast-трафіку, необхідні для стабільної роботи сучасної мережі доступу, що повністю задовільняє вихідні умови проєктування.

2.3.2 Магістральний оптичний крос ODF

Використання кросу ODF на станційній ділянці забезпечує впорядковане розміщення оптичних ліній, захист місць зварювання волокон, зручність технічного обслуговування та можливість подальшого масштабування мережі. Організацію оптичної комутації у вузлі агрегації провайдера здійснюємо оптичним розподільчим кросом типу Crosver FOB-1U-SC24/24 на 24 порти. Для FTTH-мережі застосовуємо адаптери типу SC/UPC. Вибраний ODF підтримує підключення одномодових волокон стандартів G.652.D і забезпечує резервування портів для подальшого

розвитку пасивної оптичної мережі [6].

2.3.3 Оптичний патч-корд

Для з'єднання GPON-портів OLT з оптичним розподільчим кросом ODF використовуються одномодові оптичні патч-корди з волокном стандарту G.652.D [7].

2.4 Обґрунтування вибору оптичного кабелю для лінійної ділянки

Для магістральних ліній FTTH вибираємо оптичне волокно типу G.652.D. Для прокладання лінійної ділянки оптичної мережі використаємо одномодовий оптичний кабель марки ОКЛБг-4-ДА(2,7)П-2*4Е1-0,36Ф3,5/0,22Н18-8/0 [8]. З технічних характеристик кабелю коефіцієнт загасання на довжинах хвиль 1310/1550 нм становить відповідно 0,36/0,22 дБ/км [8]. Будівельна довжина кабелю становить 2 км, що достатньо для прокладання оптичної лінії на ділянці траси, оскільки відстань від вузла агрегації до житлової забудови становить 1,65 км. Це дозволить прокласти магістраль одним суцільним кабелем без додаткових зварних муфт в кабельній каналізації, що покращить бюджет оптичної потужності.

2.5 Розрахунок оптичного бюджету потужності для найвіддаленішого абонента

Відповідно до вихідних умов, магістральний оптичний кабель прокладається в кабельній каналізації від вузла агрегації провайдера до житлового будинку на відстань 1,65 км (див. табл. 2.1).

Найвіддаленішим абонентом приймаємо квартиру, розташовану у 1-му під'їзді на 9-му поверсі.

Розрахунок оптичного бюджету потужності виконуємо на основі даних проєктування та прийнятих рішень у роботі, наведених у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Дані для розрахунку оптичного бюджету потужності

Параметр	Значення
Клас PON-обладнання	не нижче В+
Енергетичний бюджет PON В+	28 дБ
Довжина магістральної ділянки	1,65 км
Загасання кабелю G.652.D на 1310 нм	0,36 дБ/км
Схема сплітерування	1:4 + 1:16 = 1:64
Експлуатаційний запас	3 дБ

Додатково для виконання розрахунку приймаємо за [9]:

- втрати у сплітері 1:4 становлять 7,2 дБ;
- втрати у сплітері 1:16 становлять 13,7 дБ;
- втрати на зварних з'єднаннях становлять 0,1 дБ на з'єднання;
- втрати на роз'ємних з'єднаннях типу SC становлять 0,3 дБ на з'єднання.

Втрати в елементах оптичної мережі визначаються за формулою (2.1):

$$A_x = L_x \cdot \alpha + N_{pz-x} \cdot A_{pz} + N_{zz-x} \cdot A_{zz} + A_s, \quad (2.1)$$

де « L_x – довжина лінії від оптичного терміналу до оптичного розгалужувача каскаду;

α – коефіцієнт загасання на розрахунковій довжині хвилі;

N_{pz-x} – кількість роз'ємних з'єднань на ділянці x ;

A_{pz} – загасання одного роз'ємного з'єднання ;

N_{zz-x} – кількість зварних з'єднань на ділянці x ;

A_{zz} – загасання одного зварного з'єднання

A_s – сумарне загасання на каскаді сплітерів» [9].

На основі розглянутої вище топології пасивної оптичної мережі розроблено розрахункову схему, наведену на рисунку 2.3, для найвіддаленішого абонента, який знаходиться в 1 під'їзді на 9 поверсі.

Відповідно до формули (2.1) визначаємо втрати в окремих ділянках мережі.

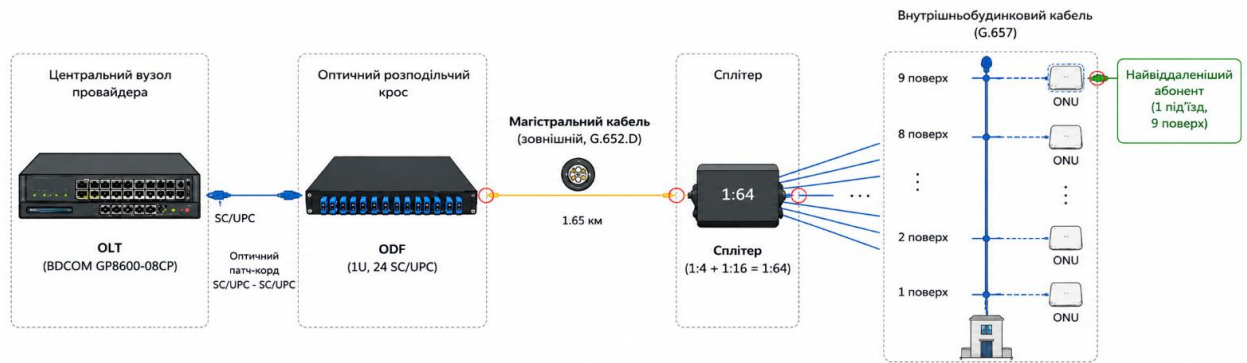


Рисунок 2.3 – Розрахункова функціональна схема ФТТН-мережі для визначення оптичних втрат для найвіддаленішого абонента

Втрати в магістральному кабелі:

$$A_{\text{каб}} = 1,65 \cdot 0,36 = 0,594 \approx 0,6 \text{ дБ.}$$

Для внутрішньобудинкової ділянки від розподільчого боксу до квартири на 9-му поверсі приймаємо орієнтовну довжину кабелю 50 м, тобто 0,05 км. Для волокна G.657 загасання також приймаємо 0,36 дБ/км.

$$A_{\text{вн}} = 0,05 \cdot 0,36 = 0,018 \approx 0,02 \text{ дБ.}$$

Втрати на сплітерах:

$$A_{\text{спл}} = 7,2 + 13,7 = 20,9 \text{ дБ.}$$

Приймаємо 4 зварні з'єднання з втратами на рівні:

$$A_{\text{зв}} = 4 \cdot 0,1 = 0,4 \text{ дБ.}$$

Приймаємо 4 роз'ємні з'єднання SC/UPC з втратами на рівні:

$$A_{\text{роз}} = 4 \cdot 0,3 = 1,2 \text{ дБ.}$$

Сумарні максимальні втрати сигналу в ФТТН-мережі складатимуть:

$$A_{\Sigma} = 0,6 + 0,02 + 20,9 + 0,4 + 1,2 + 3 = 26,12 \text{ дБ.}$$

Резерв оптичної потужності отримуємо на рівні:

$$28 - 26,1 = 1,9 \text{ дБ.}$$

Результати обчислень оптичного бюджету потужності зведені у таблиці 2.4. Розрахунок показує, що сумарні втрати від терміналу OLT до найвіддаленішого терміналу абонента ONU, розташованого у 1-му під'їзді на

9-му поверсі, становлять 26,1 дБ. Це не перевищує допустимий енергетичний бюджет GPON класу В+, який дорівнює 28 дБ, а отриманий резерв потужності 1,9 дБ, допустимий для стабільної роботи FTTH-мережі.

Таблиця 2.4 – Результати розрахунку оптичного бюджету потужності для найвіддаленішого користувача FTTH-мережі

№	Елемент оптичної лінії	Втрати, дБ
1	Магістральний оптичний кабель стандарту G.652.D	0,6
2	Внутрішньобудинковий кабель стандартів G.652.D, G.657	0,02
3	PLC-сплітери	20,9
4	Зварні з'єднання	0,4
5	Роз'ємні з'єднання SC/UPC	1,2
6	Експлуатаційний запас	3
-	Сумарні втрати оптичної лінії	26,12
-	Допустимий бюджет GPON	28
-	Запас по потужності	1,9

Отже, обрана двокаскадна схема сплітерування типу 1:4 + 1:16, магістральний кабель G.652.D та внутрішньобудинковий кабель G.657 забезпечують працездатність FTTH-мережі для житлового сектору.

Для комерційного сектору проєктом виділено окрему магістраль від OLT. Загасання на сплітері 1:8 (10,5 дБ) відповідає нормативним параметрам і дозволяє забезпечити користувачам гарантовану смугу пропускання.

2.6 Оцінка інформаційної пропускної здатності оптичної мережі

2.6.1 Розрахунок пропускної здатності для житлового сектору за технологією GPON

Для житлового сектору використовується 3 PON-порти GPON:

- PON-порт 1 – 1-й під'їзд на 36 абонентів;
- PON-порт 2 – 2-й під'їзд на 32 абоненти;
- PON-порт 3 – 3-й під'їзд на 32 абоненти.

