ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Мережа абонентського доступу для нового району міста»

на здобуття освітнього ступеня бакалавра
зі спеціальності 123 Комп'ютерної інженерії
(код, найменування спеціальності)
освітньо-професійної програми Комп'ютерна інженерія
(назва)

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

_____ *Вадим ВАСИЛЕНКО*
(підпис) *Ім'я, ПРІЗВИЩЕ здобувача*

Виконав: здобувач вищої освіти гр. КІД-41
Вадим ВАСИЛЕНКО
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник: Віра БАБЕНКО
Д.Т,Н
професор
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Рецензент:
науковий ступінь, вчене звання
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Київ 2025

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інститут Інформаційних технологій

Кафедра 123 Комп'ютерної інженерії

Ступінь вищої освіти бакалавр

Спеціальність 123 Комп'ютерної інженерії

Освітньо-професійна програма Комп'ютерна інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Комп'ютерної інженерії
_____ Наталія ЛАЩЕВСЬКА
_____
«_____» _____ 2025р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Василенко Вадим Юрійович
(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Мережа абонентського доступу для нового району міста керівник кваліфікаційної роботи Віра БАБЕНКО,
(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від «24» лютого 2025р. № 56
2. Строк подання кваліфікаційної роботи «30» травня 2025р.
3. вихідні дані до кваліфікаційної роботи: науково-технічна література, абонентські мережі, FTTH, GPON, AON, волоконно-оптична лінія зв'язку, методи монтажу, порівняння технологій, телекомунікаційна інфраструктура..
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
1. Основні характеристики мереж абонентського доступу
2. Аналіз сучасних технологій реалізації мереж абонентського доступу
3. Методи прокладання ВОК: дослідження підходів і умов застосування
4. Системний підхід до вибору технології Ethernet FTTH або PON для організації абонентського доступу в новому районі міста
5. Перелік ілюстративного матеріалу: *презентація*
6. Дата видачі завдання «24» лютого 2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Збір даних	25.02-24.03.2025	Виконано
2	Обробка матеріалу	23.03-05.04.2025	Виконано
3	Розробка теоретичної частини	06.04-10.04.2025	Виконано
4	Розробка практичної частини	11.04-20.04.2025	Виконано
5	Висновки за результатами аналізу	21.04-06.05.2025	Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки	07.05-08.05.2025	Виконано
7	Розробка презентації	09.05-11.05.2025	Виконано
8	Передзахист	14.05-17.05.2025	Виконано
9	Здача в деканат	27.05-03.06.2025	Виконано

Здобувач вищої освіти _____ В’ячеслав АНТОНЮК
(підпис) *(Ім’я, ПРІЗВИЩЕ)*

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Віра БАБЕНКО
(підпис) *(Ім’я, ПРІЗВИЩЕ)*

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня бакалавра: 60 стор., 36 рис., 7 табл., 25 джерел.

Мета роботи – аналіз сучасних технологій, що використовуються для побудови мереж доступу, та визначити оптимальний варіант реалізації мережі абонентського доступу для умов нового району міста.

Об'єкт дослідження – мережа абонентського доступу в новому районі міста.

Предмет дослідження – методи побудови, порівняння та оцінки ефективності технологій Ethernet FTTH та PON у контексті їх застосування для організації мережі доступу в умовах малої щільності абонентів.

У сучасних умовах швидкого зростання попиту на якісний високошвидкісний доступ до мережі Інтернет, особливо в умовах децентралізації, актуальним постає завдання ефективної організації мереж абонентського доступу в нових районах міст. Через низьку щільність абонентів у таких регіонах особливо важливо обрати технологію, яка забезпечить прийнятний рівень витрат, високу пропускну здатність та надійність зв'язку при мінімальному використанні ресурсів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АБОНЕНТСЬКІ МЕРЕЖІ, FTTH, GPON, AON, ВОЛОКОННО-ОПТИЧНА ЛІНІЯ ЗВ'ЯЗКУ, МЕТОДИ МОНТАЖУ, ПОРІВНЯННЯ ТЕХНОЛОГІЙ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНА ІНФРАСТРУКТУРА.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ 9
ВСТУП 10
1 Основні характеристики мереж абонентського доступу 11
1.1 Аналіз загальних відомостей щодо мереж абонентського доступу 11
1.2 Технічні й організаційні труднощі реалізації «останньої милі» 12
2 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ РЕАЛІЗАЦІЇ МЕРЕЖ АБОНЕНТСЬКОГО ДОСТУПУ 16
2.1 Технологія пасивної оптичної мережі (PON) 16
2.2 Реалізація доступу FTTH на основі Ethernet за моделлю P2P 22
2.3 Особливості побудови мереж на основі ADSL 26
2.4 Архітектура та принципи функціонування технології Wi-Fi 28
2.5 Інтеграція живлення та передачі даних у мережах Ethernet за технологією PoE 30
3 МЕТОДИ ПРОКЛАДАННЯ ВОК: ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДХОДІВ І УМОВ ЗАСТОСУВАННЯ 37
3.1 Загальна характеристика методів прокладання ВОК 37
3.2 Прокладка волоконно-оптичних ліній зв’язку в ґрунтовому середовищі: методи та особливості реалізації 39
3.3 Особливості використання каналізаційної інфраструктури для розміщення ВОЛЗ 41
3.4 Повітряне прокладання ВОЛЗ із використанням опорної інфраструктури 42
3.5 Впровадження PON у приватному секторі для побудови мережі доступу 43
3.6 Специфіка реалізації PON у приватній забудові 45
3.7 Активна оптична мережа (AON) як альтернатива в умовах приватної забудови 46
3.8 Технологія Ethernet FTTH у системах повітряного підключення 47

4 СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЇ ETHERNET FTTH АБО PON ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ АБОНЕНТСЬКОГО ДОСТУПУ В НОВОМУ РАЙОНІ МІСТА 50
ВИСНОВКИ 57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 58
Додаток А. Демонстраційні матеріали (презентація) 60

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) – асиметрична цифрова абонентська лінія

AON (Active Optical Network) – активна оптична мережа

АТС – автоматична телефонна станція

CPE (Customer Premises Equipment) – обладнання в приміщенні клієнта

FTTH (Fiber to the Home) – волокно до квартири або приватного будинку

КК – кабельна каналізація

ЛЕП – лінія електропередачі

MAD – мережа абонентського доступу

OLT (Optical Line Terminal) – оптичний лінійний термінал

ONU (Optical Network Unit) – оптична мережева одиниця

PoE (Power over Ethernet) – живлення через Ethernet

PON (Passive Optical Network) – пасивна оптична мережа

СКС – структурована кабельна система

ВОК – волоконно-оптичний кабель

ВОЛЗ – волоконно-оптична лінія зв’язку

ВСТУП

Сучасні вимоги до швидкості, надійності та якості передачі даних обумовлюють необхідність впровадження ефективних рішень у сфері абонентського доступу. Особливої уваги потребують нові райони, де реалізація мережі стикається з низкою технічних, економічних та інфраструктурних викликів. Одним з найбільш критичних аспектів є організація підключення на ділянці «останньої милі», що потребує ретельного вибору технології та способу прокладання мережі.

Метою даної роботи є аналіз існуючих технологій доступу та розробка оптимального варіанту побудови мережі абонентського доступу для нового району на основі техніко-економічних показників, специфіки місцевості та вимог до надійності, пропускної здатності й безпеки з'єднання.

У ході дослідження будуть розглянуті загальні принципи побудови мереж доступу, виконано аналіз провідних технологій зв'язку, методів прокладання кабельних ліній, а також проведено техніко-економічне порівняння двох варіантів реалізації мережі, що дозволило сформувати обґрунтовані висновки щодо доцільності використання певної технології.

1 ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕРЕЖ АБОНЕНТСЬКОГО ДОСТУПУ

1.1 Аналіз загальних відомостей щодо мереж абонентського доступу

Мережа абонентського доступу – це сукупність технічних засобів між кінцевими абонентськими пристроями, встановленими в приміщенні користувача, і тим комутаційним обладнанням, в план нумерації (або адресації) якого входять термінали, що підключаються до телекомунікаційної системи [1].

В найпростішому випадку в мережу абонентського доступу (МАД) (рис. 1.1) входять абонентський термінал, який представляє з себе кінцеве обладнання мережі передачі даних, абонентська лінія та вузол комутації, який забезпечує маршрутизацію та комутацію пакетів даних.

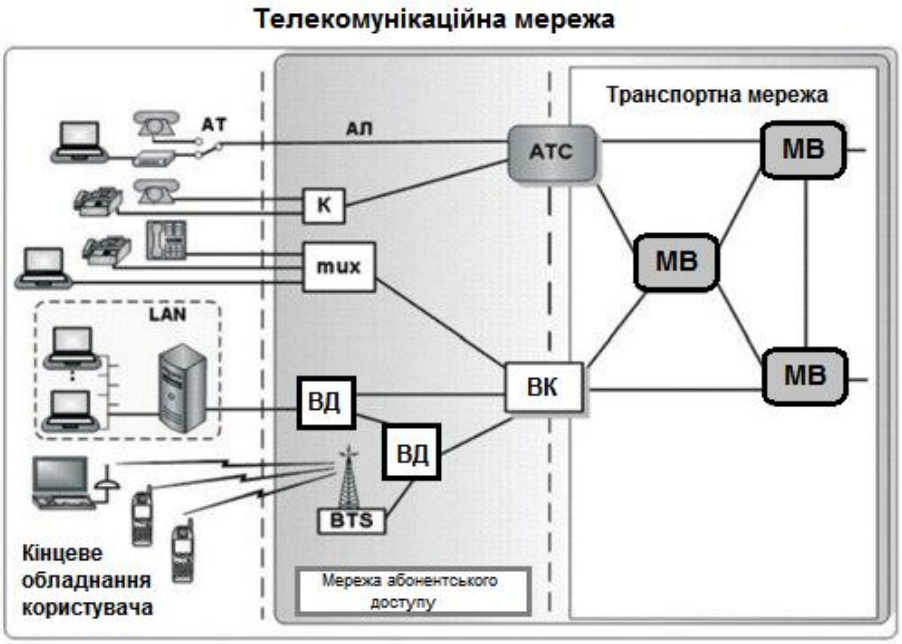


Рисунок 1.1 – Структурна організація та основні компоненти мережі абонентського доступу

МАД є проміжним елементом між обладнанням, яке знаходиться поруч з абонентами та транспортною мережею. Термінальне обладнання та МАД

відокремлюються один від одного розгалужувальною коробкою, до якої підключається абонентський термінал [2].

Модель МАД (рис. 1.2) складається з підмережі абонентських ліній та підмережі доступу [2].

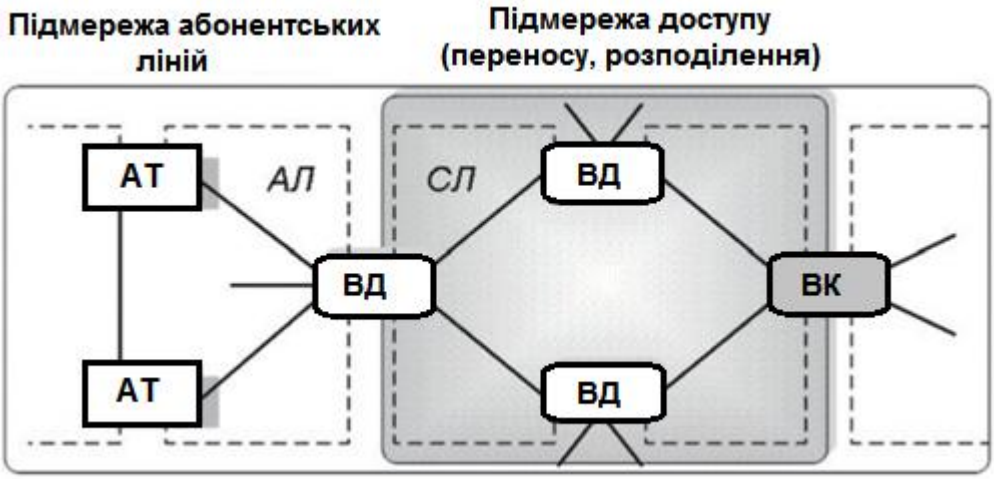


Рисунок 1.2 – Структурно-функціональна схема МАД

Мережа абонентських ліній формується як сукупність окремих підмереж, кожна з яких виконує функцію підключення кінцевих користувачів до вузла доступу або, у деяких випадках, безпосередньо до вузла комутації. Таке з'єднання може здійснюватися як напряму, так і з використанням мультиплексора [2].

1.2 Технічні й організаційні труднощі реалізації «останньої милі»

Однією з найактуальніших проблем сучасного телекомунікаційного середовища є забезпечення користувачів якісним абонентським доступом до послуг телекомунікаційної мережі (ТКМ) на відрізку між абонентським терміналом (АТ) і вузлом доступу (ВД). Цей виклик, що полягає в досягненні рівня обслуговування, співставного з основною ТКМ, отримав назву «проблеми останньої милі» [2].

Станом на сьогодні, багато мереж абонентського доступу (МАД) характеризуються низькою швидкістю передачі даних та обмеженою пропускною здатністю, що не дозволяє повною мірою задовольняти потреби кінцевих користувачів. У зв’язку з цим, у багатьох країнах світу акцент зроблено на модернізації МАД та впровадженні інноваційних технологій, спрямованих на підвищення якісних параметрів таких мереж.

З метою подолання зазначених труднощів були сформовані концептуальні підходи, що базуються на використанні різних фізичних середовищ передачі даних. Сучасні технології забезпечують як дротовий, так і бездротовий доступ. До дротових рішень належать оптичне волокно, коаксіальні кабелі та вита пара. У свою чергу, бездротовий доступ ґрунтується на передачі даних за допомогою електромагнітних оптичних хвиль, радіохвиль, а також неелектромагнітних акустичних сигналів [2].

Ключовим чинником, що стимулює розвиток абонентських технологій, є зростання попиту користувачів на сучасні інформаційні послуги. З одного боку, оператори телекомунікацій впроваджують нові сервіси з високим рівнем якості (зокрема, послуги доступу до загальних інформаційних ресурсів і з'єднання з гарантованими параметрами). З іншого боку, абоненти залишаються підключеними до застарілої інфраструктури, яка не відповідає вимогам новітніх сервісів.

У науковій літературі [3] виокремлюють три основні напрями вдосконалення абонентського доступу для задоволення сучасних потреб користувачів:

— Підвищення швидкості передачі даних та надання інноваційних послуг абонентам, підключеним до існуючих точок доступу.

— Організація доступу для нових абонентів у регіонах, де раніше не було інфраструктури, із забезпеченням повного спектра телекомунікаційних послуг.

— Забезпечення мобільного доступу, який би не поступався за якістю сервісу фіксованому підключенню.

У той час як перші два підходи не виключають персональної мобільності користувача, вони передбачають наявність фіксованих точок підключення. Третій напрям спрямований на підтримку мобільності абонентських терміналів. У

загальному випадку метою розвитку МАД є надання персоналізованого доступу до телекомунікаційних і інформаційних сервісів незалежно від місця перебування користувача, тобто реалізація концепції «завжди і всюди».

На сучасному етапі розглядаються кілька технологічних рішень для усунення проблеми «останньої милі»:

— Запровадження волоконно-оптичних ліній зв’язку на відрізку між АТ і ВД (рис. 1.3).

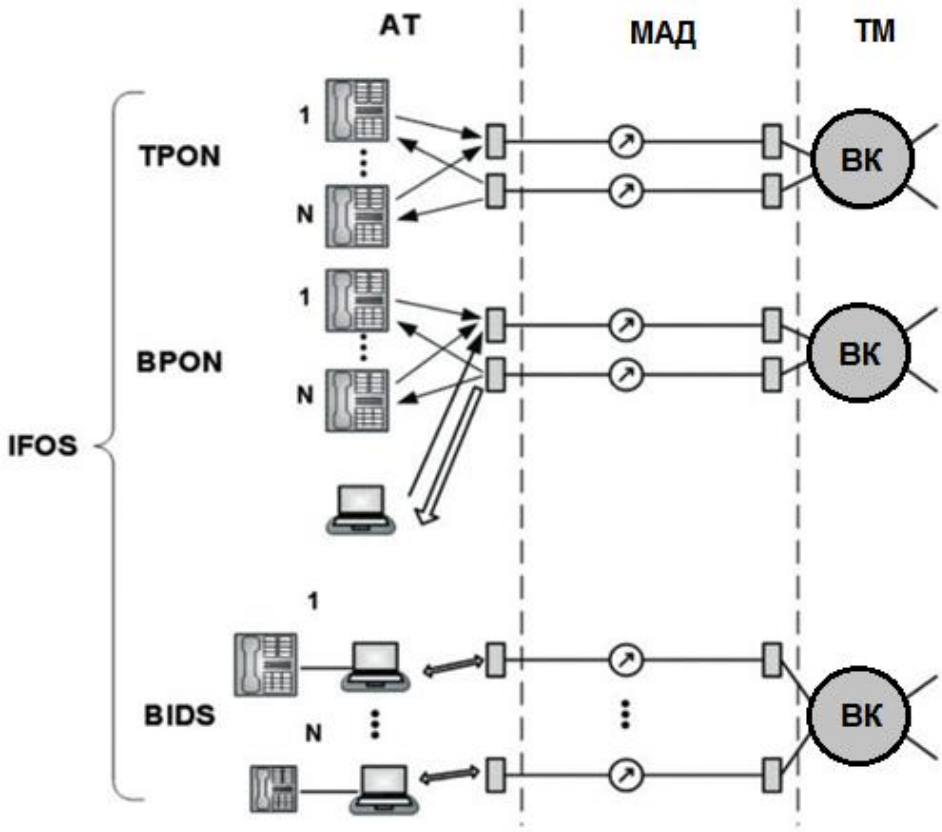


Рисунок 1.3 – Волоконно-оптична інфраструктура мережі абонентського доступу

Серед переваг такого підходу — висока довговічність оптичного кабелю та його відносно низька вартість. Основним недоліком залишається необхідність прокладання нової кабельної інфраструктури та висока вартість термінального обладнання.

— Використання мідних кабельних абонентських ліній, що характеризуються простотою проєктування, розвиненою практикою будівництва та експлуатації, а також помірною вартістю. Однак у порівнянні з оптичними

лініями такі рішення поступаються в пропускній здатності й зазнають додаткових ризиків через високий попит на мідь серед збирачів вторсировини.

— Технології ущільнення мідних кабелів, зокрема xDSL, які дозволяють здійснювати цифрову передачу по наявних лініях. Незважаючи на економічну доцільність, ці рішення мають ті самі обмеження, що й попередній варіант.

— Технології бездротового доступу, що застосовуються у випадках відсутності кабельної інфраструктури або у важкодоступних районах. Серед переваг — оперативне розгортання мережі та можливість забезпечення зв’язку в будь-якій точці зони покриття. До недоліків належать обмежена пропускна здатність і вразливість до зовнішніх впливів.

2 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ РЕАЛІЗАЦІЇ МЕРЕЖ АБОНЕНТСЬКОГО ДОСТУПУ

2.1 Технологія пасивної оптичної мережі (PON)

PON — це інноваційна технологія, що належить до класу пасивних оптичних мереж [4]. Вона призначена для надання широкосмугового доступу до Інтернету, а також мультимедійних сервісів, з використанням оптичного волокна як основного середовища передачі даних.

На сьогодні технологія PON розглядається як перспективна основа для побудови абонентських мереж множинного доступу. У її межах реалізовано принципи поділу каналів за часом (TDMA) і за частотою, що дозволяє ефективно розподіляти ресурси каналу зв'язку між численними користувачами. Основна ідея полягає у виділенні кожному абонентському терміналу окремого тимчасового інтервалу, в межах якого здійснюється передача сигналу. Такий підхід унеможливлює змішування сигналів різних користувачів в одному волокні, навіть при великій кількості підключень до одного провайдера.

Передача інформації у прямому та зворотному напрямках відбувається за рахунок динамічного розподілу смуги пропускання в межах одного волоконно-оптичного каналу. У низхідному напрямку сигнал передається від центрального вузла до абонента з довжиною хвилі 1490 нм (рис. 2.1).

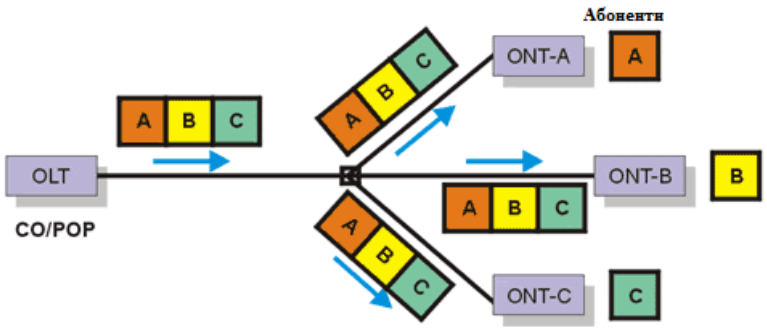


Рисунок 2.1 – Низхідний канал передачі даних

У зворотному напрямку, використовуючи часовий поділ доступу (TDMA), абоненти передають дані до провайдера з довжиною хвилі 1310 нм (рис. 2.2) [5].

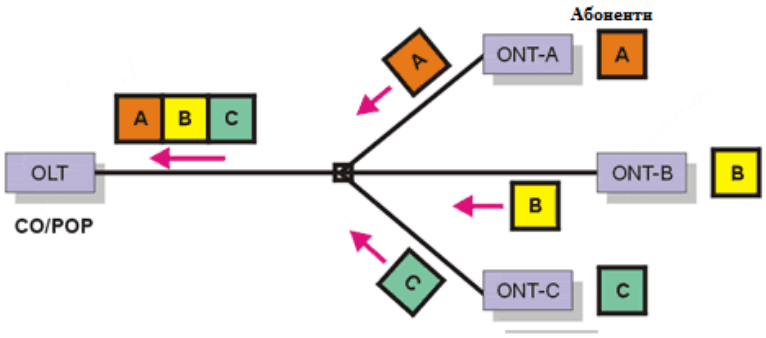


Рисунок 2.2 – Висхідний канал передачі даних

Важливою перевагою цієї технології є наявність широкого вибору пасивних оптичних спліттерів. Залежно від конфігурації, вони можуть відрізнятися як кількістю відгалужень, так і коефіцієнтами розподілу потужності, що дозволяє адаптувати мережу під різні архітектурні сценарії та навантаження.

Типовою топологією для реалізації мережі PON є ієрархічна структура типу «дерево», яка забезпечує ефективний розподіл сигналу між численними абонентами (рис. 2.3).

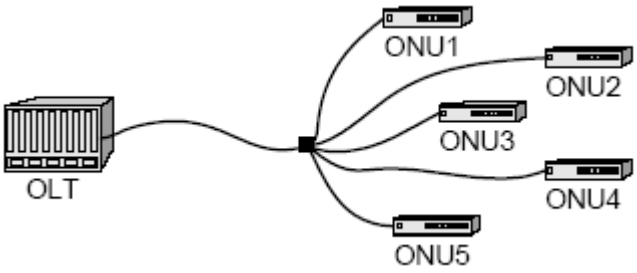


Рисунок 2.3 – Деревоподібна структура побудови пасивної оптичної мережі

Під час побудови мережі за деревоподібною топологією використовуються оптичні спліттери з коефіцієнтами поділу від 1:2 до 1:32 (рис. 2.4), а в окремих випадках — до 1:64. Такі елементи забезпечують рівномірний розподіл потужності вхідного оптичного сигналу між кількома вихідними каналами.



Рисунок 2.4 – Спліттер оптичного волокна 1*32

У розглянутій конфігурації вся передача даних здійснюється через одне оптичне волокно, що, з огляду на централізованість, створює потенційну вразливість системи — своєрідну «ахіллесову п’яту» всієї мережевої інфраструктури. Однак дана проблема може бути ефективно усунута шляхом застосування загальновідомого методу резервування, який широко використовується в телекомунікаційних системах. При впровадженні резервного волокна особливу увагу слід приділити його фізичному розташуванню: резервна лінія повинна бути прокладена окремим маршрутом, незалежним від основної магістралі, що дозволяє забезпечити високий рівень надійності та відмовостійкості (рис. 2.5).

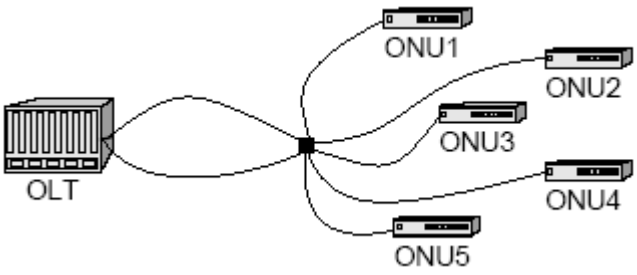


Рисунок 2.5 – Мережа PON з використанням топології «дерево» з резервуванням оптичного волокна

Окрім деревоподібної топології, під час проєктування мереж PON доцільно також розглядати альтернативні варіанти структурної організації, зокрема топологію типу «шина» [6] (рис. 2.6).

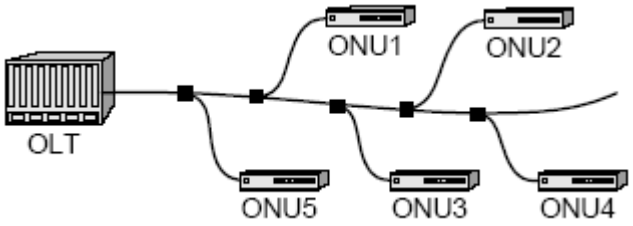


Рисунок 2.6 – Реалізація пасивної оптичної мережі з використанням топології типу «шина»

Реалізація мережі на основі топології типу «шина» передбачає застосування оптичних спліттерів з обмеженою кількістю вихідних портів, що дозволяє ефективно організувати послідовне підключення абонентів до лінії передачі (рис. 2.7).



Рисунок 2.7 – Одновходовий двовивідний оптичний спліттер

Такий підхід до побудови мережі забезпечує практично однаковий рівень потужності оптичного сигналу для всіх абонентських терміналів, незалежно від їх віддаленості від джерела сигналу. Це мінімізує вплив географічного розташування користувачів на якість передавання даних.

Питання підвищення надійності PON-мереж, реалізованих за шинною топологією, може бути вирішене шляхом резервування оптичного волокна. Один з ефективних методів полягає в замиканні кінців лінії, що призводить до трансформації топології в кільцеву (рис. 2.8). У разі пошкодження кабельної ділянки така схема дозволяє змінити напрямок передавання сигналу, забезпечуючи безперервність обслуговування.

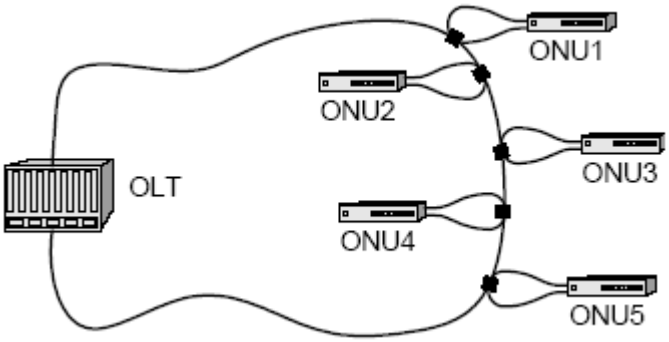


Рисунок 2.8 – Реалізація пасивної оптичної мережі з використанням структури типу «кільце»

Станом на сьогодні в межах технології PON виокремлюють три основні стандарти, технічні характеристики яких узагальнено у таблиці 2.1 [7].

Таблиця 2.1 – Різновиди PON

	BPON	EPON	GPON
Стандарт	ITU-T G.983	IEEE 802.3ah	ITU-T G.984
Пропускна здатність	Спадний потік – до 622 Мбіт/сек, Висхідний потік – 155 Мбіт/сек	Симетричний, до 1,25 Гбіт/сек	Спадний потік – до 2,5 Гбіт/сек, Висхідний потік – 1,25 Гбіт/сек
Довжина хвилі спадного потоку	1490 та 1550 нм	1550 нм	1490 та 1550 нм
Довжина хвилі висхідного потоку	1310 нм	1310 нм	1310 нм
Передача	ATM	Ethernet	Ethernet, ATM, TDM

Серед реалізацій пасивних оптичних мереж (PON) на сьогодні виокремлюють кілька основних стандартів, кожен з яких має власну специфіку

застосування.

BPON (Broadband PON) є одним із перших стандартів у цій галузі. Незважаючи на те, що ця технологія продовжує використовуватися, її функціональність поступово витісняється сучаснішими рішеннями.

EPON (Ethernet PON) була розроблена на базі технологій Gigabit Ethernet, що дозволило значно знизити вартість клієнтського обладнання. Це стало можливим завдяки відсутності потреби в переході між протоколами ATM та Ethernet, останній з яких є домінуючим у комп'ютерних мережах.

GPON (Gigabit PON), у свою чергу, орієнтована на підвищення пропускної здатності, зокрема в низхідному напрямку. Крім того, цей стандарт передбачає підтримку передавання як ATM-, так і TDM-трафіку, що розширює його функціональні можливості.

Переваги технології PON:

— мінімальне використання активних компонентів у мережевій архітектурі;

— висока концентрація абонентських підключень на одному обладнанні;

— спрощена та зменшена кабельна інфраструктура;

— можливість інтеграції з системами кабельного телебачення;

— поступове масштабування мережі без негативного впливу на вже розгорнуту інфраструктуру;

— підвищена надійність завдяки зменшенню кількості точок відмови;

— відносно невисока вартість розгортання через ефективне використання оптичних волокон — одне волокно між OLT і спліттером обслуговує багато абонентів;

— низькі експлуатаційні витрати, оскільки пасивне обладнання не потребує електроживлення та технічного обслуговування;

— висока швидкість передавання даних;

— можливість значного фізичного віддалення абонентів від центрального вузла.

Недоліки технології PON:

— обмежений рівень безпеки внаслідок спільного використання смуги пропускання великою кількістю абонентів;

— складність діагностики несправностей, оскільки пасивні спліттери не мають вбудованих засобів моніторингу або сповіщення про аварії, що підвищує експлуатаційні витрати та ускладнює обслуговування ділянки між спліттером та абонентським терміналом ONT;

— необхідність застосування криптографічних засобів для забезпечення конфіденційності передавання, що впливає на продуктивність системи, і навіть при цьому не гарантує повного захисту даних на фізичному рівні.