Відповідно до даних з таблиці 1.1 технологія GPON забезпечує таку номінальну пропускну здатність одного PON-порту: у напрямку до абонента (Down) 2,5 Гбіт/с; у напрямку від абонента (Up) 1,25 Гбіт/с.

Загальна пропускна здатність для житлової частини у напрямку до абонентів становитиме:

$$C_{down} = 3 \cdot 2,5 = 7,5 \text{ Гбіт/с.}$$

Загальна пропускна здатність у напрямку від абонентів:

$$C_{up} = 3 \cdot 1,25 = 3,75 \text{ Гбіт/с.}$$

Отже, сумарна номінальна пропускна здатність GPON-мережі для житлової частини становить:

$$C_{\Sigma} = 7,5 + 3,75 = 11,25 \text{ Гбіт/с.}$$

Оскільки пропускна здатність у PON-мережі розподіляється між абонентами, розрахуємо середню швидкість на одного користувача за умови їх одночасної активності.

Для 1-го під'їзду:

$$C_{down1} = \frac{2,5}{36} = 0,069 \text{ Гбіт/с;}$$

$$C_{up1} = \frac{1,25}{36} = 0,0345 \text{ Гбіт/с.}$$

Для 2 і 3-го під'їздів:

$$C_{down2,3} = \frac{2,5}{32} = 0,0782 \text{ Гбіт/с;}$$

$$C_{up2,3} = \frac{1,25}{32} = 0,0391 \text{ Гбіт/с.}$$

За технічними нормами та сучасними вимогами до якості сервісу (QoS), мінімальний поріг для стабільної роботи пакета Triple Play становить від 50 до 100 Мбіт/с в напрямку «вниз» [9]. Отримані результати пропускної здатності для PON-мережі повністю задовільняють мінімальний поріг.

2.6.2 Розрахунок пропускної здатності для комерційних приміщень за технологією XG-PON

Для комерційних приміщень передбачається використання окремого PON-порту за технологією XG-PON. Такий вибір обґрунтований необхідністю підвищеної пропускної здатності для офісних користувачів, які

можуть використовувати хмарні сервіси, IP-телефонію, відеоконференції, VPN-з'єднання та корпоративні інформаційні системи.

Кількість комерційних абонентів становить 6 офісів. Для їх підключення використовується окремий сплітер 1:8, що забезпечує підключення всіх офісів і залишає резерв на 2 додаткові підключення.

Згідно таблиці 1.1 технологія XG-PON забезпечує низхідний трафік до 10 Гбіт/с; висхідний до 2,5 Гбіт/с.

Середня пропускна здатність на один офіс при одночасній роботі 6 користувачів:

$$C_{down.office} = \frac{10}{6} = 1,6667 \text{ Гбіт/с};$$

$$C_{up.office} = \frac{2,5}{6} = 0,417 \text{ Гбіт/с}.$$

У таблиці 2.5 зведені підсумкові результати розрахунку інформаційної пропускної здатності розробленої FTTH-мережі для житлового та комерційного секторів.

Таблиця 2.5 – Результати розрахунку інформаційної пропускної здатності оптичної FTTH-мережі

Сектор мережі	Технологія	Кількість абонентів	Вниз (Downstream)	Вгору (Upstream)	Швидкість «вниз» на абонента за максим. навантаження мережі
1-й під'їзд	GPON	36	2,5 Гбіт/с	1,25 Гбіт/с	69 Мбіт/с
2-й під'їзд	GPON	32	2,5 Гбіт/с	1,25 Гбіт/с	78,2 Мбіт/с
2-й під'їзд	GPON	32	2,5 Гбіт/с	1,25 Гбіт/с	78,2 Мбіт/с
Комерційні приміщення (офіси)	XG-PON	6	10 Гбіт/с	2,5 Гбіт/с	1666,7 Мбіт/с

Використання технології GPON для житлового сектору свідчать про те, що навіть за умов повного навантаження мережі розрахована пропускна здатність достатня для надання послуг «Triple Play». Швидкості 69 Мбіт/с на одного користувача дозволяють одночасно використовувати декілька сервісів без помітного погіршення якості обслуговування. Такої пропускної здатності

достатньо для перегляду IPTV у форматі Full HD або 4K, роботи відеоконференцій, використання хмарних сервісів та стабільного доступу до мережі Інтернет одночасно для декількох пристроїв у квартирі. Це є підтвердженням, що обрана схема каскадного сплітерування 1:4 + 1:16 технічно обґрунтована та забезпечує необхідний рівень якості послуг навіть у режимі максимального навантаження.

Окремо варто відзначити комерційний сектор, для якого використовується технологія XG-PON, у результаті чого на одного користувача припадає приблизно 1666,7 Мбіт/с пропускної здатності у напрямку «вниз» навіть при 100 % навантаженні мережі. Такий показник є надзвичайно високим для бізнес-сегмента та забезпечує значний запас продуктивності для майбутнього розвитку сервісів. Використання XG-PON дозволяє підтримувати:

- великі обсяги хмарного трафіку;
- корпоративні VPN-мережі;
- відеоконференції у високій якості;
- системи відеоспостереження;
- резервне копіювання даних;
- роботу серверних або офісних ІТ-систем.

Крім високої швидкості, рішення для офісного сектору має хорошу масштабованість. Використання сплітера 1:8 із підключенням лише 6 офісів залишає резервні порти для майбутнього розширення мережі без необхідності модернізації центрального обладнання OLT. Це дозволяє підключати нових бізнес-абонентів або збільшувати навантаження існуючих користувачів із мінімальними витратами на модернізацію мережі.

Розроблена мережа гарантує стабільну роботу Triple Play та має значний запас потужності для масштабування послуг у комерційному секторі, що повністю відповідає поставленому завданню.

РОЗДІЛ 3

АПАРАТНО-ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА МОНТАЖ РОЗРОБЛЕНОЇ FTTH-МЕРЕЖІ

3.1 Технічні характеристики та конфігурація оптичного лінійного терміналу BDCOM

Для OLT вибрано оптичний термінал BDCOM GP8600-08CP з підтримкою GPON, XG-PON та XGS-PON, призначений для побудови сучасних FTTH-мереж із можливістю плавного переходу з 1 Гбіт на 10 Гбіт PON без заміни інфраструктури. Зовнішній вигляд OLT представлений на рисунку 3.1, а експлуатаційно-технічні характеристики у таблиці 3.1.



Рисунок 3.1 – PON термінал BDCOM GP8600-08CP [5]

Таблиця 3.1 – Основні експлуатаційно-технічні характеристики оптичного терміналу BDCOM GP8600-08CP

Параметр	Характеристика
PON інтерфейси	8 × XGS-PON Combo; GPON: 2,5G ↓ / 1,25G ↑; XG-PON: 10G ↓ / 2,5G ↑; XGS-PON: 10G ↓ / 10G ↑; Аутентифікація ONT
Аплінк порти	8 × 10GE/GE SFP+; 2 × 100G QSFP28
Класи модулів	B+, C+, C++ та C+++ із роз'ємами SC / UPC.
Комутаційна ємність	До 880 Гбіт/с
Функції мережі	VLAN, QinQ; Multicast IGMP Snooping / Proxy; статична та динамічна маршрутизація; DHCP сервер; VRRP; IPv6 підтримка
Підтримка QoS	Обмеження швидкості; пріоритезація трафіку; черги SP / WRR
Безпека	1X, RADIUS, AAA; ізоляція портів; DHCP Snooping; захист ARP; Storm cONTrol; шифрування PON трафіку
Керування	CLI, Web, SNMP; оновлення через FTP / TFTP; логи та моніторинг OMCI
Живлення	AC 100...240 В або DC 36...72 В; підтримка резервного живлення
Умови експлуатації	Температура: 0...+45 °C; монтаж у стійку 19", висота 1U

Аналіз характеристик з таблиці 3.1 показує, що вибраний OLT обладнаний 8 комбінованими PON-інтерфейсами типу XGS-PON Combo. Кожен порт підтримує одночасну роботу з технологіями GPON, XG-PON та XGS-PON.

Апаратна частина терміналу має високі показники продуктивності. Комутаційна ємність становить до 880 Гбіт/с, що дозволяє одночасно обробляти великі обсяги трафіку та забезпечувати стабільну роботу мережі. Для підключення до транспортної мережі передбачені високошвидкісні порти: 8 портів 10GE/GE SFP+ та 2 порти 100G QSFP28. Це забезпечує резерв пропускної здатності та можливість інтеграції OLT у сучасні магістральні IP/MPLS-мережі оператора зв'язку.

Перевагою BDCOM GP8600-08CP є розширена підтримка мережових функцій, зокрема: VLAN, multicast-трафік, IGMP Snooping та IGMP Proxy, які використовуються для реалізації послуг IPTV у мережах Triple Play. Також обладнання підтримує статичну та динамічну маршрутизацію, DHCP-сервіс, VRRP та IPv6, що забезпечує сумісність із сучасними IP-мережами та можливість масштабування мережевої інфраструктури.