2.2 Реалізація доступу FTTH на основі Ethernet за моделлю P2P

Мережа Ethernet FTTH (рис. 2.9) належить до класу активних оптичних мереж і передбачає прокладання лінії зв’язку безпосередньо до житла абонента — як до квартир у багатоквартирних будинках, так і до окремих приватних будівель.

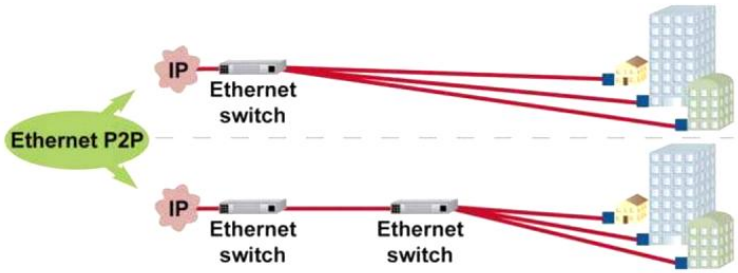


Рисунок 2.9 – Принцип побудови каналу доступу за технологією Ethernet FTTH

Мережі, створені на основі технології Ethernet FTTH, передбачають використання оптоволоконних кабелів на магістральних ділянках та витої пари в межах абонентського приміщення — від пристрою Ethernet CPE. Таке обладнання відзначається низькою вартістю, доступною для широкого кола користувачів, та встановлюється безпосередньо у приміщеннях абонентів, забезпечуючи якісний

зв’язок. У випадку багатоповерхових будівель можливим є прокладання витої пари до кожної квартири від комутаторів, розміщених на нижніх поверхах. Хоча такий підхід обмежує загальну пропускну здатність мережі, він дозволяє значно зменшити витрати на розгортання при великій кількості підключень [8].

Початкові впровадження Ethernet FTTH ґрунтувалися на Gigabit Ethernet із використанням кільцевої топології, в межах якої комутатори, встановлені на нижніх поверхах житлових будівель, були об’єднані в єдину мережу [9].

Подальший етап розвитку технології полягав у впровадженні виділених оптичних ліній зв’язку від кожного абонентського пристрою (ONU) до точки присутності оператора (POP), що реалізується через топологію типу «зірка» (рис. 2.10). Конфігурація мережі залежить від типу забудови: в індивідуальних будинках кінцеві пристрої розміщуються локально, а у багатоповерхових будівлях — на нижніх поверхах, звідки здійснюється розведення до помешкань.

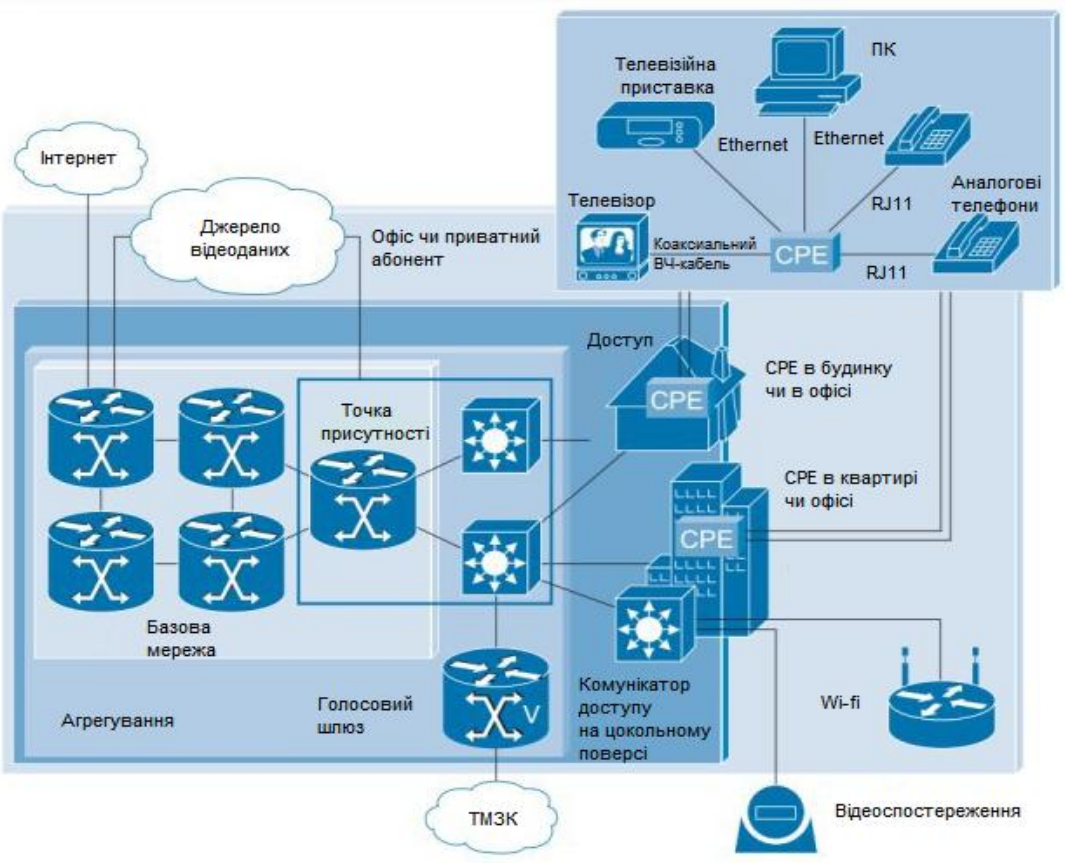


Рисунок 2.10 – Побудова Ethernet FTTH із використанням топології типу «зірка»

Переваги технології Ethernet FTTH охоплюють такі аспекти:

— високий рівень безпеки внаслідок фізичної ізоляції каналу доступу для кожного користувача, що принципово відрізняє її від архітектури PON із загальним середовищем передачі;

— можливість забезпечення індивідуального високошвидкісного доступу завдяки виділеній смузі пропускання кожному абоненту;

— підтримка різних технологій передавання одномодовим волокном, що забезпечує довгострокову перспективу використання інфраструктури для впровадження нових сервісів;

— у випадку реалізації за топологією «зірка» експлуатаційні витрати є нижчими порівняно з мережами PON, що детально відображено у таблиці 2.2 [10].

Таблиця 2.2 – Порівняння особливостей розгортання та обслуговування мереж Ethernet FTTH і PON

Проблематика	Ethernet FTTH	PON
Планування ресурсів доступу	Спрощене: використовується індивідуальна волоконно-оптична лінія для кожного абонента	Ускладнене: через спільне середовище передачі виникає взаємозалежність абонентів
Проєктні правила	Спрощені: окрема волоконно-оптична лінія	Ускладнені: необхідність одночасного виконання робіт для всієї абонентської гілки дерева PON
Діагностика та усунення несправностей	Однозначне визначення місця пошкодження за допомогою відображення хвиль методом рефлектометрії	Ускладнене визначення місцерозташування несправності через розгалужену архітектуру
Управління ключами шифрування	Не потребується	Необхідне впровадження

Продовження таблиці 2.2

Використання смуги пропускання	Максимально ефективне: відсутні обмеження	Обмежене: частина ресурсу витрачається на службові дані (синхронізація, шифрування, керування)
Модернізація технології чи смуги пропускання	Просте: можливе індивідуальне оновлення для кожного абонента	Складне: потребує заміни спільного активного обладнання або зміни довжини хвилі
Перехід абонента до іншого провайдера	Реалізується шляхом перепідключення на розподільчому кросі або через перенаправлення трафіку	Потребує зміни конфігурації (перенаправлення трафіку)
Підключення нового абонента	Вимагає підключення до розподільчої панелі та налаштування комутатора, що частково компенсується нижчими капітальними витратами	Включає налаштування параметрів на OLT
Перерви в роботі через обрив кабелю	Залежить від місця пошкодження: більше у випадку розриву біля точки присутності, менше — при пошкодженні ближче до абонента, де простіша діагностика	Зворотна ситуація: менше у разі пошкодження біля точки присутності, більше — біля абонента через складність локалізації проблеми

Разом із перевагами, технологія Ethernet FTTH має і певні обмеження:

— потреба у великій кількості оптоволоконних кабелів, що зумовлюється необхідністю виділення окремого волокна для кожного абонента, на відміну від

архітектур із колективним використанням волокна;

— складність монтажу та обслуговування через концентрацію великої кількості кабелів у вузлових точках, що потребує спеціалізованих розподільчих стійок;

— при пошкодженні великої кількості оптичних ліній відновлення працездатності мережі може зайняти тривалий час і потребувати значних ресурсів.

2.3 Особливості побудови мереж на основі ADSL

Побудова мережі цифрової передачі даних на основі технології ADSL (рис. 2.11) дозволяє забезпечити широкосмуговий доступ до інформаційних ресурсів з використанням уже існуючих телефонних ліній. Дальність ефективного функціонування такої мережі становить до 5,5 км від провайдера до кінцевого абонента [11].

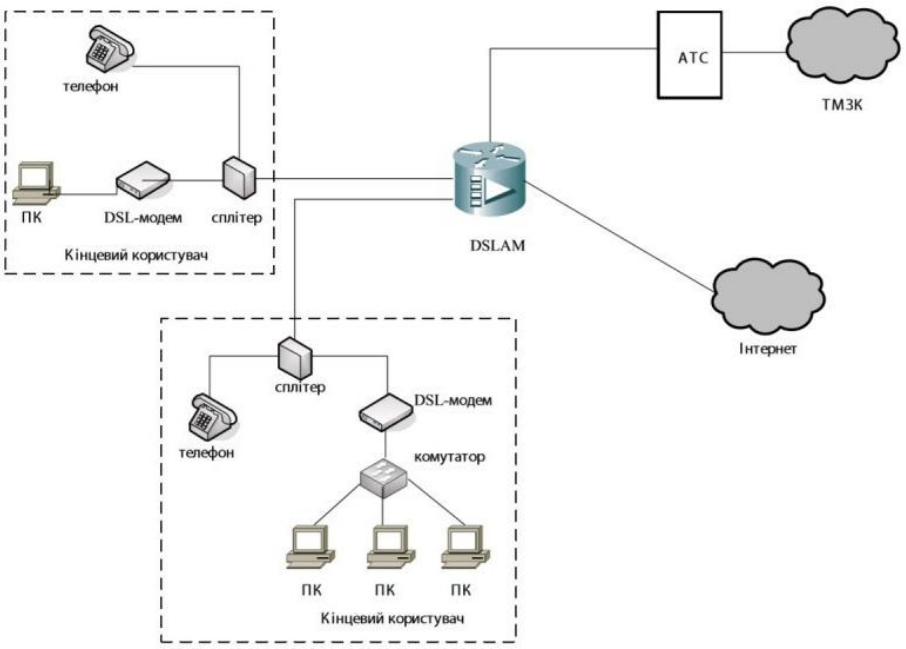


Рисунок 2.11 – Архітектура організації широкосмугового доступу за допомогою ADSL

Для забезпечення підключення користувача за ADSL-технологією необхідно встановити пару модемів: один — на стороні провайдера, інший — у користувача. Швидкість передавання даних залежить від фізичної відстані між абонентом і вузлом провайдера: чим коротший кабельний маршрут, тим вища пропускна здатність. Передача декількох сигналів по одній телефонній лінії досягається шляхом частотного поділу смуги пропускання, при якому різні частотні діапазони (несучі) використовуються для передачі окремих потоків інформації [12].

Ключові стандарти ADSL і відповідні їм характеристики наведено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Основні технічні параметри стандартів ADSL

Стандарт	Назва технології	Швидкість вихідного потоку, Мбіт / с	Швидкість вхідного потоку, Мбіт / с
ANSI T1.413-1998 Issue 2	ADSL	1,0 (128 КБайт / с)	8 (1 МБайт / с)
ITU G.992.1	ADSL (G.DMT)	1,0 (128 КБайт / с)	12 (1.5 Мбайт / с)
ITU G.992.2	ADSL Lite (G.Lite)	0,5 (64 КБайт / с)	1,5 (192 КБайт / с)
ITU G.992.3/4 Annex A/B	ADSL2	1,5 (192 КБайт / с)	12 (1,5 МБайт / с)
ITU G.992.3/4 Annex J	ADSL2	3,5 (448 КБайт / с)	12 (1,5 МБайт / с)
ITU G.992.3/4 Annex L	RE-ADSL2	0,8 (102 КБайт / с)	5 (640 КБайт / с)
ITU G.992.5 Annex A	ADSL2+	1,4 (178 КБайт / с)	24 (3 МБайт / с)
ITU G.992.5 Annex L	RE-ADSL2+	1,5 (192 КБайт / с)	24 (3 МБайт / с)
ITU G.992.5 Annex M	ADSL2+	3,5 (448 КБайт / с)	24 (3 МБайт / с)

Перевагами ADSL є відносно невисока вартість модернізації аналогових телефонних ліній у цифрові канали доступу, а також мінімальні витрати на технічне обслуговування. Крім того, підключення кожного абонента до окремої телефонної лінії сприяє зменшенню ризиків втрати чи перехоплення даних, що підвищує загальний рівень інформаційної безпеки [13].

Разом з тим, одним із головних недоліків ADSL залишається обмежена швидкість передавання даних у порівнянні з сучаснішими технологіями, зокрема PON та Ethernet FTTH.

2.4 Архітектура та принципи функціонування технології Wi-Fi

Wi-Fi є технологією бездротового зв’язку, реалізованою на основі стандарту IEEE 802.11. Вона забезпечує можливість підключення до мережі для широкого спектра пристроїв — зокрема, ноутбуків, персональних комп’ютерів, смартфонів, телевізорів Smart TV тощо — без потреби у прокладанні кабельної інфраструктури. Залежно від обраного стандарту, швидкість передавання даних у мережі Wi-Fi (рис. 2.12) може варіюватися: від 11 Мбіт/с при роботі в діапазоні 2,4 ГГц до понад 100 Мбіт/с при використанні частоти 5 ГГц [14].

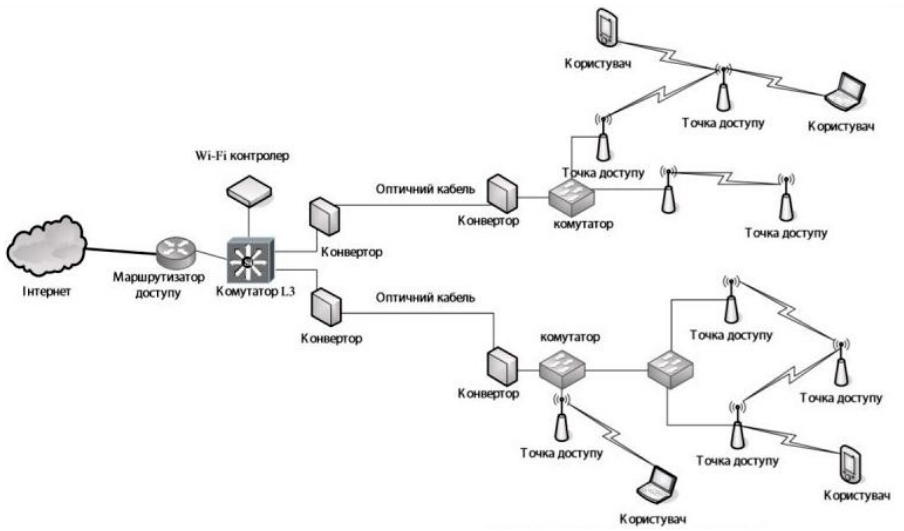


Рисунок 2.12 – Структура організації бездротової мережі доступу Wi-Fi

На сучасному етапі розвитку технологій Wi-Fi залишається однією з найпоширеніших платформ для реалізації бездротового доступу. Однією з важливих переваг цієї технології є можливість її використання без необхідності ліцензування радіочастотного спектру — за умови дотримання допустимого рівня потужності випромінювання. Швидкість розгортання Wi-Fi-мереж значно вища порівняно з традиційними дротовими рішеннями.

Технологія базується на передачі даних за допомогою радіохвиль [15]. Типова мережа Wi-Fi складається щонайменше з однієї точки доступу та одного клієнтського пристрою. Передавання даних здійснюється шляхом перетворення цифрової інформації в радіосигнал через мережеві адаптери, які також забезпечують зворотне перетворення вхідного радіосигналу у цифрову форму. Обмін сигналами між передавальними й приймальними пристроями відбувається на однаковій частоті з використанням єдиного типу модуляції. Ідентифікація мережі здійснюється за допомогою SSID (Service Set Identifier), який передається зі швидкістю близько 0,1 Мбіт/с і дозволяє клієнтському пристрою визначити наявність мережі для підключення.

Найбільш поширені версії стандарту Wi-Fi та їх технічні параметри наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Основні стандарти Wi-Fi та їх експлуатаційні характеристики

Технічні характеристики	Технології			
	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n
Несуча частота, ГГц	5	2,4	2,4	2,4 / 5
Максимальна швидкість передавання інформації	54	11	54	>100
Максимальний радіус дії точки доступу без спеціального обладнання, м	100	300	300	300 /100

Мережі, побудовані з використанням Wi-Fi, характеризуються

масштабованістю — у разі зростання кількості користувачів їх можна розширювати шляхом додавання нових точок доступу. Суттєвою перевагою технології є також відсутність потреби в порушенні цілісності стін або стель, що особливо актуально для історичних будівель або орендованих приміщень.

Разом із тим, технологія має і певні обмеження. Зокрема, діапазон 2,4 ГГц, який використовується Wi-Fi, також застосовується низкою інших пристроїв, зокрема Bluetooth, що може спричиняти взаємні перешкоди. Крім того, відкрите середовище передавання даних знижує рівень інформаційної безпеки та ускладнює підтримку стабільної якості зв’язку через вплив випадкових зовнішніх факторів.

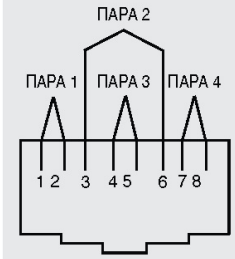
2.5 Інтеграція живлення та передачі даних у мережах Ethernet за технологією PoE

PoE (Power over Ethernet) — це технологія, що забезпечує одночасну передачу даних і електроживлення до кінцевого пристрою за допомогою одного мережевого кабелю типу «кручена пара» в межах Ethernet-мережі [16].

PoE є ефективним рішенням як для побудови нових мереж доступу, так і для модернізації вже існуючих систем, оскільки усуває потребу в окремому електроживленні, розетках та додатковому прокладенні електрокабелів. Це дозволяє суттєво знизити загальні витрати на розгортання мережевої інфраструктури [17].

Застосування технології є особливо поширеним у таких галузях, як IP-телефонія, системи відеоспостереження, бездротові мережі доступу та системи радіочастотної ідентифікації. Основною перевагою PoE є зручність його впровадження у середовищах, де монтаж окремого живлення є небажаним або технічно ускладненим. Використання PoE не впливає на якість передавання даних, оскільки електроживлення здійснюється через невикористовувані пари у стандартному Ethernet-кабелі.

Вперше технологія PoE була стандартизована в 2003 році у вигляді IEEE 802.3af, який передбачає передачу електроенергії разом із даними через кабель Ethernet. Передача живлення реалізується через стандартний мережевий роз'єм RJ-45 (рис. 2.13), сумісний із усіма пристроями, що підтримують PoE.



Підключення RJ45			
Схема	№ контакту	Колір дроту	Ланцюг
	1	Біло-помаранчевий	Дані 1
	2	Помаранчевий	Дані 1
	3	Біло-зелений	Дані 2
	4	Синій	Живлення +
	5	Біло-синій	Живлення +
	6	Зелений	Дані 2
	7	Біло-коричневий	Живлення - (GND)
	8	Коричневий	Живлення - (GND)

Рисунок 2.13 – Передавання електроживлення через роз'єм RJ-45

Існують два основних методи реалізації подачі електроживлення по «крученій парі»:

Перший метод (рис. 2.14) передбачає одночасне передавання електроживлення та інформаційного сигналу однією парою провідників. Для цього використовуються високочастотні трансформатори з центральним відводом на обох кінцях лінії [18].

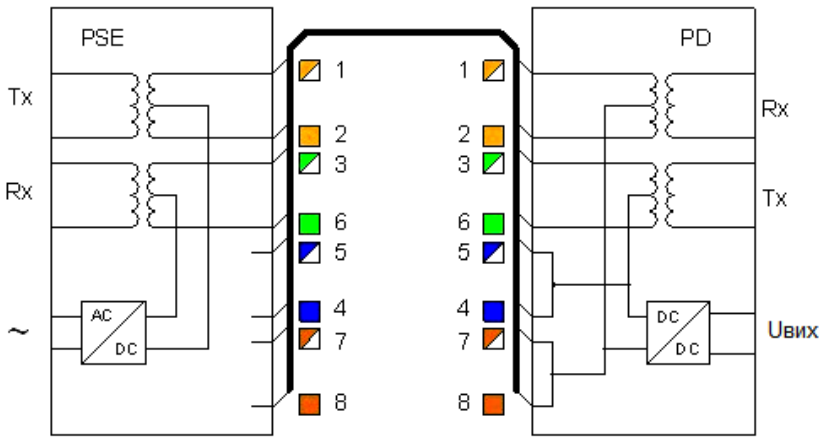


Рисунок 2.14 – Схема поєднаної передачі сигналу та живлення одним кабелем

Другий метод (рис. 2.15) полягає у використанні двох вільних пар у кабелі

Ethernet (при швидкості до 1 Гбіт/с) виключно для передавання живлення [18].

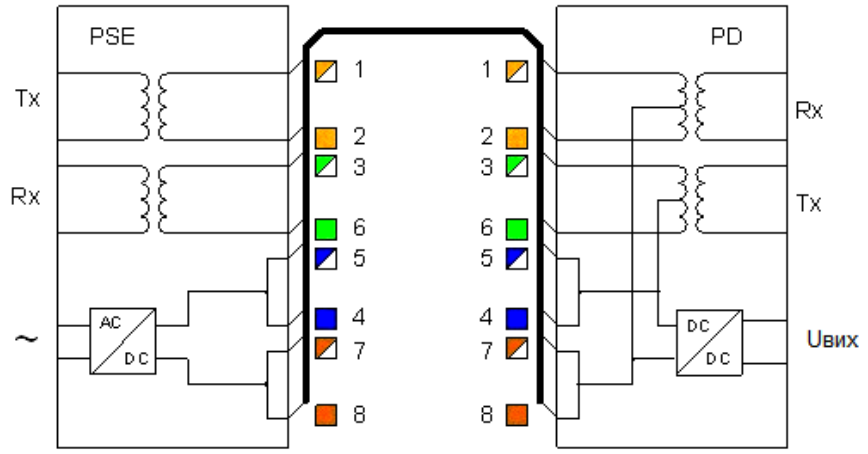


Рисунок 2.15 – Схема передачі живлення по невикористаних парах

Відповідне призначення провідників у кабелі зазначено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Відповідність пар провідників у кабелі їх функціональному призначенню

PINS	10/100 Mixed DC & Data (метод 1)		1000 (1 Гб) DC & Bi-Data (метод 1)		10/100 DC on Spares (метод 2)	1000 (1 Гб) DC & Bi-Data (метод 2)	
1	Rx +	DC +	TxRx A+	DC +	Rx +	TxRx A+	
2	Rx -	DC +	TxRx A-	DC +	Rx -	TxRx A-	
3	Tx +	DC -	TxRx B+	DC -	Tx +	TxRx B+	DC +
4	Не використовується		TxRx C+		DC +	TxRx C+	DC +
5	Не використовується		TxRx C-		DC +	TxRx C-	
6	Tx -	DC -	TxRx B-	DC -	Tx -	TxRx B-	
7	Не використовується		TxRx D+		DC -	TxRx D+	DC -
8	Не використовується		TxRx D-		DC -	TxRx D-	DC -

Існує три основні стандарти технології PoE:

— PoE (IEEE 802.3af): перша реалізація, що забезпечує подачу живлення

до 15,4 Вт;

— PoE+ (IEEE 802.3at): вдосконалена версія, яка забезпечує живлення до 30 Вт і дає змогу підключати потужніші пристрої;

— IEEE 802.3bt: сучасний стандарт, що дозволяє подавати до 51 Вт, використовуючи всі чотири пари провідників у кабелі категорії 5e або вище.

Таблиця 2.6 – Порівняльна характеристика стандартів PoE

Властивість	PoE (IEEE 802.3af)	PoE+ (IEEE 802.3at)	IEEE 802.3bt
Доступна потужність на підключеному пристрої	12,95 Вт	25,50 Вт	51 Вт
Максимальна потужність, що постачається пристроєм-джерелом	14,40 Вт	30,0 Вт	60 Вт
Максимальна сила струму Тип підтримуваного кабелю	350 мА Категорія 3 та 5	600 мА Категорія 5	960 мА Категорія 5

Одним із ключових пристроїв у PoE-інфраструктурі є PoE-комутатор (рис. 2.16), який поєднує функції передавання даних і електроживлення до підключених пристроїв через один кабель.



Рисунок 2.16 – Мережевий комутатор із підтримкою PoE

Такий комутатор здатен обслуговувати як PoE-сумісні пристрої (IP-камери, точки доступу, IP-телефони), так і звичайне мережеве обладнання завдяки функції автоматичного розпізнавання типу підключення. Пасивні PoE-комутатори цієї можливості не мають.

Схему використання PoE-комутатора зображено на рис. 2.17.

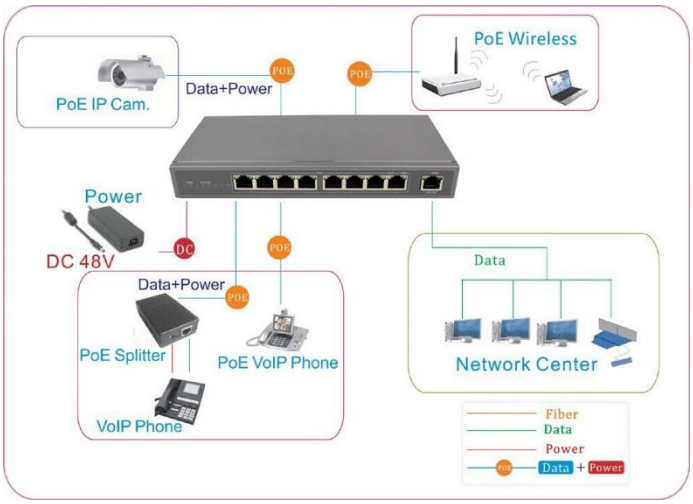


Рисунок 2.17 – Структура підключення пристроїв до PoE-комутатора

Альтернативним варіантом є застосування PoE-інжектора — пристрою, що подає живлення на мережевий кабель у випадках, коли основне мережеве обладнання не підтримує PoE (рис. 2.18). Оскільки PoE-інжектор є пасивним пристроєм, він не ідентифікує тип підключеного обладнання, що створює ризик пошкодження пристроїв, які не розраховані на електроживлення через Ethernet [19].



Рисунок 2.18 – PoE-інжектор для подачі живлення на мережеві пристрої

Розглядають два типові варіанти застосування інжекторів:

— Перший варіант — коли комутатор не підтримує PoE, а кінцеві пристрої сумісні з цією технологією (рис. 2.19). У такому разі інжектор розміщується між комутатором і кінцевим пристроєм.

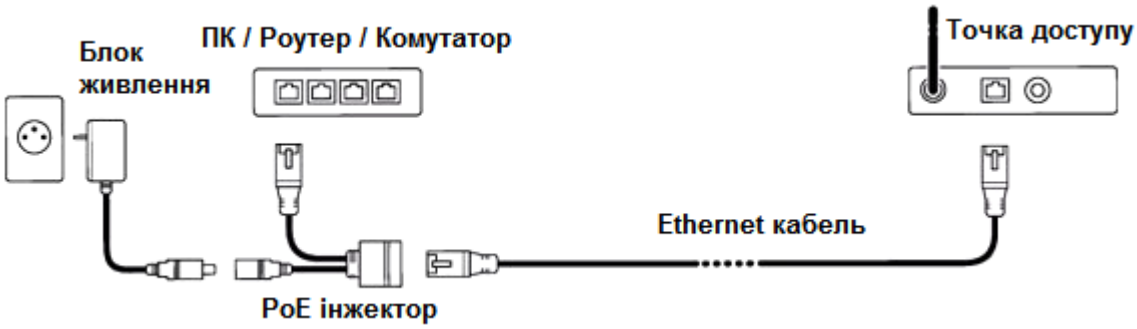


Рисунок 2.19 – Приклад підключення сумісного пристрою до неспроможного до PoE комутатора через інжектор

— Другий варіант — коли ні комутатор, ні кінцеві пристрої не підтримують PoE (рис. 2.20). У цьому випадку використовується PoE-спліттер, що розділяє потік енергії та даних на окремі пари провідників.

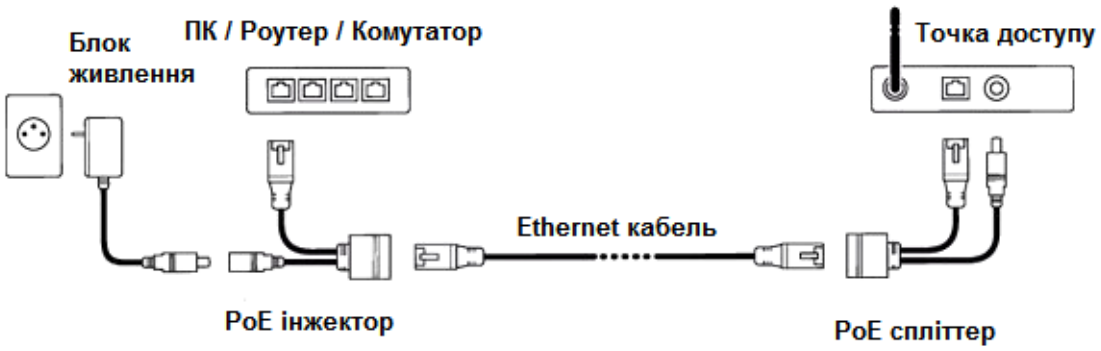


Рисунок 2.20 – Варіант реалізації PoE з використанням інжектора та спліттера для несумісного обладнання

Переваги PoE:

— передача даних та живлення через один кабель;

— спрощення монтажу в складних архітектурних умовах;

— зниження вартості монтажу та обслуговування.

Недоліки:

— вища вартість PoE-сумісного обладнання порівняно зі звичайним;

— втрати електроенергії через розсіювання у кабелі.