Для забезпечення якості обслуговування абонентів у терміналі реалізовано також механізми QoS. Підтримується обмеження швидкості, пріоритезація трафіку та алгоритми керування чергами SP і WRR. Це дозволяє виділяти пріоритет для сервісів, таких як IP-телефонія або IPTV та забезпечувати стабільну роботу мережі за високого навантаження.

Значна увага приділена питанням інформаційної безпеки. OLT підтримує аутентифікацію користувачів через механізми 802.1X, RADIUS та AAA, ізоляцію портів, DHCP Snooping, захист від ARP-атак та шифрування PON-трафіку. Наявність наведених функцій підвищує захищеність мережі та дозволяє обмежити несанкціонований доступ до ресурсів оператора.

Керування обладнанням може здійснюватися через командний рядок CLI, Web-інтерфейс або протокол SNMP. Також підтримуються функції моніторингу, ведення журналів подій та оновлення програмного

забезпечення через FTP / TFTP. Це спрощує адміністрування мережі та забезпечує централізований контроль за роботою всього обладнання.

Аналіз характеристик OLT BDCOM GP8600-08CP показує, що він повністю відповідає вимогам розробленої FTTH-мережі, забезпечує підтримку сучасних стандартів PON, необхідну пропускну здатність, підтримку сервісів Triple Play, механізми QoS та інформаційної безпеки, а також має резерв для подальшого розвитку мережі.

3.2 Вибір та параметри SFP-трансиверів для магістральних каналів

Для обраної моделі OLT BDCOM GP8600-08CP, яка є мультисервісною платформою (має Combo PON, табл. 3.1), вибираємо SFP-модуль BDCOM OLT-XGS-PON / GPON Combo OLT SFP+. Використання в OLT вибраного SFP-модуля дозволяє одночасно обслуговувати абонентів зі стандартними GPON ONT та XG-PON ONT, що повністю відповідає вимогам розробленої мережі доступу. SFP модулі трансиверів для розробленої мережі представлені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – SFP модулі трансивера для мережі FTTH

Порт OLT	Технологія	«Вниз»	«Вгору»	SFP модуль
OLT 1	GPON	2,5 Гбіт/с	1,25 Гбіт/с	BDCOM OLT-XGS-PON / GPON Combo OLT SFP+
OLT 2	GPON	2,5 Гбіт/с	1,25 Гбіт/с	
OLT 3	GPON	2,5 Гбіт/с	1,25 Гбіт/с	
OLT 4	XG-PON	10 Гбіт/с	2,5 Гбіт/с	

Вибраний SFP модуль BDCOM OLT-XGS-PON / GPON Combo OLT SFP+ наведено на рисунку 3.2, а технічні характеристики у таблиці 3.3.



Рисунок 3.2 – SFP модуль BDCOM OLT-XGS-PON / GPON Combo SFP+ [10]

Таблиця 3.3 – Основні експлуатаційно-технічні характеристики SFP модуля BDCOM OLT-XGS-PON / GPON Combo OLT SFP+

Параметр	Характеристика
Підтримувані стандарти	GPON OLT; XG-PON OLT; XGS-PON OLT
Довжини хвиль	XG-PON, XGS-PON: TX: 1577 нм; RX: 1270 нм. GPON: TX: 1490 нм; RX: 1310 нм.
Швидкість передачі	XGS-PON: 10 Гбіт/с ↓ / 10 Гбіт/с ↑ XG-PON: 10 Гбіт/с ↓ / 2,5 Гбіт/с ↑ GPON: 2,5 Гбіт/с ↓ / 1,25 Гбіт/с ↑
Потужність передавача	до 8 дБм
Чутливість приймача	–29....–31 дБм
Динамічний діапазон	15 дБ
Моніторинг	Температура; напруга; потужність TX/RX; струм лазера; сигнал LOS
Конектор	SC / UPC
Живлення	Напруга: 3,3 В; споживання: менше 3 Вт.

У таблиці 3.3 наведені робочі довжини хвиль для різних стандартів PON. Розділення напрямків передачі за різними довжинами хвиль забезпечує одночасну двосторонню передачу даних по одному оптичному волокну без взаємних завад.

Потужність передавача у 8 дБм забезпечує достатній рівень оптичного сигналу для передачі даних на великі відстані. Чутливість приймача знаходиться в межах від –29 до –31 дБм, що відповідає вимогам мереж GPON/XG-PON класу B+ та дозволяє забезпечити стабільний прийом сигналу навіть при значних втратах у лінії.

Завдяки динамічному діапазону в 15 дБ модуль стабільно працюватиме при коливаннях вхідного сигналу, що характерно для розгалужених мереж PON зі сплітерами.

Важливою функцією є підтримка моніторингу параметрів роботи SFP модуля. Передбачено контроль температури, напруги живлення, потужності передавання та прийому оптичного сигналу, струму лазера та сигналу втрати зв'язку LOS. Такий моніторинг дозволяє оператору виконувати дистанційний контроль стану мережі та оперативно виявляти пошкодження або деградацію параметрів оптичної лінії.

3.3 Пасивне обладнання оптичної мережі

3.3.1 Магістральний оптичний крос ODF

Організацію оптичної комутації у вузлі агрегації OLT провайдера здійснюємо оптичним розподільчим кросом типу Crosver FOB-19/1-332/32-1-24, зовнішній вигляд якого наведено на рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 – Оптичний крос Crosver FOB-19/1-332/32-1-24 [6]

«Оптичний крос Crosver FOB-19/1-332/32-1-24 монтується в 19-дюймову стійку і застосовується для окінцювання оптичних кабелів методом зварювання з використанням пігтейлів. Крос оснащений органайзерами оптичних патч-кордів, які дозволяють зафіксувати і захистити підключені патч-корди від випадкових пошкоджень в процесі експлуатації» [6].

3.3.2 Оптичний патч-корд

Для з'єднання PON-портів OLT з оптичним розподільчим кросом ODF використовуємо одномодові оптичні патч-корди типу SC / UPC – SC / UPC на волокні стандарту G.652.D (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 – Патч-корд типу SC / UPC – SC / UPC [7]

Технічні характеристики патч-корду SC / UPC – SC / UPC наведені у таблиці 3.4

Таблиця 3.4 – Характеристики патч-корду SC / UPC – SC / UPC

Характеристика	Параметр
Стандарт	Telcordia GR-326
Стандарт ОВ	ITU-T G.652 D (з низьким водяним піком)
Тип і діаметр ОВ	Corning SMF – 28, 9 / 125мкм
Вносимі втрати	$\leq 0,30$ дБ
Зворотне відбиття	≤ -50 дБ
Діапазон робочих температур	$-40^{\circ}\text{C} \dots +75^{\circ}\text{C}$

Використання конекторів типу SC / UPC забезпечує сумісність із GPON-обладнанням OLT та ODF.

3.3.3 Оптичні сплітери

На основі обчислень (п. 2.4) застосовано схеми сплітування 1:4 + 1:16 для житлового та 1:8 для комерційного секторів із забезпеченням резерву потужності у 1,9 дБ. За [11] вибираємо оптичні сплітери для розробленої схеми FTTH (табл. 3.5).

Таблиця 3.5 – Оптичні сплітери схеми FTTH-мережі

Сектор мережі	Технологія	Кількість абонентів	Тип подільника PLC		Максимальна кількість підключень
			1-й каскад	2-й каскад	
1-й під'їзд	GPON	36	1:4 UPC	3x1:16 UPC	48
2-й під'їзд	GPON	32	1:4 UPC	3x1:16 UPC	48
3-й під'їзд	GPON	32	1:4 UPC	3x1:16 UPC	48
Комерційні приміщення (офіси)	XG-PON	6	1:8 UPC	–	8

Результати таблиці 3.5 свідчать про те, що обрана схема сплітерування FTTH-мережі забезпечує:

- відповідність кількості абонентів можливостям PON-портів;
- раціональний розподіл оптичного сигналу;
- резерв підключень у кожному секторі для подальшого розвитку мережі;
- оптимальний енергетичний бюджет;

– підтримку високошвидкісних сервісів Triple Play та корпоративних послуг.

На рисунку 3.5 зображено PLC сплітер з коефіцієнтом поділу 1:16 та конекторами SC / UPC.



Рисунок 3.5 – PLC сплітер 1:16 SC / UPC [11]

Експлуатаційно-технічні характеристики необхідних PLC сплітерів для FTTH-мережі наведені у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Основні експлуатаційно-технічні характеристики PLC сплітерів

Параметр	Значення		
	1:4	1:8	1:16
Коефіцієнт поділу (Split)	1:4	1:8	1:16
Тип оптичного роз'єму	SC / UPC	SC / UPC	SC / UPC
Тип оптичного спліттера	PLC	PLC	PLC
Розподіл потужності	Симетричний	Симетричний	Симетричний
Тип волокна	G.657A 9 / 125 мкм	G.657A 9 / 125 мкм	G.657A 9 / 125 мкм
Рівномірність	< 1,2 дБ	< 1,2 дБ	< 1,2 дБ
Поляризаційні втрати	< 0,3 дБ	< 0,3 дБ	< 0,3 дБ
Робоча довжина хвилі	1260...1650 нм	1260...1650 нм	1260...1650 нм
Внесені втрати	< 7,2 дБ	< 10,5 дБ	< 13,5 дБ
Зворотні втрати	> 55 дБ	> 55 дБ	> 55 дБ
Направленість	> 55 дБ	> 55 дБ	> 55 дБ
Робоча температура	від -40 до 85 °С	від -40 до 85 °С	від -40 до 85 °С

Обрані PLC-сплітери повністю відповідають вимогам розробленої FTTH-мережі та забезпечують її стабільну й масштабовану роботу.