У контексті побудови мережі абонентського доступу в умовах малонаселеної місцевості доцільним є використання волоконно-оптичних технологій PON або Ethernet FTTH. У випадках, коли прокладка кабелю є неможливою, доцільно застосовувати бездротові рішення з напрямленими антенами у поєднанні з PoE-технологією, що дозволяє оптимізувати енергопостачання точок доступу та спростити технічне обслуговування.

3 МЕТОДИ ПРОКЛАДАННЯ ВОК: ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДХОДІВ І УМОВ ЗАСТОСУВАННЯ

3.1 Загальна характеристика методів прокладання ВОК

Забезпечення стабільного та якісного надання послуг зв’язку в регіонах з низькою щільністю абонентів традиційно становить одну з найбільших інженерних і економічних проблем. Зокрема, у приватному секторі спостерігається обмежений доступ до інтернету або телебачення, що пояснюється високою вартістю розгортання та обслуговування телекомунікаційної інфраструктури. Основними чинниками, що формують ці витрати, є потреба в закупівлі обладнання, прокладанні структурованих кабельних систем (СКС), а також у підтримці працездатності мережі.

На тлі стрімкого розвитку широкосмугових мереж, заснованих на оптичних технологіях, у міських агломераціях, зростає актуальність застосування таких технологій і в малонаселених районах. Хоча мідні кабельні системи й надалі залишаються важливою складовою сучасних СКС, саме волоконно-оптичні лінії зв’язку (ВОЛЗ) вважаються технологічною основою майбутніх телекомунікаційних систем. Це обумовлено їх здатністю забезпечувати високу пропускну здатність, велику довжину з'єднань і високий рівень захисту переданих даних.

До переваг ВОЛЗ належать:

— висока швидкість передавання даних, що досягається завдяки широкій смузі пропускання оптичного сигналу, яка потенційно дозволяє передавати терабіти інформації за секунду по одному волокну;

— висока завадостійкість, що зумовлена відсутністю електромагнітного випромінювання та несприйнятливістю до радіочастотних і електромагнітних завад;

— підвищена інформаційна безпека завдяки неможливості перехоплення сигналу в радіодіапазоні та здатності систем швидко виявляти спроби несанкціонованого доступу;

— збільшена довжина безретрансляторного з’єднання, яка може перевищувати 100 км, що знижує потребу в додаткових підсилювачах і енергоспоживанні;

— вогнестійкість та іскробезпечність, що дозволяє використовувати оптичний кабель на об’єктах підвищеної небезпеки, зокрема в хімічній та нафтопереробній промисловості;

— економічна ефективність у довгостроковій перспективі: хоча початкові інвестиції в оптичні системи вищі, проте витрати на обслуговування, підсилювачі й модернізацію значно менші. Наприклад, кварцове волокно дешевше за мідь приблизно вдвічі, а потреба в ретрансляторах у ВОЛЗ набагато нижча;

— компактність та зменшене навантаження на інфраструктуру: за однакової пропускної здатності оптичний кабель легший і займає менше об’єму, ніж мідний аналог;

— перспективність масштабування: можливість модернізації мережі лише за рахунок заміни активного обладнання, без потреби в заміні кабельної інфраструктури.

Типовий термін експлуатації ВОЛЗ становить близько 25 років. Після цього періоду можливе зростання загасання сигналу внаслідок деградації волокна.

Успішне проєктування сучасної мережі зв’язку передбачає не лише вибір оптимальної архітектури та обладнання, а й визначення доцільного методу прокладання кабельних ліній. Сьогодні існує велика кількість способів прокладання ВОЛЗ. Вибір конкретного варіанта залежить від умов експлуатації, типу місцевості та об'єктів, де розгортається мережа.

Зокрема:

— самонесучий оптичний кабель доцільно застосовувати при прокладанні повітряними лініями на опорах;

— оптичний кабель із захисними елементами використовується при

прокладанні в кабельній каналізації або ґрунті;

— універсальний кабель призначений для внутрішнього монтажу, зокрема у приміщеннях із підвищеними вимогами до вогнестійкості або механічного захисту.

3.2 Прокладка волоконно-оптичних ліній зв'язку в ґрунтовому середовищі: методи та особливості реалізації

Одним із поширених способів прокладання волоконно-оптичних кабелів (ВОЛЗ), що застосовується в умовах відсутності кабельної каналізації, є укладання кабелю безпосередньо в ґрунт. Незважаючи на підвищені витрати часу та ресурсів, цей метод вважається одним із найбільш надійних, з огляду на захищеність лінії від зовнішніх впливів.

Існує два основних підходи до прокладання ВОЛЗ у ґрунті:

— укладання кабелю в попередньо вириту траншею;

— застосування спеціалізованої техніки — ножових кабелеукладачів або установок горизонтально спрямованого буріння (ГСБ) [21].

У таких випадках необхідне використання оптичного кабелю з металевим або неметалевим захистом (бронею), товщина якого підбирається залежно від типу ґрунту, ймовірності пошкодження гризунами та інших місцевих чинників. Важливо враховувати, що прокладання ВОЛЗ поблизу залізничних колій не рекомендується здійснювати за допомогою кабелю з металевими елементами [22].

Траншейний метод (рис. 3.1) є класичним варіантом реалізації прокладання, особливо у випадках, коли необхідно монтувати декілька паралельних ліній. Ширина траншеї варіюється в залежності від обсягу робіт — від мінітраншей до повнорозмірних траншей, які можуть вмістити навіть трактор, що безпосередньо укладає кабель.

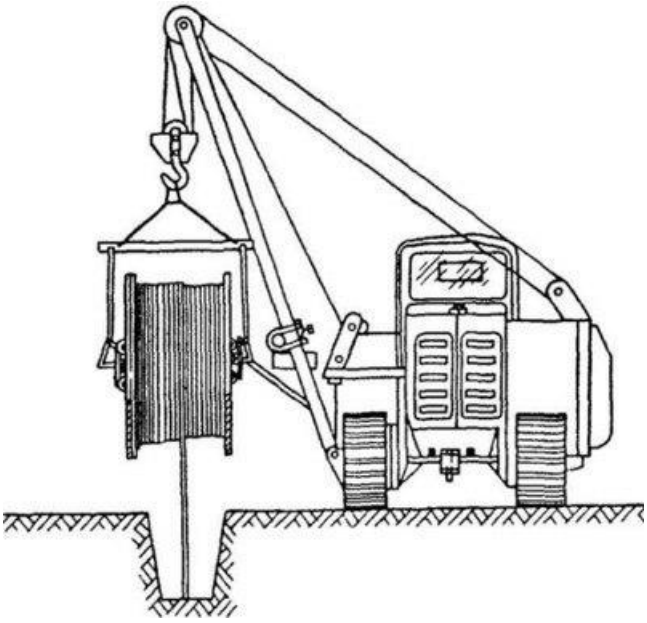


Рисунок 3.1 – Технологія прокладання оптичного кабелю в ґрунт із використанням траншей

Другий підхід полягає у використанні ножових кабелеукладачів (рис. 3.2), які ефективні при прокладанні ВОЛЗ на дистанції до 100 км [22]. Траси, як правило, розташовуються вздовж автомобільних доріг. Деякі сучасні моделі кабелеукладачів дозволяють одночасне прокладання кількох кабелів на різних рівнях глибини.

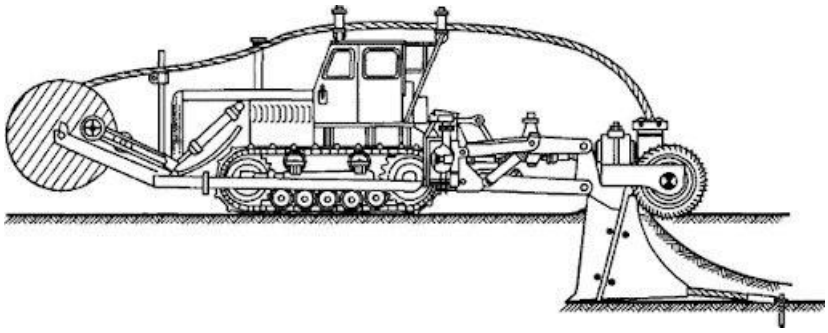


Рисунок 3.2 – Технологія прокладання оптичного кабелю за допомогою ножового кабелеукладача

До переваг даного методу належать висока швидкість реалізації та зменшення трудомісткості процесу. Проте існує і низка обмежень, серед яких:

— підвищена вразливість до впливу ґрунтових вод і промерзання;

— ймовірність механічного пошкодження кабелю технікою або автотранспортом;

— потреба в точному дотриманні монтажних вимог, зокрема щодо відстаней до інженерних споруд, будівель і підземних комунікацій.

У ряді випадків ці обмеження можуть повністю виключити доцільність застосування цього методу, що потребує альтернативного технічного рішення.

3.3 Особливості використання каналізаційної інфраструктури для розміщення ВОЛЗ

Метод прокладання волоконно-оптичного кабелю в каналізації (рис. 3.3) в переважній більшості випадків можливо застосовувати лише в населених пунктах [21].



Рисунок 3.3 – Особливості використання каналізаційної інфраструктури для розміщення ВОЛЗ

В загальному випадку використовують діючу інфраструктуру міста. Даний метод вирізняється простотою реалізації та швидкістю прокладання. Традиційними методами прокладання ВОЛЗ в кабельній каналізації (КК) вважають ручний спосіб або із застосуванням лебідки [22].

Позитивним моментом прокладання кабелю в каналізаціє є зручність експлуатування, захищеність від сторонніх впливів, мінімальні витрати на ремонт та модернізацію існуючих кабельних ліній.

Найголовнішою проблемою реалізації прокладання ліній зв’язку в кабельній каналізації є ймовірність того, що каналізаціє може просто не бути в необхідному місці, і може постати питання або обирати інший метод прокладки, або ж будувати власну каналізацію. Навіть наявність кабельної каналізаціє не може гарантувати реалізацію методу прокладки з її використанням, бо у великій кількості випадків стан КК залишає бажати кращого.

3.4 Повітряне прокладання ВОЛЗ із використанням опорної інфраструктури

Цей спосіб застосовується у випадках, коли використання підземних методів або кабельної каналізації є технічно неможливим або економічно необґрунтованим [21]. У таких випадках прокладання оптичного кабелю здійснюється по наявних опорах ліній електропередач, міського транспорту або залізниць (рис. 3.4).

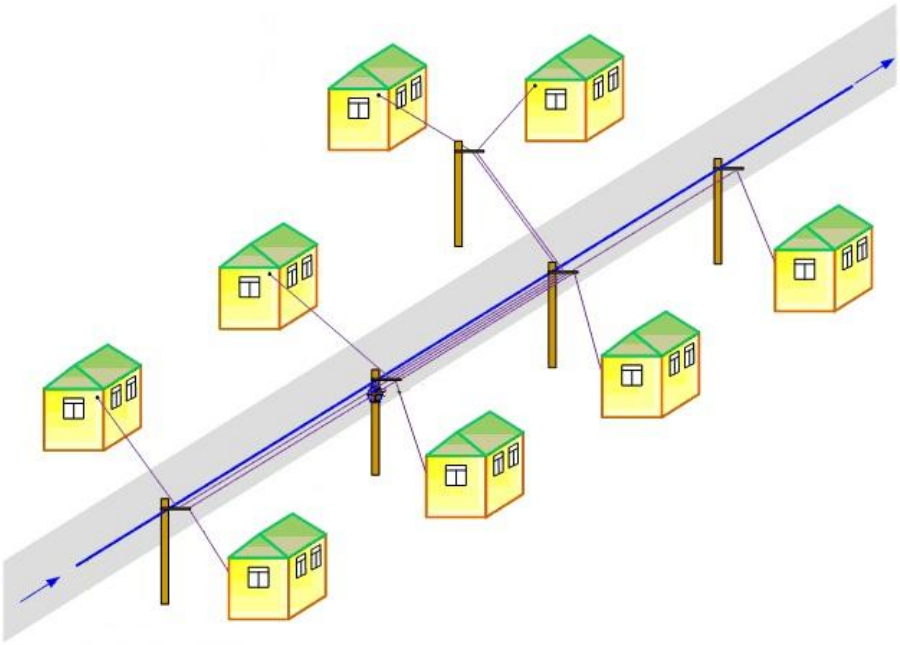


Рисунок 3.4 – Схема реалізації повітряного підвісу волоконно-оптичного кабелю

Зазвичай кабель фіксується до несучого стального троса за допомогою спеціальних кліпсів або стяжок[22]. Перевагами цього способу є відсутність потреби в землевідведенні, зниження ризику механічних пошкоджень кабелю, а також скорочення термінів будівництва. Водночас метод підвісу вимагає врахування впливу погодних умов та додаткових механічних навантажень.

3.5 Впровадження PON у приватному секторі для побудови мережі доступу

Технологія пасивної оптичної мережі (PON) забезпечує широкосмуговий доступ на базі топології "точка-багатоточка" за допомогою пасивних компонентів (рис. 3.5). Її ключова особливість полягає у відсутності активного обладнання на розподільчому сегменті мережі.

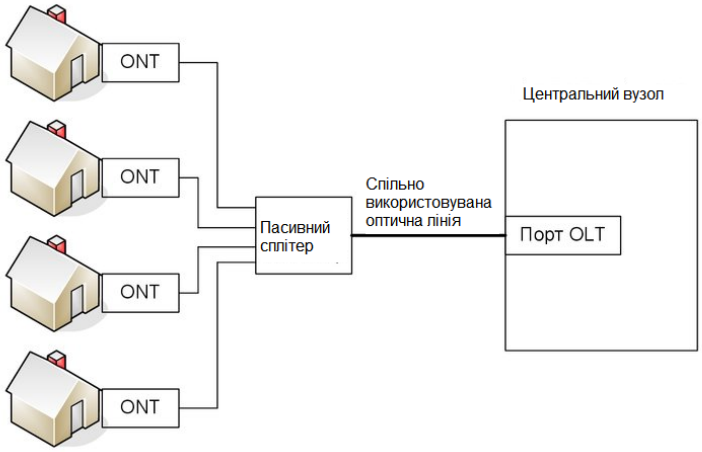


Рисунок 3.5 – Структура мережі доступу на базі технології PON

Серед переваг технології: зниження витрат на кабельну інфраструктуру, відсутність потреби в електроживленні для розподільчих елементів, надійність, гнучкість у масштабуванні та можливість реалізації мультимедійних сервісів (рис. 3.6, рис. 3.7).



Рисунок 3.6 – Приклад реалізації кабельного телебачення в мережі PON



Рисунок 3.7 – Приклад реалізації IPTV через пасивну оптичну мережу

3.6 Специфіка реалізації PON у приватній забудові

Поширеною практикою реалізації розподільчої мережі у щільно забудованих приватних секторах є повітряне прокладання оптичного кабелю вздовж опор ліній електропередач напругою 0,38 кВ або повітряних ліній зв’язку.

Ключовою особливістю такого способу є розміщення волоконно-оптичного кабелю нижче проводів ЛЕП на відстані щонайменше 1 метра. Зазвичай висота прокладання кабелю над рівнем землі становить від 4 до 6 метрів.

У випадку використання технології PON зазвичай достатньо прокласти один оптичний розподільчий кабель уздовж усієї траси. Відгалуження абонентських ліній формуються з одного з’єднувального елемента (муфти, боксу, ОРК) і обслуговують групи з 4–8 абонентів. Встановлення таких пристроїв на кожній опорі є недоцільним.

Кріплення кабелю на опорах здійснюється за допомогою траверс або кронштейнів. Для укладання технологічного запасу кабелю використовуються пристрої типу УПМК або шафи типу ШРМ. Важливо, щоб ці елементи не перешкоджали підйому монтажного персоналу під час обслуговування ЛЕП.

Для підвищення електробезпеки зазвичай застосовуються повністю діелектричні типи кабелів (наприклад, самонесучі або з діелектричним тросом), що також знімає потребу у заземленні елементів мережі.

Монтаж оптичного кабелю на опорах потребує погодження технічних умов з відповідними експлуатуючими організаціями. Водночас у багатьох випадках наявна інфраструктура перебуває в незадовільному стані, а її охоплення може бути неповним. Зведення нових опор у вже забудованих районах часто є складним і економічно невиправданим.

При повітряному способі прокладання необхідно враховувати фізико-механічні характеристики кабелів:

— допустиме розтягувальне навантаження (визначається довжиною прольоту);

— температурний діапазон експлуатації.

Усі розрахунки провисання та натягу кабелю мають бути виконані індивідуально для кожного прольоту. Розміщення муфт або розподільчих боксів може реалізовуватися у трьох варіантах:

— на опорі на висоті 4–6 м із запасом кабелю, змонтованим на хрестовині (типу УПМК) або в шафі (типу ШРМ);

— на висоті 1,5–2 м у захищеному шафовому виконанні;

— в окремій наземній шафі біля основи опори.

Абонентські підключення до житлових будинків у повітряному виконанні можуть здійснюватися:

— безпосередньо до зовнішньої стіни будинку за допомогою кріплень (анкер, петля, консоль);

— з даху (за наявності відповідної опори або стійки);

— підземним способом із виходом на фасад або до підвального приміщення через фундамент.

У разі забудови типу секційних котеджів (суміжні малоквартирні будинки) схема підключення залежить від архітектурних та будівельних особливостей і має бути адаптована відповідно до місцевих умов після обстеження об'єкта.

Необхідно передбачити повне покриття району: мережа має забезпечувати можливість підключення будь-якого домогосподарства без перебудови або значних витрат у майбутньому. Будь-яке компромісне рішення неминуче призведе до ускладнень і додаткових витрат при розширенні мережі.

3.7 Активна оптична мережа (AON) як альтернатива в умовах приватної забудови

В архітектурі AON передача сигналу відбувається через активні мережеві пристрої (рис. 3.8). Це дозволяє організувати з’єднання за схемою "точка-точка" з

використанням комутаторів або маршрутизаторів.

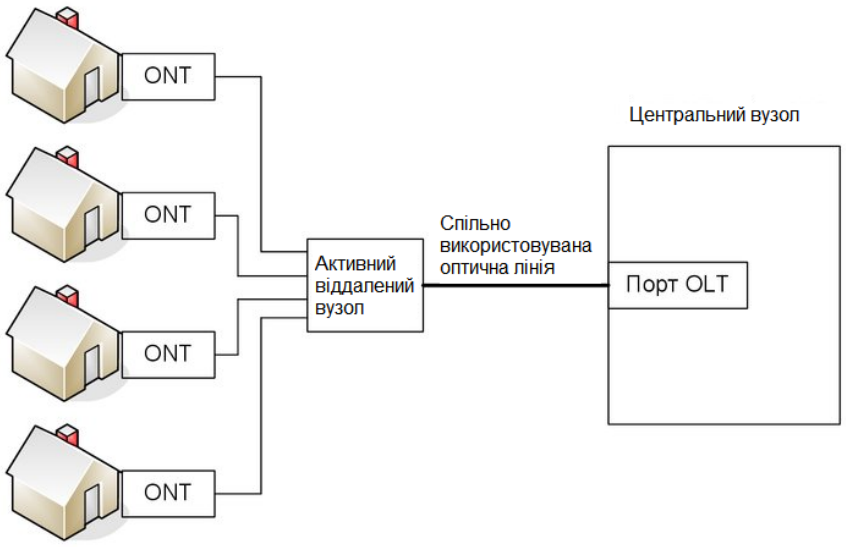


Рисунок 3.8 – Схема побудови активної оптичної мережі доступу (AON)

AON широко застосовується в Ethernet FTTH-мережах, що використовують оптичне волокно до кожного абонента. Такі мережі підходять як для приватних будинків, так і для багатоквартирних забудов.

3.8 Технологія Ethernet FTTH у системах повітряного підключення

Повітряна реалізація мережі Ethernet FTTH (рис. 3.9) передбачає кріплення декількох оптичних кабелів до несучого троса у вигляді щільного пучка. Це дозволяє мінімізувати матеріальні витрати, полегшує монтаж і скорочує час реалізації проекту.

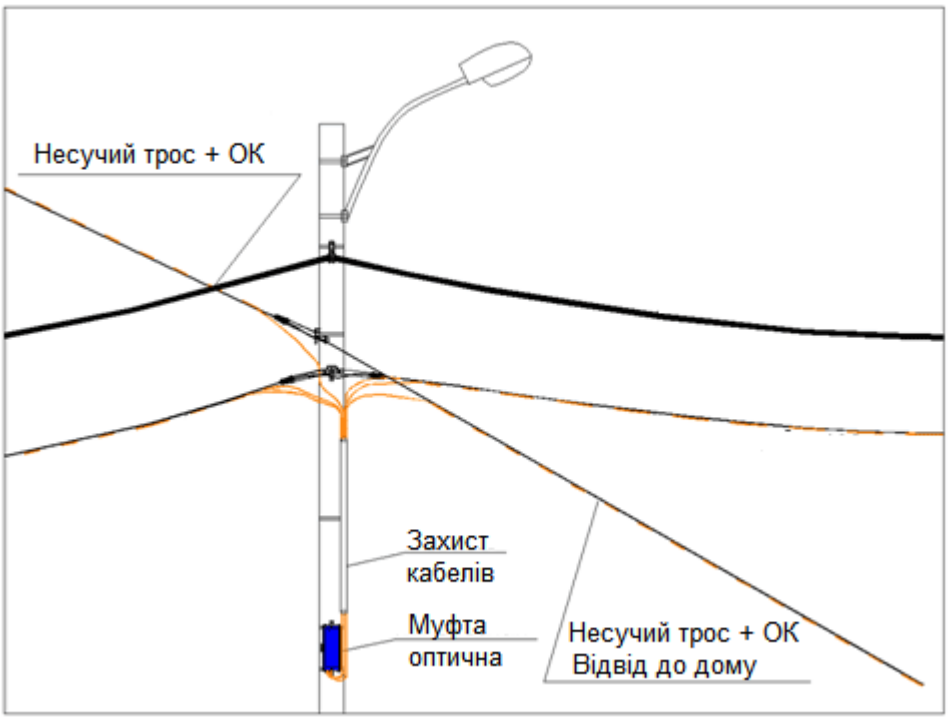


Рисунок 3.9 – Повітряне виконання FTTH-системи з фіксацією кабелів до троса

Серед методів кріплення (рис. 3.10):

— за допомогою кліпс або стяжок;

— скручуванням дротом;

— навивкою кабелю на несучий елемент вручну або машинкою.

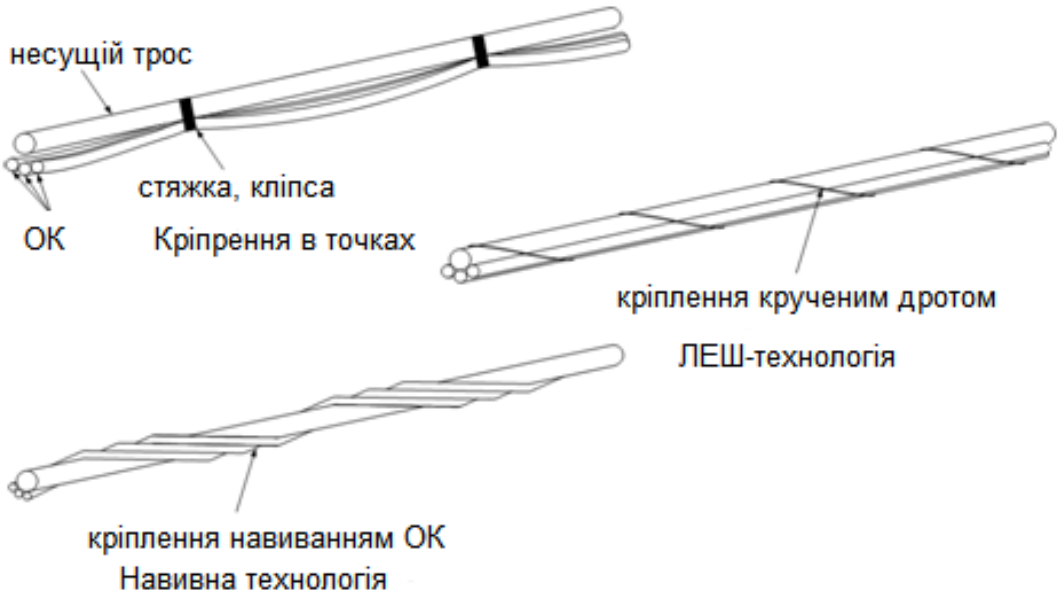


Рисунок 3.10 – Методи фіксації оптичних кабелів до несучого троса

Реалізація повітряного розподілу кабельної мережі зображена на рис. 3.11.

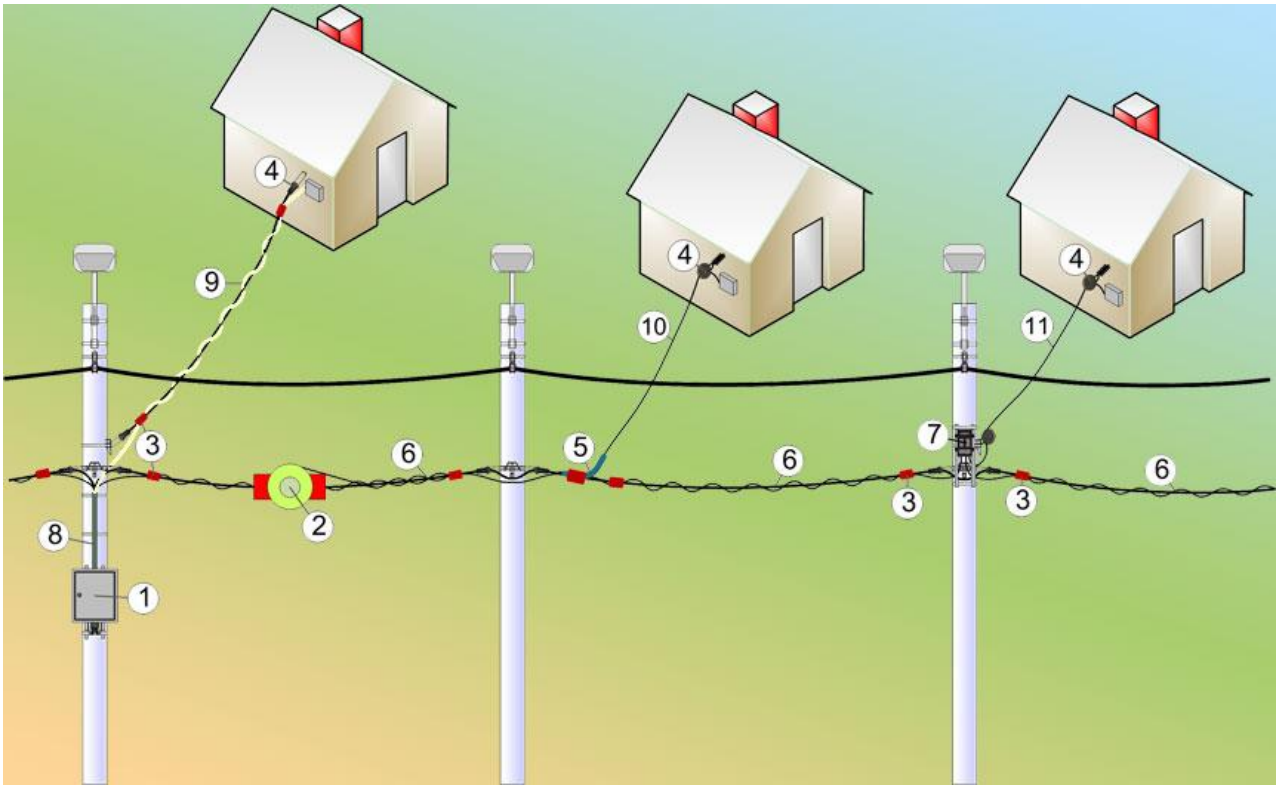


Рисунок 3.11 – Типова структура повітряної кабельної мережі FTTH у приватному секторі

4 СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЇ ETHERNET FTTH АБО PON ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ АБОНЕНТСЬКОГО ДОСТУПУ В НОВОМУ РАЙОНІ МІСТА

Для здійснення системного аналізу доцільності впровадження технологій Ethernet FTTH та PON при проектуванні мережі абонентського доступу в умовах малонаселеного міського району було обрано новий район у м. Києві. У межах цієї території передбачається підключення до мережі семи житлових будинків.

З метою вибору оптимальної технології проведено порівняльний аналіз за рядом технічних та економічних параметрів.

1. Обладнання та його вартість

У випадку впровадження архітектури пасивної оптичної мережі (PON) пристрій CPE (ONT) відіграє ключову роль, оскільки він безпосередньо функціонує у спільному передавальному середовищі та взаємодіє з іншим обладнанням. Пристрої ONT повинні реалізовувати низку специфічних функцій, зокрема:

— підтримка протоколу керування доступом до середовища передачі;

— наявність лазерів пакетного режиму (burst-mode lasers), що забезпечують передачу сигналу у визначені часові інтервали, встановлені OLT;

— підвищена оптична потужність сигналу (на 20,4 дБ вища за Ethernet-інтерфейси);

— інтегровані механізми шифрування;

— висока швидкість обробки даних [24].

Усе це значно впливає на вартість пристроїв ONT у порівнянні з CPE, що використовуються в Ethernet FTTH. Крім того, через відносну новизну стандарту GPON спостерігається проблема сумісності обладнання різних виробників, аналогічна тій, яка мала місце при ранньому впровадженні ADSL.

Із міркувань безпеки оператори зазвичай самостійно закуповують і розгортають ONT-пристрої, обмежуючи можливість абонентам використовувати

стороннє обладнання. Це дозволяє гарантувати стабільність функціонування всієї системи.

У разі реалізації Ethernet FTTH як CPE можуть бути використані масові недорогі пристрої. Навіть якщо вони не належать провайдеру, їхня поведінка легко контролюється через комутатори доступу: при виявленні небажаної активності порт може бути відключено. У разі потреби оператор також може централізовано встановлювати і обслуговувати Ethernet CPE для уніфікації абонентського обладнання.

Розвиток функціональності споживчих пристроїв Ethernet FTTH йде синхронно з розвитком ринку побутової електроніки, що спрощує масштабування мережі. У противагу цьому, розвиток PON передбачає оновлення ONT-пристроїв з боку провайдера, що ускладнює процес через необхідність фізичного втручання.

У зв’язку з цим доцільним є поділ функцій між ONT та CPE: перше здійснює базову передачу даних, друге — реалізує маршрутизацію та сервісні функції. Такий підхід забезпечує більшу гнучкість у конфігурації мережі.