3.3.4 Оптичний PON бокс

Вибрані в таблиці 3.6 оптичні сплітери розміщуємо в оптичних розподільних PON боксах серії Crosver FOB (табл. 3.7) [12].

Таблиця 3.7 – Вибір оптичних розподільних боксів серії Crosver FOB

Сектор мережі	Технологія	Кількість абонентів	Тип розподільного оптичного боксу Crosver		Максимальна кількість підключень
			1-й каскад	2-й каскад	
1-й під'їзд	GPON	36	FOB-02-04	FOB-04-16A	48
2-й під'їзд	GPON	32	FOB-02-04	FOB-04-16A	32
3-й під'їзд	GPON	32	FOB-02-04	FOB-04-16A	32
Комерційні приміщення (офіси)	XG-PON	6	FOB-07-08	—	8

На рисунку 3.6 наведено абонентський PON бокс серії Crosver FOB-04-16A.



Рисунок 3.6 – Абонентського PON бокс серії Crosver FOB-04-16A [12]

«Внутрішній простір боксу (рис. 3.6) обладнано монтажною панеллю з кронштейном під адаптери SC. На панелі також передбачені посадкові місця для захисних гільз та оптичних PLC-сплітерів, конструкція яких забезпечує швидку фіксацію на внутрішніх напрямних.

Нижня частина корпусу оснащена двома входами для магістрального кабелю та портами для виведення абонентських патч-кордів» [12].

Основні експлуатаційно-технічні характеристики оптичних

розподільних боксів серії Crosver FOB наведені у таблиці 3.8 за [12].

Таблиця 3.8 – Основні експлуатаційно-технічні характеристики оптичних розподільних боксів серії Crosver FOB

Параметр	Значення		
Тип боксу	FOB-02-04	FOB-07-08	FOB-04-16
Кількість вводів лінійного кабелю	2	2	2
Кількість виводів абонентського кабелю	4	8	16
Максимальний діаметр лінійного кабелю	12 мм	12 мм	12 мм
Максимальний діаметр абонентського кабелю	Ø3 мм (патч-кордовий) або 2×3 мм (FTTH)		
Максимальна кількість зварок	8	12	24
Габаритні розміри	210 × 140 × 40 мм	213×173×52 мм	310×255×95 мм
Клас захисту	IP 56	IP 56	IP 56
Робоча температура	від –40 до 65 °С	від –40 до 65 °С	від –40 до 65 °С

На рисунку 3.7 зображено абонентський бокс для розробленої FTTH-мережі GPON/XG-PON із портами SC / UPC.



Рисунок 3.7 – Абонентський бокс для мережі GPON/XG-PON із портами SC / UPC [12]

Конструкція кріплень вибраних оптичних боксів дозволяє розміщувати їх як на опорах, стінах чи інших поверхнях. «Пластик корпусу стабілізовано до впливу ультрафіолетового випромінювання і температурних коливань. Гумова прокладка ущільнювача корпусу і ущільнювальні втулки вводу кабелів захищають бокси від проникнення пилу і бризок рідини» [12].

3.4 Експлуатаційні характеристики оптичних кабелів

3.4.1 Кабель лінійної ділянки

Для побудови лінійної ділянки оптичної мережі обрано одномодовий броньований кабель марки ОКЛБГ-4-ДА(2,7)П-2*4Е1-0,36Ф3,5/0,22-Н18-8/0 (рис. 3.8).



Рисунок 3.8 – Оптичний кабель ОКЛБГ-4-ДА(2,7)П-2*4Е1-0,36Ф3,5/0,22-Н18-8/0 [8]

Конструктивні особливості вибраного кабелю роблять його придатним для експлуатації у складних зовнішніх умовах: в ґрунті або в кабельній каналізації. Завдяки сталевій гофрованій стрічці кабель має високу стійкість до роздавлювання та надійний захист від гризунів.

Технічні характеристики кабелю наведені у таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Характеристика оптичного кабелю ОКЛБГ-4-ДА(2,7)П-2*4Е1

Характеристика	Параметр
Тип ОВ	ITU-T G.652 D (з низьким водяним піком)
Кількість ОВ в кабелі	8: 2 оптичні модулі, у кожному по 4 волокна типу Е1
Діаметр кабелю	10,5...12,5 мм
Мінімальний радіус вигину	20 зовнішніх діаметрів кабелю
Допустиме зусилля на розтяг (динамічне)	2,7 кН
Допустиме зусилля на розтяг (статичне)	1,5 кН
Стійкість до роздавлювання	3,0 кН/10 см (завдяки сталевій гофроброні)
Робоча довжина оптичної хвилі	1270 нм ... 1577 нм
Коефіцієнт хроматичної дисперсії	Для 1310 нм – 3,5 пс/(нм*км) Для 1550 нм – 0,22 пс/(нм*км)
Коефіцієнт загасання	Для 1310 нм $\leq 0,36$ дБ/км Для 1550 нм $\leq 0,22$ дБ/км
Будівельна довжина	2 км
Діапазон робочих температур	-40°C ... +60°C
Температура монтажу	-10°C ... +50°C

Стандартна конструкція (2 модулі по 4 волокна) оптичного кабелю забезпечує зручність монтажу та обслуговування, що робить його ефективним рішенням для побудови оптичних FTTH-мереж доступу.

Вибір кабелю з 8 оптичними волокнами за потреби лише 4 робочих також є обґрунтованим рішенням.

По-перше, частина волокон (у даному випадку 4) використовується як резерв, що дозволяє:

- оперативно переключити лінію у разі пошкодження основного волокна;
- виконувати ремонт без переривання зв'язку;
- підвищити надійність мережі.

По-друге, резервні волокна забезпечують можливість подальшого розширення мережі:

- підключення нових абонентів або базових станцій;
- впровадження додаткових сервісів або технологій;
- організацію окремих каналів для службового або технологічного зв'язку.

По-третє, використання кабелю з більшою кількістю волокон є економічно доцільним, оскільки прокладання кабелю – найвитратніший етап в побудові мережі, тому оптимально відразу закласти запас.

3.4.2 Кабель абонентської ділянки FTTH-мережі

Абонентську ділянку реалізовуємо за допомогою оптичних кабелів FinMark. Технічна реалізація такої мережі передбачає декілька етапів.

1. Від будинкового ввідного ящика до щитка зі сплітерами 1:4 першого каскаду. Це магістраль під'їзду, тут проходить основний сигнал для користувачів всього під'їзду. За [13] вибираємо внутрішній розподільчий одномодовий оптичний кабель FinMark UT004-SM-15 з 4 волокнами стандарту G.652.D та оболонкою LSZH (низьке димоутворення, нульовий вміст галогенів). Хоча для одного сплітера 1:4 потрібно одне волокно, інші три залишаються як «холодний резерв» на випадок пошкодження або для

можливого підключення окремого бізнес-клієнта.

Оптичний кабель FinMark UT004-SM-15 зображений на рисунку 3.9.

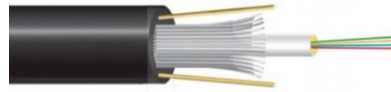


Рисунок 3.9 – Оптичний кабель FinMark UT004-SM-15 [13]

Характеристики вибраного кабелю наведені у таблиці 3.10 за [13].

Таблиця 3.10 – Характеристика кабелю FinMark UT004-SM-15

Характеристика	Параметр
Тип ОВ	ITU-T G.652 D (з низьким водяним піком)
Кількість ОВ в кабелі	4 волокна
Діаметр оптичного модуля	2,0 мм
Діаметр кабелю	5,0 мм
Мінімальний радіус вигину	10 зовнішніх діаметрів кабелю
Тип оболонки	LSZH
Допустиме зусилля на розтяг	1,0 кН
Допустиме роздавлююче зусилля	0,5 кН/100 мм
Робоча довжина оптичної хвилі	1270 нм ... 1577 нм
Коефіцієнт загасання	Для 1310 нм $\leq 0,36$ дБ/км Для 1550 нм $\leq 0,22$ дБ/км
Будівельна довжина	1 км
Діапазон робочих температур	$- 40^{\circ}\text{C} \dots + 60^{\circ}\text{C}$
Температура монтажу	$- 15^{\circ}\text{C} \dots + 40^{\circ}\text{C}$

2. Поверхове розведення мережі: від оптичного боксу сплітера 1:4 1-го каскаду до абонентських боксів зі сплітерами 1:16 2-го каскаду. Це ділянка всередині під'їзду між каскадами оптичної мережі. За [13] вибираємо розподільчий одномодовий оптичний кабель FinMark UT004-SM-15 з 4 волокнами стандарту G.652.D та оболонкою LSZH.