У рамках розгортання мережі Ethernet FTTH у розглянутому районі достатньо встановити один комутатор D-Link DGS-3000-10L із вісьмома портами Gigabit Ethernet. Вартість пристрою становить 7000 гривні (рис. 4.1).



Рисунок 4.1 – Комутатор доступу D-Link DGS-3000-10L для реалізації Ethernet FTTH

У приміщеннях кінцевих абонентів передбачається встановлення маршрутизаторів D-Link DSL-2640U/R1 вартістю 736 гривень за одиницю; загалом

необхідно 7 пристроїв. WAN-порт кожного маршрутизатора забезпечуватиме підключення до комутатора DES-3200-28F, тоді як LAN-порти використовуватимуться для підключення до персональних комп'ютерів користувачів. Для організації оптичного з'єднання між абонентами та комутатором передбачено використання одноволоконних WDM-SFP-модулів D-Link DEM-310GT/DD, кожен з яких коштує 636 гривень; загальна кількість модулів — 7 одиниць.

Сумарна вартість усіх компонентів мережі, реалізованої з використанням технології Ethernet FTTH, становить 16604 гривень.

Для варіанта побудови мережі доступу за технологією PON (рис. 4.2) передбачено застосування наступного обладнання:

— OLT UFiber OLT GPON (UF-OLT) виробництва Ubiquiti Networks — 1 одиниця вартістю 84798 гривень;

— Оптичні спліттери PLC 1×4 SC/UPC, 900 μm, G657A FiberField — 3 одиниці по 230 гривень;

— Абонентські термінали HG8346 GPON ONU Huawei — 7 одиниць, кожен вартістю 1239 гривень.

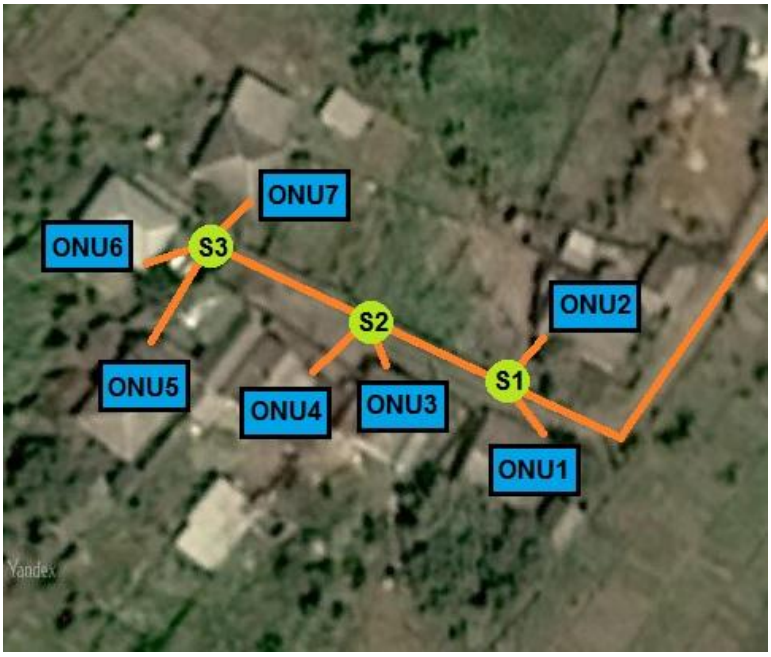


Рисунок 4.2 – Компоненти мережі абонентського доступу, реалізованої на основі технології PON

Загальна вартість обладнання, необхідного для побудови мережі на основі технології PON, становить 94161 гривень. Відповідно до параметра вартості апаратного забезпечення, технологія Ethernet FTTH має перевагу, оскільки її впровадження обходиться значно дешевше.

2. Питання інформаційної безпеки.

У мережах, реалізованих за технологією PON, пропускна смуга розподіляється між усіма абонентами, що негативно впливає на рівень фізичної безпеки передавання даних. Натомість архітектура Ethernet FTTH передбачає виділення окремого оптичного волокна для кожного користувача, що забезпечує високий ступінь ізоляції каналів і, як наслідок, покращену захищеність інформації. Отже, за критерієм безпеки перевага надається Ethernet FTTH.

3. Швидкість ліквідації аварійних ситуацій, пов’язаних із пошкодженням кабелю.

Порівняльний аналіз двох технологій дозволяє визначити різні сценарії розвитку подій. У випадку, коли пошкодження оптичного кабелю відбулося в безпосередній близькості до вузла доступу, мережа Ethernet FTTH виявляється менш зручною в обслуговуванні через велику щільність кабелів, що значно ускладнює пошук та заміну пошкодженого сегмента. Натомість у мережах PON у цьому сегменті використовується лише одна волоконно-оптична лінія. У зворотному випадку, коли аварія трапляється ближче до абонента, ситуація змінюється: Ethernet FTTH дозволяє швидше локалізувати проблему, тоді як у мережі PON наявність розгалужувальної інфраструктури на основі спліттерів значно ускладнює діагностику несправностей [25]. Таким чином, цей параметр не є визначальним для остаточного вибору технології в умовах малонаселених міських районів.

4. Обсяг використання оптоволоконного кабелю.

За даним критерієм технологія PON має безумовну перевагу, оскільки передбачає використання лише одного оптичного волокна на сегмент від OLT до розгалужувача [5]. Для архітектури Ethernet FTTH, яка ґрунтується на принципі "точка-точка", кількість необхідних ліній зв’язку прямо пропорційна кількості

підключених абонентів. Зокрема, у розглянутому прикладі для Ethernet FTTH, схема підключення зображена на (рис. 4.3), потребує 650 метрів оптичного кабелю. Натомість побудова мережі за технологією PON з використанням топології "дерево" (рис. 4.2) потребує лише 265 метрів. Хоча на обмеженій території ця різниця здається незначною, зі зростанням протяжності мережі витрати на кабель у Ethernet FTTH зростають лінійно, а отже — в 7 разів більше, порівняно з PON, при тих самих умовах підключення. Таким чином, з економічної точки зору щодо витрат оптичного кабелю оптимальнішою є технологія PON.



Рисунок 4.3 – Траєкторія розгортання ліній зв’язку в мережі Ethernet FTTH

5. Ізоляція абонентських з’єднань

Ізоляція абонентських ліній є характерною рисою архітектури Ethernet FTTH. Реалізація цього принципу в мережах PON ускладнена через спільне використання середовища передавання даних у топології типу «дерево». Можливість чіткого відділення каналів зв’язку кожного користувача стала ключовим аргументом на користь вибору технології Ethernet FTTH для низки європейських телекомунікаційних провайдерів, які орієнтувались на створення відкритої інфраструктури з потенціалом обслуговування декількома операторами.

6. Необхідність організації вузлів присутності

У мережах Ethernet FTTH кожен абонент отримує окрему оптичну лінію, що призводить до концентрації великої кількості волокон на майданчиках провайдера.

Для обслуговування такого обсягу оптичних каналів необхідне використання сучасних модульних оптичних розподільчих систем, які здатні забезпечити ефективну організацію тисяч підключень в одному вузлі доступу [10]. У разі відсутності відповідної інфраструктури виконання таких завдань суттєво ускладнюється.

7. Розподіл смуги пропускання

У пасивних оптичних мережах (PON) загальна смуга пропускання поділяється між усіма користувачами. Це призводить до зниження ефективної пропускної здатності на одного абонента, особливо у пікові години навантаження. Крім того, частина ресурсу зазвичай резервується для підтримки потокових сервісів. На відміну від цього, технологія Ethernet FTTH передбачає виділення дискретної смуги пропускання для кожного користувача через індивідуальне оптичне волокно. Такий підхід забезпечує максимальну пропускну здатність та гарантує якість надання послуг, що робить Ethernet FTTH переважним варіантом за цим критерієм. Узагальнені результати порівняльного аналізу ключових параметрів представлено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати порівняльного аналізу

Параметр	Ethernet FTTH	PON
Вартість	16604 грн	94161 грн
Безпека	Високий рівень за рахунок виділеної лінії	Низький
Загальна довжина оптоволоконного кабелю	650 м	265 м
Дискретна смуга пропускання	Індивідуальна, практично необмежена для кожного абонента	Зменшується зі збільшенням кількості абонентів
Потреба в обладнанні на точках присутності	Потребує обслуговування великої кількості оптичних з’єднань та відповідної інфраструктури	Пасивна мережа, відсутність активного обладнання спрощує обслуговування

На основі проведеного системного аналізу ефективності впровадження технологій Ethernet FTTH та PON для побудови мережі абонентського доступу у малонаселеному районі міста було встановлено, що найдоцільнішим вибором у заданих умовах є застосування технології Ethernet FTTH. Такий висновок обумовлено низкою переваг, зокрема: високою надійністю передавання даних, відносно невисокою вартістю необхідного обладнання, а також можливістю забезпечення кожному абоненту виділеної оптичної лінії з високою пропускною здатністю.

У той же час, за умови збільшення кількості абонентів, наприклад у випадку розгортання мережі в межах селища або невеликого населеного пункту, більш економічно виправданим рішенням буде використання архітектури PON. Це пов’язано з тим, що технологія пасивної оптичної мережі дозволяє зменшити витрати на активне обладнання за рахунок використання пасивних елементів у вузлах розгалуження, що істотно скорочує загальні капітальні витрати при масштабуванні мережі.

ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження встановлено, що для побудови мережі абонентського доступу в умовах нового району доцільно використовувати волоконно-оптичну інфраструктуру. Розгляд переваг та недоліків основних технологій доступу — зокрема PON, ADSL, Ethernet FTTH, Wi-Fi та PoE — засвідчив перевагу технологій Ethernet FTTH та PON за відповідністю критеріям ефективності, надійності та вартості.

Порівняльний аналіз варіантів побудови мережі на основі технологій PON та Ethernet FTTH виявив, що найоптимальнішим рішенням для реалізації мережі в новому районі є застосування Ethernet FTTH. Ця технологія забезпечує високий рівень безпеки, значну пропускну здатність, простоту обслуговування та прийнятну вартість впровадження.

Таким чином, обраний підхід дозволяє ефективно вирішити проблему реалізації сучасної, надійної та масштабованої мережі доступу в умовах забудови з обмеженою щільністю населення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вишневський В.М. Теоретичні основи проектування комп'ютерних мереж. – К.: Техносфера, 2003. – 512 с.
2. Ткаченко А.В. Комп'ютерні мережі: моделювання, управління, безпека. – К.: КНУ, 2015. – 412 с.
3. Стєклов В.К., Беркман Л.Н. Проєктування телекомунікаційних мереж. – К.: Техніка, 2002. – 392 с.
4. Романов А.І. Телекомунікаційні мережі й управління. – К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2003. – 247 с.
5. Бондаренко С.В. Основи побудови сучасних інформаційних мереж. – Львів: ЛНУ, 2016. – 385 с.
6. Савченко С.В. Мережеві технології передачі даних. – Харків: ХНУРЕ, 2014. – 276 с.
7. Герасименко О.П. Інформаційні мережі. – К.: НАУ, 2018. – 320 с.
8. Tanenbaum A.S., Wetherall D.J. Computer Networks. – 5th ed. – Pearson, 2011. – 960 p.
9. Comer D.E. Internetworking with TCP/IP – Principles, Protocols, and Architecture. – 6th ed. – Pearson, 2013. – 792 p.
10. Kurose J.F., Ross K.W. Computer Networking: A Top-Down Approach. – 8th ed. – Pearson, 2020. – 864 p.
11. Stallings W. High-Speed Networks and Internets: Performance and Quality of Service. – 2nd ed. – Prentice Hall, 2002. – 560 p.
12. Held G. Network Design: Principles and Applications. – McGraw-Hill, 2005. – 528 p.
13. Olifer N., Olifer V. Computer Networks: Principles, Technologies and Protocols for Network Design. – Wiley, 2005. – 1008 p.
14. Minoli D. Telecommunications Technology Handbook. – 2nd ed. – Artech House, 2003. – 680 p.

15. ITU-T Recommendation G.984: Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON). – International Telecommunication Union, Geneva, 2019.

16. ITU-T Recommendation X.700: Management Framework for Open Systems Interconnection (OSI). – ITU, Geneva, 2019.

17. IEEE 802.3ah – Ethernet in the First Mile. – IEEE Standard, 2004.

18. IEEE 802.1Q – Virtual Bridged Local Area Networks. – IEEE Standard, 2018.

19. RFC 2475 – An Architecture for Differentiated Services. – IETF, 1998.

20. RFC 2547 – BGP/MPLS VPNs. – IETF, 1999.

21. Cisco Systems. FTTH Design Guide. – Cisco, 2017. – 42 p.

22. Ubiquiti Inc. UFiber GPON Solution Guide. – Ubiquiti, 2021. – 28 p.

23. Huawei Technologies. GPON Technical White Paper. – Huawei, 2020. – 36 p.

24. Mikrotik. FTTH Implementation Guide. – Mikrotik, 2019. – 33 p.

25. Calix Inc. Passive Optical Network Deployment Handbook. – Calix, 2018. – 58 p.

.

Додаток А

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ (ПРЕЗЕНТАЦІЯ)

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ



Навчально-науковий інститут Інформаційних технологій
Кафедра Комп'ютерної інженерії

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА

на тему: «Мережа абонентського доступу для нового району міста»

Виконав студент групи КІД-41
Василенко Вадим Юрійович

Керівник кваліфікаційної роботи:
Бабенко Віра Григорівна, Д.Т.Н.
професор кафедри КІ

Київ – 2025

Мета роботи – Аналіз сучасних технологій, що використовуються для побудови мереж доступу, та визначити оптимальний варіант реалізації мережі абонентського доступу для умов нового району міста.