Розподіл оптичних волокон до оптичних боксів Crosver FOB мережі ФТТН наведено у таблиці 3.11. Такий вибір дозволяє забезпечити кожен розподільчу точку (сплітер 1:16) окремим фізичним волокном від першого каскаду (1:4), зберігаючи при цьому від 25% до 50% ємності кабелю як «холодний резерв» для оперативного відновлення зв'язку або підключення високонавантажених абонентів поза каскадом.

Таблиця 3.11 – Розподіл оптичних волокон до оптичних боксів Crosver FOB мережі FTTN

Сектор мережі	Технологія	Кількість абонентських оптичних боксів	Тип оптичного кабелю 1-го і 2-го каскадів	Розподіл оптичних волокон (ОВ) до оптичних боксів (ОБ)
1-й під'їзд	GPON	3	FinMark UT004-SM-15	ОВ №1.1 – до ОБ 1.1 (сплітер 1:16) ОВ №1.2 – до ОБ 1.2 (сплітер 1:16) ОВ №1.3 – до ОБ 1.3 (сплітер 1:16) ОВ №1.4 – «резерв»
2-й під'їзд	GPON	3	FinMark UT004-SM-15	ОВ №2.1 – до ОБ 2.1 (сплітер 1:16) ОВ №2.2 – до ОБ 2.2 (сплітер 1:16) ОВ №2.3 – до ОБ 2.3 (сплітер 1:16) ОВ №2.4 – «резерв»
3-й під'їзд	GPON	3	FinMark UT004-SM-15	ОВ №3.1 – до ОБ 3.1 (сплітер 1:16) ОВ №3.2 – до ОБ 3.2 (сплітер 1:16) ОВ №3.3 – до ОБ 3.3 (сплітер 1:16) ОВ №3.4 – «резерв»
Комерційні приміщення (офіси)	XG-PON	1	FinMark UT004-SM-15	ОВ №4.1 – до ОБ 4.1 (сплітер 1:8) ОВ №4.2 – «холодний резерв» ОВ №4.3 – «холодний резерв» ОВ №4.4 – «холодний резерв»

3. Від оптичного боксу зі сплітером 1:16 до оптичної розетки абонента. Це кабель, який заходить безпосередньо у квартиру. За [13] вибираємо абонентський патч-кордовий оптичний кабель типу FinMark PS001-SM-02 стандарту G.657.A2. Дане волокно забезпечує стабільну роботу мереж XG-PON навіть при значних макро-вигинах кабелю в умовах квартирної монтажу.

Технічні характеристики вибраного кабелю наведені у таблиці 3.12 згідно [13].

Таблиця 3.12 – Оптичний кабель типу FinMark PS001-SM-02

Характеристика	Параметр
Тип ОВ	ITU-T G.657 A2 (надгнучке)
Кількість ОВ в кабелі	1 волокно
Діаметр кабелю	3 мм
Тип оболонки	LSZH
Мінімальний радіус вигину	20...30 мм
Допустиме зусилля на розтяг	0,4 кН
Допустиме роздавлююче зусилля	1,0 кН/100 мм
Коефіцієнт загасання	Для 1310 нм $\leq 0,36$ дБ/км Для 1550 нм $\leq 0,22$ дБ/км
Будівельна довжина	Від 200 м
Діапазон робочих температур	$-30^{\circ}\text{C} \dots +70^{\circ}\text{C}$
Температура монтажу	$-15^{\circ}\text{C} \dots +70^{\circ}\text{C}$

Конструктивне виконання кабелю наведено на рисунку 3.10.

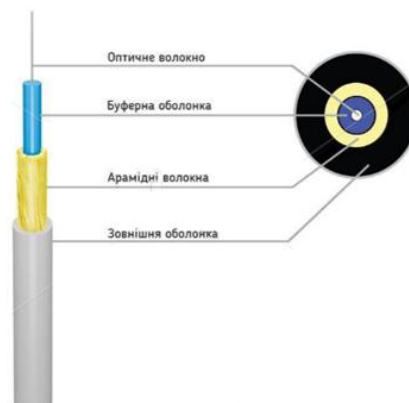


Рисунок 3.10 – Кабель FinMark FTTN001-SM-02 [13]

«Патч-кордовий оптичний кабель FinMark PS001-SM-02 містить одне оптичне волокно в щільному легкознімному буфері. Зовнішня оболонка виготовлена з безгалогенного низькодимного матеріалу LSZH, що не розповсюджує горіння. Стійкість до поздовжнього натягу кабелю забезпечує підсилюючий шар арамідних (кевларових) волокон» [13].

3.5 Обґрунтування вибору абонентських оптичних розеток

Кінцевою точкою абонентської лінії є оптична розетка Crosver FOR-02, яка встановлюється всередині квартири або офісу. Конструктивне виконання

розетки дозволяє надійно захистити місце зварювання волокна та організувати компактне з'єднання з терміналом ONT за допомогою патч-корду (рис. 3.11).



Рисунок 3.11 – Оптична розетка Crosver FOR-02 [14]

«Конструкція розетки Crosver FOR-02 забезпечує розміщення до 2-х зварних з'єднань (гільз) та встановлення 2-х адаптерів типу SC. Такий резерв забезпечує підключення іншої послуги або заміни порту без демонтажу розетки. Підключення можна здійснити як безпосередньо зварюванням, так і окінцюванням лінійного кабелю оптичним адаптером типу SC / UPC» [14].

3.6 Вибір та функціональні можливості абонентських терміналів

Для забезпечення широкосмугового доступу в квартирі абонента або офісі використовується термінал ONT, що з'єднується з лінією через патч-корд із поліруванням SC / UPC. Оскільки розроблена FTTH-мережа побудована на базі OLT BDCOM GP8600-08CP, абонентські термінали перевіряємо на сумісність протоколів управління для забезпечення стабільності роботи FTTH-мережі [15].

Для житлового сектору типовим рішенням може стати термінал моделі BDCOM GP1501DR (рис. 3.12), який має оптичний інтерфейс SC / UPC та один гігабітний Ethernet-порт RJ-45 10 / 100 / 1000Base-T для підключення кінцевого обладнання користувача.



Рисунок 3.12 – Абонентський термінал BDCOM GP1501DR [15]

Технічні характеристики вибраного абонентського терміналу ONT наведені у таблиці 3.13.

Таблиця 3.13 – Технічні характеристики терміналу BDCOM GP1501DR

Характеристика	Параметр
Технологія доступу	GPON (ITU-T G.987)
Інтерфейси	1 × SC/UPC. 1 x Ethernet 10 / 100 / 1000Base-T, RJ-45
Швидкість передачі «вниз»	2,5 Гбіт/с
Швидкість передачі «вгору»	1,25 Гбіт/с
Оптичні параметри	Чутливість приймача: ≤ -28 дБм. Потужність передавача: 0,5 ... 5 дБм
Віртуальна локальна мережа	Підтримка VLAN
Багатоадресна розсилка	IGMP-відстеження, динамічна багатоадресна розсилка, визначена STC, MLD-відстеження
Якість обслуговування	Контроль потоку протитиску (напівдуплексний). Керування потоком IEEE 802.3x (повний дуплекс). Механізм початку рядка (HOL) IEEE 802.1p, CoS. Чотири черги пріоритетів на кожному порту WR, SP та FIFO. Ліміт швидкості.
Безпека	Обмеження кількості MAC-адрес на порту, захист порту.
Керування	CLI, веб, SNMP та TELNET. Оновлення ПЗ через TFTP та WEB. Локальний системний журнал або системний журнал сервера.
Відстань передачі	До 20 км
Споживання енергії	6 Вт
Блок живлення	Вхід: 110~240 В змінного струму. Вихід: 6 В постійного струму, 0,5 А
Робоча температура	від -10°C до $+55^{\circ}\text{C}$
Габаритні розміри	130 мм × 100 мм × 28 мм

Термінал підтримує швидкості передачі даних до 2,5 Гбіт/с у напрямку «вниз» та до 1,25 Гбіт/с у напрямку «вгору», що забезпечує стабільний доступ до сучасних телекомунікаційних сервісів.

Важливою перевагою абонентського терміналу BDCOM є підтримка механізмів QoS, зокрема стандартів IEEE 802.1p і CoS, а також алгоритмів WRR, SP та FIFO. Це забезпечує пріоритезацію даних та високу якість обслуговування для ключових сервісів.

Підтримка IGMP-відстеження та багатоадресного розсилання забезпечує коректну передачу IPTV та мультимедійного контенту.

Технологія VLAN дозволяє організовувати логічне розділення мережевого трафіку та підвищує ефективність адміністрування мережі.

Для керування пристроєм доступні інтерфейси CLI, WEB, SNMP та TELNET, а також підтримується оновлення програмного забезпечення через TFTP або WEB-інтерфейс, які повністю сумісні з обладнанням OLT. Наявність системного журналу спрощує моніторинг та діагностику роботи обладнання.

Для захисту від несанкціонованого доступу термінал дозволяє обмежувати кількість MAC-адрес на портах та підтримує технологію Port Security.

Для комерційного сектору типовим рішенням може стати термінал моделі FoxGate XG-PON ONT XG3102R (рис. 3.13) [16].



Рисунок 3.13 – Оптичний термінал FoxGate XG-PON ONT XG3102R [16]

«Термінал FoxGate XG-PON ONT XG3102R – це високопродуктивний оптичний мережевий термінал, призначений для організації широкосмугового доступу за технологією XG-PON. Пристрій орієнтований на користувачів в офісних та корпоративних умовах, яким необхідна висока

пропускна здатність та зручність одночасної роботи великої кількості пристроїв та сервісів» [16].

Технічні характеристики терміналу FoxGate XG-PON ONT XG3102R наведені у таблиці 3.14.

Таблиця 3.14 – Технічні характеристики терміналу FoxGate XG-PON ONT XG3102R

Характеристика	Параметр
Технологія доступу	XGPON (ITU-T G.987)
Оптичний інтерфейс	1 × SC/UPC
Оптична потужність передавача	5 дБм
Чутливість приймача	–28 дБм
Оптична потужність перевантаження	–8 дБм
Довжина хвилі	DS 1577 нм / US 1270 нм
Відстань передачі	20 км
Віртуальна локальна мережа	Підтримка VLAN
Багатоадресна розсилка	IGMPv1 / v2 / Відстеження. Підтримка протоколу VLAN Підтримка функції багатоадресної трансляції
Якість обслуговування	Підтримка WRR, SP+WRR
Експлуатація та технічне обслуговування	WEB / TELNET / SSH / OMCI.
Брандмауер	Підтримка функції фільтрації IP-адрес та портів
Швидкість передачі (Downstream)	10 Гбіт/с
Швидкість передачі (Upstream)	2,5 Гбіт/с
Споживання енергії	12 Вт
Блок живлення	Вхід: 110 ~ 240 В змінного струму. Вихід: 12 В постійного струму, 1 А
Робоча температура	від –10°C до +55°C
Габаритні розміри	140 мм × 140 мм × 36,5 мм

Термінал оснащений оптичним інтерфейсом SC / UPC та підтримує передачу сигналу на відстань до 20 км, що відповідає вимогам побудови мереж FTTH. Висока чутливість приймача (–28 дБм) забезпечує стабільну роботу навіть при значних втратах у лінії зв'язку.

Перевагою пристрою є підтримка функцій мережевого управління та адміністрування через протоколи та інтерфейси WEB, TELNET, SSH і OMCI, що спрощує централізоване керування з боку OLT. Підтримка VLAN дозволяє сегментувати мережу та організовувати окремі логічні канали для різних служб або підрозділів офісу. Також термінал підтримує протоколи

багатоадресного розсилання IGMPv1 / v2 та функції multicast VLAN, що є вагомими для передачі IPTV, відеоконференцій та мультимедійного трафіку.

Для забезпечення якості передачі даних реалізована підтримка механізмів QoS (протоколи SP / WRR), які дозволяють пріоритезувати важливий трафік і забезпечувати стабільну роботу сервісів у мережі.

Вбудований міжмережевий екран із функцією фільтрації IP-адрес та портів забезпечує додатковий захист терміналу і підвищує безпеку всієї мережі.

3.7 Технічна реалізація розробленої FTTH-мережі

Станційна ділянка OLT має комутатор BDCOM GP8600-08CP, у комбіновані порти якого встановлюються модулі BDCOM OLT-XGS-PON / GPON Combo SFP+. Для житлового сектору задіяно 3 окремі порти GPON (по одному на кожен під'їзд). Для офісних приміщень виділено 1 порт XG-PON. Підключення до модулів здійснюється патч-кордами SC / UPC – SC / UPC до патч-панелі ODF.

Магістральна ділянка мережі від OLT до будинку виконана броньованим кабелем марки ОКЛБг-4-ДА(2,7)П-2*4Е1-0,36Ф3,5/0,22-Н18-8/0. З 8 наявних волокон використовуємо 4 робочих (3 для під'їздів, 1 для офісів) та 4 залишаються в резерві.

На вході в будинок (2 під'їзд) кабель підводиться у вузол вводу – оптичний розподільний бокс Crosver FOB-02-04. Тут магістральні волокна зварюються з внутрішньобудинковим кабелем FinMark UT004-SM-15, який прокладається від вузла вводу до другого поверху кожного під'їзду.

На другому поверсі встановлюється розподільний бокс Crosver FOB-02-04 із сплітером PLC 1:4 (1 рівень каскаду). З 4 наявних волокон задіюємо 1 робоче та 3 залишаються в резерві. Від сплітера 1:4 волокна розходяться до боксів Crosver FOB-04-16А, де встановлені сплітери 1:16 (2 рівень каскаду) на 2, 5 і 8 поверхах відповідно.

У 1-му під'їзді задіяно 3 виходи сплітера 1:4 для підключення трьох боксів (сумарно 48 абонентських портів). З них використовується 36 портів, а 12 залишаються в резерві – по 4 у кожному оптичному боксі.

Комутація елементів FTTH-мережі згідно таблиці 3.11 наведена нижче.

Волокно 1 (вхід): сигнал від OLT → вхід сплітера 1 з коефіцієнтом поділу 1:4.

Оптичне волокно 1.1 (вихід): вихід №1.1 зі сплітера 1:4 → до оптичного боксу 1.1 на 2 поверсі з сплітером 1:16 (підключаються 1...3 поверхи).

Оптичне волокно 1.2 (вихід): вихід №1.2 зі сплітера 1:4 → до оптичного боксу 1.2 на 5 поверсі з сплітером 1:16 (підключаються 4...6 поверхи).

Оптичне волокно 1.3 (вихід): вихід №1.3 зі сплітера 1:4 → до оптичного боксу 1.3 на 8 поверсі з сплітером 1:16 (підключаються 7...9 поверхи).

Четвертий вихід сплітера 1:4 залишається вільним для масштабування мережі.

У 2-му і 3-му під'їзді задіяно також 3 виходи сплітера 1:4 для підключення трьох боксів (сумарно 48 абонентських портів). З них використовується 32 порти, а 16 залишаються в резерві.

Розподіл оптичних волокон до оптичних боксів Crosver FOB мережі FTTH для 2-го та 3-го під'їздів наведені в таблиці 3.11.

Для підключення офісів використовується оптичний бокс Crosver FOB-07-08 зі сплітером 1:8, що забезпечує бізнес-клієнтам стабільний доступ за технологією XG-PON. Використовується 6 виходів сплітера 1:8 по одному до кожного офісу, інші 2 виходи сплітера – у резерві.

Розподіл оптичних волокон до оптичного боксу Crosver FOB мережі FTTH для комерційного сектору наведено в таблиці 3.11.

Наявність зазначеного ресурсу дозволяє мінімізувати час на відновлювальні роботи та забезпечує можливість позачергового підключення

абонентів із високим навантаженням.

Від поверхових боксів до квартир / офісів прокладається патч-кордовий оптичний кабель FinMark PS001-SM-02 з волокном стандарту G.657.A2, яке дозволяє виконувати монтаж із малими радіусами вигину без втрат сигналу.

Зі сторони боксу на кабель встановлюється конектор SC / UPC.

У приміщенні абонента встановлюється оптична розетка Crosver FOR-02, де кабель зварюється з пігтейлом SC / UPC.

Підключення абонентських терміналів здійснюється за допомогою патч-кордів SC / UPC – SC / UPC.

Абоненти житлового сектору отримують послуги GPON від ONT (як варіант – BDCOM GP1501DR) зі швидкістю до 2,5 Гбіт/с.

Офісні приміщення комплектуються терміналами з підтримкою XG-PON (як варіант FoxGate XG-PON ONT XG3102R), що дозволяє отримувати швидкість до 10 Гбіт/с.

Вибір кінцевого обладнання (Wi-Fi роутерів) залишається на розсуд користувача, що дозволяє кожному самостійно підібрати пристрій під власні потреби, площу приміщення та бюджет.

Розроблена структура FTTH-мережі забезпечує високу масштабованість, резервування ресурсів, зручність технічного обслуговування та можливість подальшого розширення мережі без необхідності повної модернізації її інфраструктури.

Функціональна схема розробленої FTTH-мережі з каскадним сплітеруванням наведена у додатку А.

3.8 Технологія та особливості монтажу оптичних кабелів у житловій забудові

Монтаж кабельної інфраструктури розробленої FTTH-мережі виконується з урахуванням конструктивних особливостей житлової забудови, вимог до надійності ліній зв'язку та забезпечення можливості

подальшого технічного обслуговування мережі. У роботі передбачено окремі способи прокладання магістральних, розподільчих та абонентських оптичних кабелів.

Прокладання магістральної ділянки виконується у кабельній каналізації між вузлом провайдера OLT та будинком. Для цього використовується броньований оптичний кабель марки ОКЛБГ-4-ДА(2,7)П-2×4Е1-0,36Ф3,5/0,22-Н18-8/0, який має підвищену механічну міцність та стійкість до зовнішніх впливів. Броньований захисний шар кабелю дозволяє уникнути пошкодження волокон під час монтажу та експлуатації у підземних кабельних трасах.

Прокладання кабелю виконується через існуючу кабельну каналізацію оператора зв'язку із використанням кабельних протяжок та роликів напрямних для зменшення механічного навантаження на волокна. На поворотах кабельної траси дотримується мінімальний допустимий радіус вигину кабелю, визначений технічними характеристиками виробника.