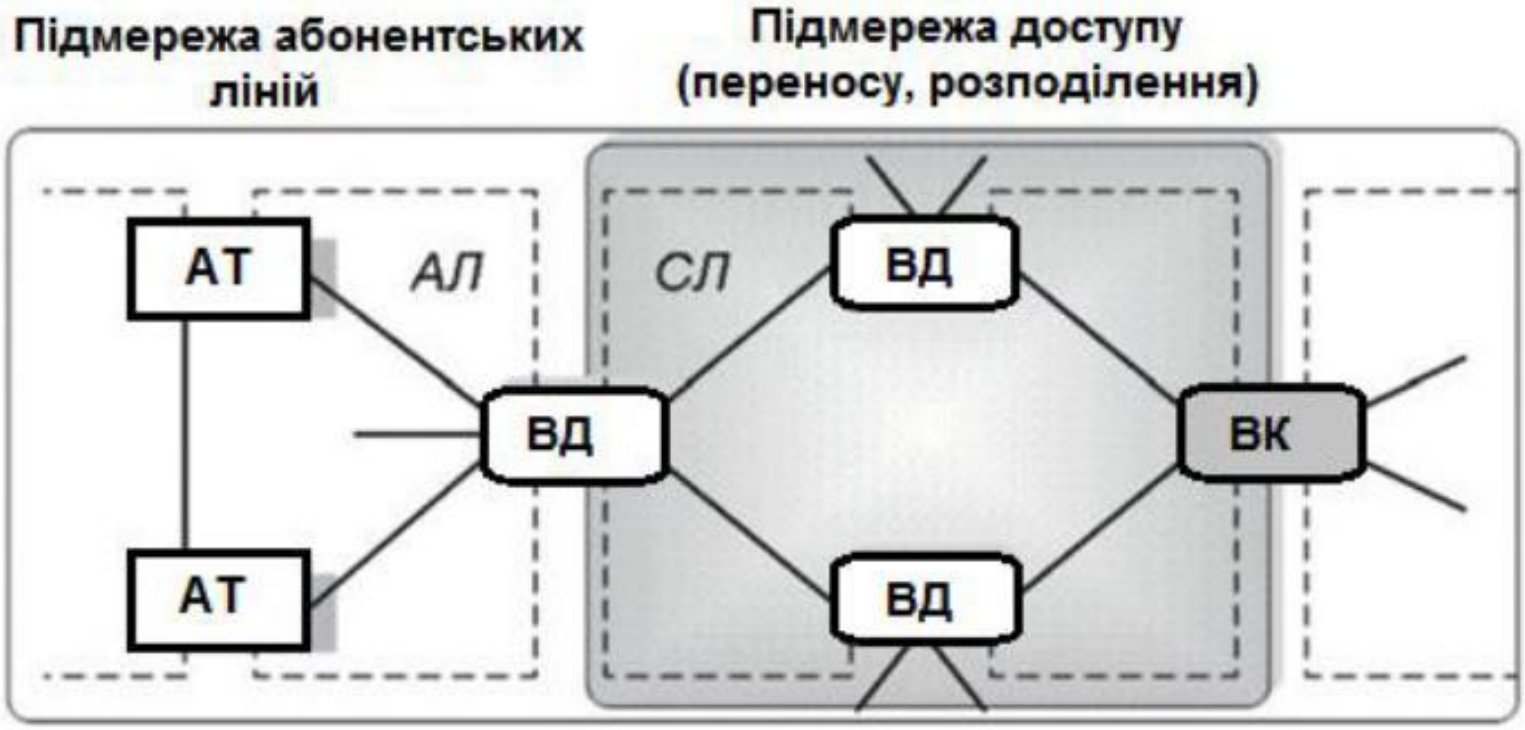
Об`єкт дослідження – Мережа абонентського доступу в новому районі міста

Предмет дослідження – методи побудови, порівняння та оцінки ефективності технологій Ethernet FTTH та PON у контексті їх застосування для організації мережі доступу в умовах малої щільності абонентів.

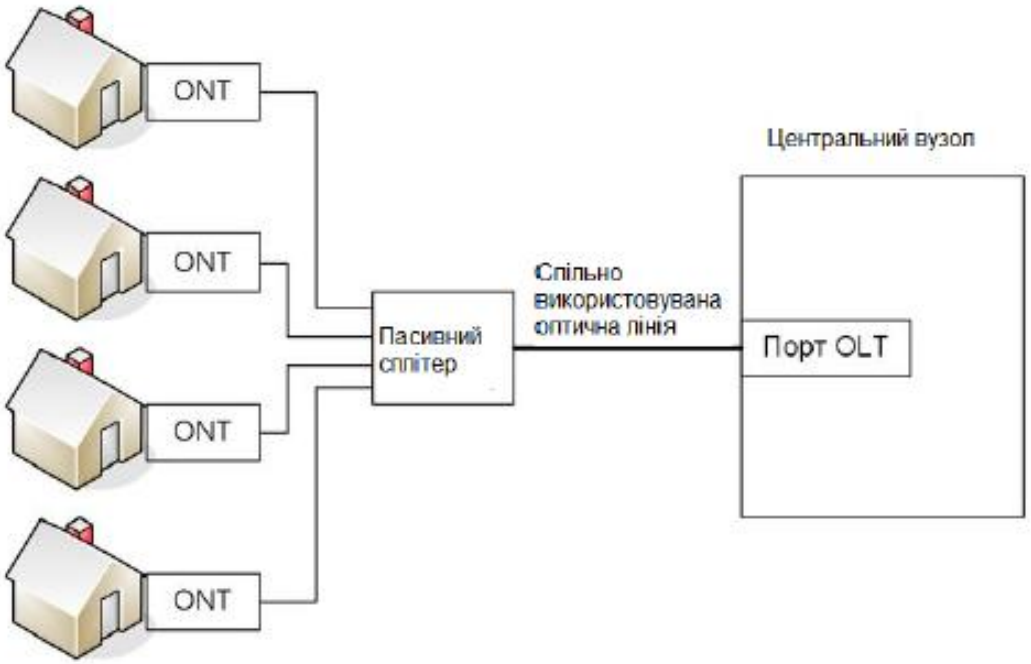
Актуальність обраної теми

У сучасних умовах швидкого зростання попиту на якісний високошвидкісний доступ до мережі Інтернет, особливо в умовах децентралізації, актуальним постає завдання ефективної організації мереж абонентського доступу в нових районах міст. Через низьку щільність абонентів у таких регіонах особливо важливо обрати технологію, яка забезпечить прийнятний рівень витрат, високу пропускну здатність та надійність зв'язку при мінімальному використанні ресурсів.

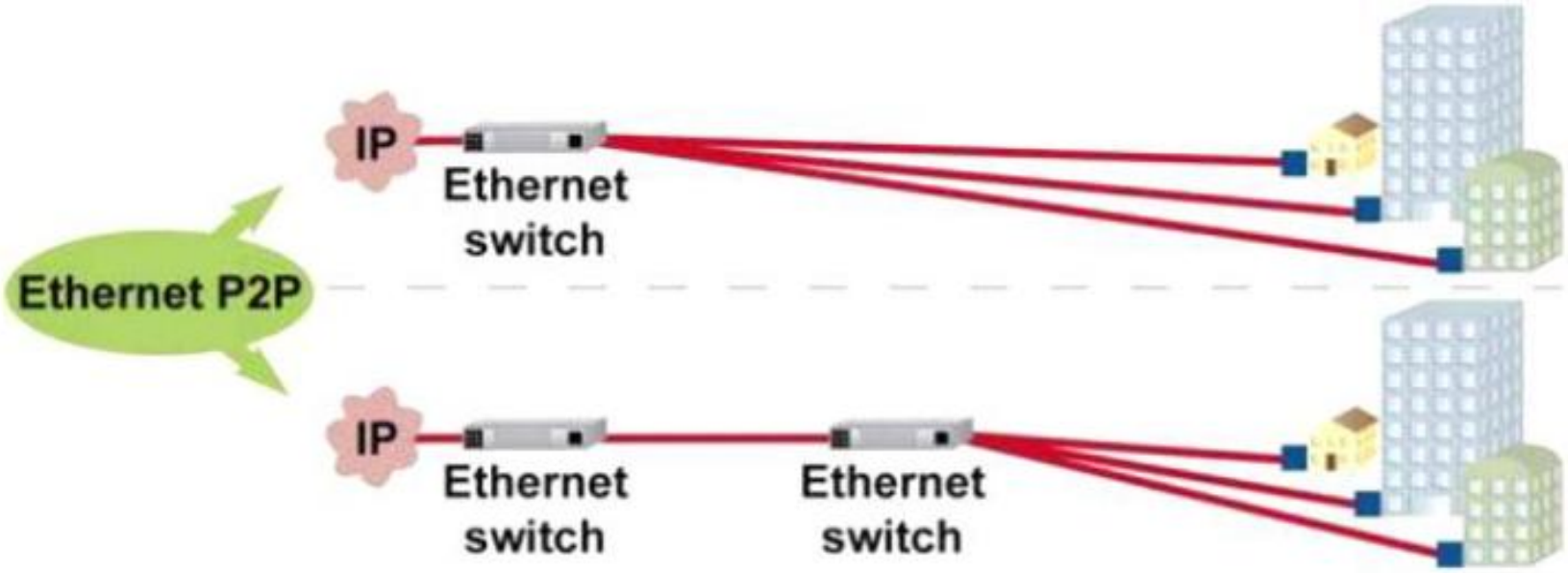
Структурно-функціональна схема МАД



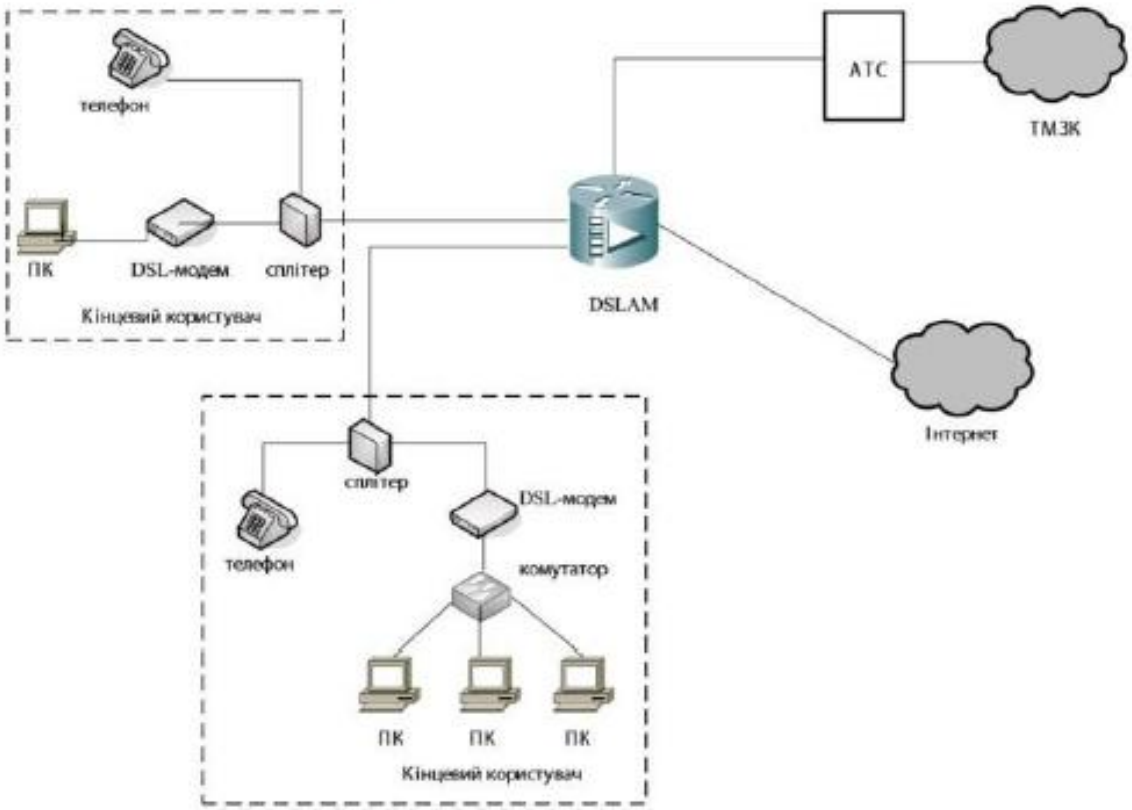
Пасивно оптична мережа



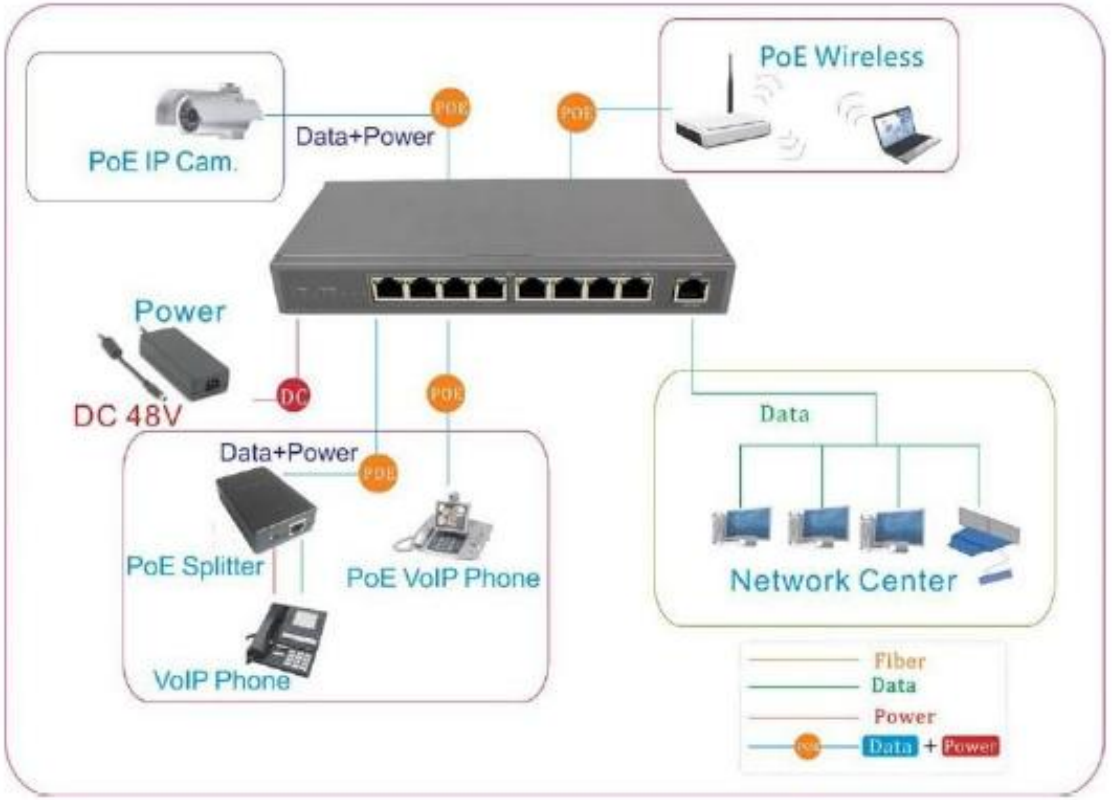
Принцип побудови каналу доступу за технологією Ethernet FTTH



Архітектура організації широкосмугового доступу за допомогою ADSL



Структура підключення пристроїв до PoE-комутатора



Мережа абонентського доступу для нового району міста



Порівняльний аналіз

Параметр	Ethernet FTTH	PON
Вартість	16604 грн	94161 грн
Безпека	Високий рівень за рахунок виділеної лінії	Низький
Загальна довжина оптоволоконного кабелю	650 м	265 м
Дискретна смуга пропускання	Індивідуальна, практично необмежена для кожного абонента	Зменшується зі збільшенням кількості абонентів
Потреба в обладнанні на точках присутності	Потребує обслуговування великої кількості оптичних з’єднань та відповідної інфраструктури	Пасивна мережа, відсутність активного обладнання спрощує обслуговування

ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження встановлено, що для побудови мережі абонентського доступу в умовах нового району доцільно використовувати волоконно-оптичну інфраструктуру. Розгляд переваг та недоліків основних технологій доступу — зокрема PON, ADSL, Ethernet FTTH, Wi-Fi та PoE — засвідчив перевагу технологій Ethernet FTTH та PON за відповідністю критеріям ефективності, надійності та вартості.

Порівняльний аналіз варіантів побудови мережі на основі технологій PON та Ethernet FTTH виявив, що найоптимальнішим рішенням для реалізації мережі в новому районі є застосування Ethernet FTTH. Ця технологія забезпечує високий рівень безпеки, значну пропускну здатність, простоту обслуговування та прийнятну вартість впровадження.

Таким чином, обраний підхід дозволяє ефективно вирішити проблему реалізації сучасної, надійної та масштабованої мережі доступу в умовах приватної забудови з обмеженою щільністю населення.