На вводі до будівлі магістральний кабель заводиться у вузол вводу, реалізований на базі оптичного боксу Crosver FOB-02-04. У даному боксі виконується фіксація кабелю за допомогою спеціальних кабельних затискачів та організація запасу волокон. Далі здійснюється зварювання магістральних волокон із внутрішньобудинковим розподільчим кабелем FinMark UT004-SM-15 за допомогою оптичного зварювального апарата. Для захисту місць зварювання використовуються термоусадні гільзи, які встановлюються у сплайс-касети боксу Crosver FOB-02-04.

Розподільча мережа всередині будинку реалізується за допомогою кабелю FinMark UT004-SM-15, який прокладається у малострумівих стояках дев'ятиповерхового будинку. Таке виконання мережі дозволяє уникнути електромагнітних завад та забезпечує відповідність вимогам пожежної безпеки.

Від вузла вводу кабель прокладається вертикально до другого поверху кожного під'їзду, де встановлюються розподільні бокси Crosver FOB-02-04 із

PLC-сплітерами 1:4 першого рівня каскадування. Кабель кріпиться у стояках за допомогою пластикових кабельних стяжок та монтажних кліпс із дотриманням допустимого натягу та радіусу вигину.

Від PLC-сплітерів 1:4 оптичні волокна прокладаються до поверхових боксів Crosver FOB-04-16A, які встановлюються на 2, 5 та 8 поверхах будинку. У цих боксах розміщуються PLC-сплітери другого рівня з поділом 1:16. Встановлення боксів виконується у зонах малострумівих комунікацій із забезпеченням вільного доступу для технічного обслуговування.

Усередині боксів Crosver FOB-04-16A виконується організація запасу волокон, фіксація кабелю та розміщення сплайс-касет. Зварювання волокон між розподільчим кабелем та виходами PLC-сплітерів забезпечує мінімальні втрати сигналу. Усі з'єднання маркуються відповідно до схеми адресації мережі, що спрощує подальшу експлуатацію та пошук пошкоджень.

Для офісного сегмента мережі використовується окремий розподільчий бокс Crosver FOB-07-08 із PLC-сплітером 1:8. Монтаж боксу виконується у комутаційній зоні офісного сегмента будівлі на першому поверсі. Кабель прокладається із дотриманням наведених вище вимог щодо кріплення та захисту волокон.

Підключення квартир та офісів до поверхових оптичних боксів здійснюється за допомогою патч-кордового оптичного кабелю FinMark PS001-SM-02 із волокном стандарту G.657.A2, яке забезпечує підвищену стійкість до вигинів, що актуально під час прокладання кабелю у внутрішніх кабельних каналах, коридорах та квартирах.

Абонентський кабель прокладається від боксу Crosver FOB-04-16A через малострумівий стояк та поверхові кабельні канали безпосередньо до квартир. У місцях проходів через стіни використовуються пластикові захисні гільзи, що запобігають пошкодженню оболонки кабелю.

У приміщенні абонента встановлюється оптична розетка Crosver FOR-02, де виконується зварювання волокна з пігтейлом SC / UPC. Така схема дозволяє забезпечити високу якість оптичного з'єднання та мінімізувати

втрати сигналу.

Після встановлення оптичної розетки до неї підключається абонентський термінал ONT за допомогою патч-корда SC / UPC – SC / UPC. Для абонентів житлового сектору використовуються GPON-термінали, а для офісних приміщень застосовуються XG-PON-термінали.

Після завершення монтажу лінії тестують за допомогою оптичного рефлектометра (OTDR) та вимірювача потужності. Це дозволяє перевірити загальне загасання оптичного сигналу, якість зварних з'єднань і відповідність параметрів мережі нормативним значенням [17].

Схема організації розробленої оптичної мережі доступу FTTH у житловій забудові наведена у додатку Б.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів

Під час аналізу небезпечних та шкідливих виробничих факторів слід враховувати особливості роботи з ВОЛЗ, вплив лазерного випромінювання від активного телекомунікаційного обладнання BDCOM, а також специфіку проведення монтажних робіт у багатоповерхових житлових будинках.

До специфічних небезпечних факторів належить лазерне випромінювання, джерелом якого є SFP+ модулі Combo PON та абонентські ONT. Лазери класів 1 / 1M працюють у невидимому спектрі з довжинами хвиль 1270, 1310, 1490 та 1577 нм. Незважаючи на відносно низький клас безпеки, пряме потрапляння випромінювання в око може спричинити опік сітківки, а невидимість променя підвищує ризик травмування. Тому забороняється дивитися в торці оптичних роз'ємів SC / UPC або в порти SFP-модулів. Під час виконання монтажу рекомендується використовувати спеціалізовані захисні окуляри [17].

Іншим небезпечним фактором є оптичні відходи, що утворюються під час сколювання волокна перед зварюванням або монтажем конекторів. Уламки волокна мають дуже малий діаметр (близько 125 мкм), майже невидимі та становлять небезпеку при потрапленні на шкіру, в очі або всередину організму. Це може призвести до травм або внутрішніх ушкоджень, тому необхідно використовувати спеціальні контейнери для збору відходів та забороняти прийом їжі в місцях виконання робіт.

Серед фізичних небезпечних факторів слід виділити ризик ураження електричним струмом, пов'язаний із живленням обладнання OLT BDCOM від мережі 230 В, а також роботою поблизу електричних щитків у під'їздах. Для зниження ризику необхідно забезпечити надійне заземлення обладнання та використовувати діелектричні кабелі, які не проводять струм.

Небезпечним є фактор виконання робіт на висоті, зокрема під час

встановлення оптичних боксів на поверххах та прокладання кабелю в міжповерхових стояках, що створює ризик падіння. Тому необхідно застосовувати драбини, страхувальні засоби та захисні каски.

Додаткову небезпеку становлять гострі кромки кабелів та ручний інструмент, особливо під час очищення броньованих кабелів зі сталевією стрічкою. Це може спричинити порізи і травми рук, тому роботи слід виконувати в захисних рукавичках із використанням лише спеціалізованих інструментів.

До шкідливих хімічних факторів належать речовини, що застосовуються під час монтажу, зокрема ізопропіловий спирт для очищення волокон і гідрофобний заповнювач у кабелях. Вони можуть викликати подразнення шкіри та слизових оболонок або алергічні реакції, тому роботи слід проводити у провітрюваних приміщеннях із використанням відповідних матеріалів для очищення.

Слід відмітити, що роботи в оптичних мережах потребують високої концентрації уваги та можуть призводити до перевтоми, тому необхідно дотримуватися режиму праці та відпочинку, а також забезпечувати належне освітлення робочого місця.

4.2 Зменшення впливу небезпечних та шкідливих факторів

Для забезпечення безпечних умов праці під час розгортання та експлуатації оптичної мережі необхідно впровадити комплекс організаційних, технічних та санітарно-гігієнічних заходів, спрямованих на мінімізацію впливу небезпечних і шкідливих факторів.

Першочергову увагу слід приділити забезпеченню лазерної безпеки, особливо з урахуванням використання G-PON та XG-PON модулів, що мають підвищену потужність випромінювання.

Усі розподільчі елементи мережі, зокрема оптичні бокси та абонентські розетки, повинні бути промарковані попереджувальними знаками

«Обережно: лазерне випромінювання». Важливим заходом є впровадження процедурного контролю, який передбачає заборону активації портів OLT до повного завершення монтажних робіт. Контроль цілісності волоконно-оптичної лінії необхідно виконувати за допомогою безпечних приладів, таких як малопотужні візуальні дефектоскопи або оптичні рефлектометри. Для підвищення рівня захисту під час експлуатації доцільно використовувати адаптери та патч-корди із вбудованими захисними шторками, які автоматично блокують лазерне випромінювання під час від'єднання конектора [18].

Організація робочого місця має передбачати використання спеціальних монтажних килимків темного кольору, що дозволяє легко виявляти дрібні частинки волокна. Усі відходи, що утворюються під час сколювання або монтажу, повинні збиратися у спеціальні герметичні контейнери з кришками, які встановлюються безпосередньо на робочому місці. Працівники зобов'язані використовувати засоби індивідуального захисту, зокрема захисні окуляри, що запобігають потраплянню уламків у очі [18].

Важливим аспектом є забезпечення електробезпеки та надійного заземлення обладнання. Металеві конструкції, такі як корпуси OLT та металева броня магістрального кабелю, повинні бути підключені до контуру заземлення будівлі. Це дозволяє уникнути виникнення небезпечних потенціалів у разі аварійних ситуацій або наведень струму. Додатково застосування діелектричних кабелів і пластикових розподільчих боксів забезпечує електричну ізоляцію та мінімізує ризик ураження електричним струмом при можливому контакті з силовими мережами.

Для зменшення впливу механічних та хімічних факторів необхідно дотримуватися відповідних заходів захисту. При роботі з броньованими кабелями обов'язковим є використання рукавичок, стійких до порізів, для захисту рук від гострих елементів. Під час очищення кабелів від гідрофобного заповнювача слід застосовувати спеціальні серветки та розчинники, уникаючи прямого контакту речовин зі шкірою. Очищення

оптичних волокон із використанням спиртових розчинів повинно проводитися в умовах належної вентиляції для запобігання подразненню органів дихання.

Додатковим важливим заходом є використання оптичних кабелів із оболонкою типу LSZH, які прокладанні у житлових будинках, під'їздах та технічних приміщеннях. Такі кабелі при нагріванні або горінні виділяють мінімальну кількість диму та не утворюють токсичних газів. Це суттєво підвищує рівень пожежної безпеки, зменшує ризик отруєння людей продуктами горіння та забезпечує кращу видимість під час евакуації. Крім того, відсутність галогенів запобігає пошкодженню обладнання агресивними газами у разі пожежі, що є важливим для збереження телекомунікаційної інфраструктури [13].

Важливим фактором врахування ергономічних умов праці є забезпечення достатнього освітлення робочих місць. Необхідно забезпечувати робоче освітлення інтенсивністю не менше 300...500 лк або ж за допомогою переносних освітлювальних пристроїв. Також слід дотримуватися режиму праці та відпочинку для зниження зорового та нервового навантаження на працівників.

Впровадження зазначених заходів з охорони праці дозволяє суттєво знизити рівень професійних ризиків, забезпечити безпечні умови праці та підвищити надійність функціонування розробленої оптичної FTTH-мережі.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі було проведено розробку оптичної FTTH-мережі для житлової забудови. Отримані результати дозволяють зробити такі висновки.

1. У процесі аналізу сучасних технологій широкосмугового доступу встановлено, що технологія FTTH є перспективним рішенням для побудови мереж нового покоління. Вона забезпечує високу пропускну здатність, низьке загасання сигналу, значну дальність передачі та можливість масштабування без потреби заміни лінійно-кабельної інфраструктури.

2. Дослідження особливостей архітектури FTTH показало, що підведення оптичного волокна безпосередньо до абонента дозволяє забезпечити стабільне надання послуг Triple Play (швидкісний інтернет, IPTV та IP-телефонія). Використання пасивної оптичної мережі (PON) мінімізує кількість активного обладнання, що підвищує надійність системи та знижує експлуатаційні витрати.

3. Застосування архітектури FTTH-мережі із каскадним сплітеруванням, відповідно до умов завдання, дозволяє рівномірно розподілити навантаження між абонентами, забезпечити резервування портів та спростити подальше масштабування оптичної мережі.

4. Розрахунок бюджету оптичної потужності підтвердив працездатність обраних схем сплітерування: двокаскадної (1:4 + 1:16) для житлового сектору та однокаскадної (1:8) для комерційного. Сумарне загасання сигналу не перевищує граничних значень та забезпечує експлуатаційний запас потужності 1,9 дБ. Застосування PLC-сплітерів та одномодового волокна стандартів ITU-T G.652.D і G.657.A2 гарантує стабільність передачі даних згідно з нормативними вимогами. Аналіз показав, що при 100 % завантаженні мережі швидкість для абонентів житлового сектору становить 69...78,2 Мбіт/с, що повністю забезпечує надання послуг Triple Play. Використання технології XG-PON у комерційному секторі (6 офісів на порт)

гарантує швидкість до 1666,7 Мбіт/с на кожного користувача, створюючи значний резерв для хмарних сервісів, відеоспостереження та високонавантажених корпоративних мереж.

6. Як центральний вузол обрано термінал OLT BDCOM GP8600-08CP з підтримкою технологій GPON та XG-PON. Використання комбінованих трансиверів Combo SFP+ дозволяє одночасно обслуговувати житловий та комерційний сектори на базі єдиної платформи. Комутація на вузлі реалізована через оптичні розподільні панелі (ODF) із типом роз'ємів SC / UPC.

Для магістральної ділянки обрано броньований кабель ОКЛБг-4-ДА(2,7)П-2×4Е1, конструкція якого забезпечує високу механічну міцність та захист від зовнішніх впливів. Із восьми волокон чотири задіяні як робочі, а решта – зарезервовані для аварійного відновлення або майбутнього розширення мережі. Внутрішньобудинковий розподіл реалізовано кабелем FinMark UT004-SM-15 у слабкострумових стояках, а підключення абонентів від поверхових боксів виконується кабелем FinMark PS001-SM-02.

Двокаскадна схема сплітування житлового сектору реалізована на базі оптичних боксів Crosver: перший каскад (1:4) розміщено у боксах FOB-02-04, другий (1:16) – у FOB-04-16А. Для комерційного сегменту, згідно з обраною топологією XG-PON, застосовано бокси FOB-07-08 зі сплітерами 1:8. Таке рішення забезпечує розрахункову ємність портів і підтримує раніше визначений технологічний резерв для масштабування мережі.

7. Розроблена архітектура FTTH на базі терміналу BDCOM та технології Combo PON забезпечує централізоване керування мережею та високу експлуатаційну придатність. Завдяки закладеному резерву магістральних волокон і підтвердженому розрахунками оптичному бюджету, система дозволяє масштабувати ємність та збільшувати кількість абонентів без модернізації активного обладнання чи прокладання нових ліній.

8. У роботі деталізовано технологію монтажу мережі FTTH: від прокладання броньованого магістрального кабелю в кабельній каналізації до

розгортання розподільчої мережі у слабкострумівих стояках. Описаний алгоритм організації абонентського доступу забезпечує високу якість монтажних робіт і довговічність побудованої інфраструктури.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Посібник із FTTH. URL: <https://fibconet.com/uk/the-ultimate-guide-to-ftth/> (дата звернення 10.04.2026 р.).
2. Архітектури оптичних мереж доступу. URL: <https://deps.ua/ua/knowegable-base/articles/praktika-vn-passivnyh-op-mer-pon.html> (дата звернення 15.04.2026 р.).
3. Технічна класифікація FTTx. URL: <https://ua.softelftth.com/news/technical-classification-of-fttx-82782249.html> (дата звернення 16.04.2026 р.).
4. Рекомендація ITU-T G.984.2. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.2> (дата звернення 05.05.2026 р.).
5. Оптичний лінійний термінал OLT BDCOM GP8600-08BCP. URL: <https://deps.ua/ua/katalog/concentrators-olt/48900.html> (дата звернення 05.05.2026 р.).
6. Магістральний оптичний крос ODF. URL: <https://deps.ua/ua/katalog/odf-crosver/crosver-fob-191-33232-1-24.html> (дата звернення 05.05.2026 р.).
7. Оптичний патч-корд. URL: <https://deps.ua/ua/katalog/optical-patch-cords/sc-patchkordi.html> (дата звернення 07.05.2026 р.).
8. Оптичний кабель. URL: <https://odeskabel.com/ua/products/katalog-vok/volokonno-opticheskie-kabeli-modulnoj-konstruktsii/bronirovannyj-volokonno-opticheskij-kabel-oklbg.html> (дата звернення 07.05.2026 р.).
9. Лінійно-кабельні споруди телекомунікацій. Проектування. URL: <https://online.budstandart.com/ua/catalog/searchdoc.html?request=%D0%93%D0%91%D0%9D+%D0%92.2.2-34620942-002%3A2015+%D0%9B%D1%96%D0%BD%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%BE-%D0%BA%D0%B0%D0%B1%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%96+%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%83%D0%B4%D0%B8+%D1%82%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D1%83%D0%BD%D1%96%D0%BA%D0%B0%D1%86%D1%96%D0%B9.+%D0%9F%D1%80>

%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD
%D0%BD%D1%8F&user_id=190921&langbs=ua (дата звернення
15.05.2026 р.).

10. SFP модуль трансивера. URL: <https://deps.ua/ua/katalog/concentrators-olt/48899.html> (дата звернення 16.05.2026 р.).

11. Оптичні сплітери. URL: <https://deps.ua/ua/katalog/fbt-and-plc-type/plc-1x16-upc-mini.html> (дата звернення 16.05.2026 р.).

12. Оптичні бокси. URL: <https://deps.ua/ua/katalog/optical-boxes.html> (дата звернення 16.05.2026 р.).

13. Оптичний кабель FinMark. URL: <https://finmark.ua/catalog/optical-cable/54.html> (дата звернення 18.05.2026 р.).

14. Оптична розетка Crosver. URL: <https://deps.ua/ua/katalog/optical-boxes/crosver-for-02.html> (дата звернення 18.05.2026 р.).

15. Термінал для житлового сектору ONT. URL: <https://deps.ua/ua/katalog/subscriber-terminals-onu/47645.html#characteristics> (дата звернення 18.05.2026 р.).

16. Термінал ONT для комерційного сектору. URL: <https://deps.ua/ua/katalog/subscriber-terminals-onu/48931.html#characteristics> (дата звернення 18.05.2026 р.).

17. Галузевий стандарт IEC 60825-2:2021 – «Safety of laser products – Part 2: Safety of optical fibre communication systems (OFCS)». URL: <https://www.electropedia.org/> (дата звернення 20.05.2026 р.).

18. Галузевий стандарт ДСТУ EN 60825-1:2016. Безпека лазерних виробів. Частина 1. Класифікація обладнання та вимоги. К.: Держспоживстандарт України. (діючий). URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=64849 (дата звернення 20.05.2026 р.).