

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет комп'ютерної інженерії та управління
(повна назва)

Кафедра електронних обчислювальних машин
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Високошвидкісна комп'ютерна мережа підприємства
«Сіріус»

(тема)

Виконав:

здобувач 4 року навчання,

групи КІУКІ-21-6

Дар'я СОКОЛЕНКО

(власне ім'я, прізвище)

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Комп'ютерна інженерія

(повна назва освітньої програми)

Керівник: ас. Володимир АРГУНОВ

(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту

Завідувач кафедри ЕОМ

(підпис)

Андрій КОВАЛЕНКО

(власне ім'я, прізвище)

2025 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ комп'ютерної інженерії та управління _____

Кафедра _____ електронних обчислювальних машин _____

Рівень вищої освіти _____ перший (бакалаврський) _____

Спеціальність _____ 123 «Комп'ютерна інженерія» _____
(код і повна назва)

Тип програми _____ освітньо-професійна _____
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма _____ Комп'ютерна інженерія _____
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

“ _____ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві _____ Соколенко Дар'ї Олександрівні _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ Високошвидкісна комп'ютерна мережа підприємства «Сіріус» _____

затверджена наказом по університету від “ 26 ” травня 2025 р. № 424 Ст

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії _____ 17 червня 2025 р.

3. Вхідні дані до роботи _____

1. Розробка комп'ютерної мережі підприємства _____

2. Опис організаційної структури підприємства _____

3. Вимоги до швидкості передачі інформації в мережі _____

4. Перелік використаних програмних засобів: ОС Windows 10 _____

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі _____

1. Аналіз стану проблеми _____

2. Огляд сучасних та майбутніх технологій передачі даних _____

3. Огляд сучасних та майбутніх тенденцій побудови оптичних корпоративних мереж _____

4. Розробка загальної структури мережі підприємства _____

5. Аналіз та вибір апаратних засобів реалізації _____

6. Висновки _____

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій 12 слайдів

6. Консультанти розділів роботи (заповнюється за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Строк / терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз сучасного стану проблеми та методів її вирішення	26.05.24-29.05.24	
2	Аналіз роботи установи	30.05.24-03.06.24	
3	Розробка структури корпоративної мережі установи	04.06.24-07.06.24	
4	Вибір апаратних засобів реалізації мережі	08.06.24-09.06.24	
5	Оформлення матеріалів кваліфікаційної роботи	10.06.24-11.08.24	
6	Подання кваліфікаційної роботи керівникові та її попередній захист	12.06.24	
7	Подання кваліфікаційної роботи на рецензування	16.06.24	

Дата видачі завдання “ 26 ” травня 2025 р.

Здобувач _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

ас. Володимир АРГУНОВ _____
(посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 53 с., 19 рис., 1 табл., 1 дод., 8 джерел.

GPON, FTTH, FTTX, OTDR, АКТИВНА ОПТИЧНА МЕРЕЖА, ВОЛОКНО ДО ДОМУ, ПАСИВНА ОПТИЧНА МЕРЕЖА, СПЛІТТЕР.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка проекту оптичної мережі доступу. Розробка зосереджена на фізичному мережевому рівні та охоплює оптичні волокна, захист кабелів і з'єднання, оптичні сплітери, стійки та активні компоненти. Представлено ознайомлення з оптичними мережами, їх конфігураціями (FTTH, FTTB, FTTC, FTTN), відповідними мережевими стандартами та технологіями.

У роботі розглянуто проєкт побудови мережі доступу в багатоквартирному будинку із застосуванням технології FTTB (Fiber To The Building). Наведено технічне обґрунтування вибору мережевого обладнання та компонентів доступу. Описано маршрут прокладання кабельної інфраструктури та підібрано всі необхідні елементи для забезпечення надання телекомунікаційних послуг мешканцям будинку.

ABSTRACT

Bachelor's thesis: 53 pages, 19 figures, 1 tables, 1 appendices, 8 sources.

GPON, FTTH, FTTX, OTDR, active OPTICAL NETWORK, FIBER TO THE HOME, PASSIVE OPTICAL NETWORK, SPLITTER.

The purpose of the qualification work is to develop a project for an optical access network. The development is focused on the physical network layer and covers optical fibers, cable protection and connections, optical splitters, racks and active components. An introduction to optical networks, their configurations (FTTH, FTTB, FTTC, FTTN), relevant network standards and technologies is presented.

The paper considers a project to build an access network in an apartment building using FTTB (Fiber To The Building) technology. The technical justification for the choice of network equipment and access components is presented. The cable infrastructure route is described and all necessary elements are selected to ensure the provision of telecommunication services to the residents of the building.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ	7
ВСТУП	8
1 ФІЗИЧНИЙ РІВЕНЬ ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ	9
1.1 Оптичні волокна.....	9
1.2 Волокна зі ступінчастою зміною показника заломлення	10
1.3 Багатомодові волокна з градієнтною зміною показника заломлення	11
1.4 Одномодові волокна	11
2 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЇ ДОСТУПУ	13
2.1 Визначення концепції Triple-Play.....	13
2.2 Існуючі технології доступу	15
2.3 Архітектура FTTx.....	17
2.3.1 Ethernet FTTH	19
2.3.2 PON FTTH.....	22
2.3.3 Технологія FTTB.....	26
2.4 Активна оптична мережа.....	28
3 РОЗРОБКА ПРОЕКТУ МЕРЕЖІ ДОСТУПУ	32
3.1 Характеристика об'єкту проектування.....	32
3.2 Обґрунтування швидкості передачі	33
3.3 Розробка структурної схеми підключення абонентів	34
4 ВИБІР АКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ	37
4.1 Вибір активного мережевого обладнання	37
4.2 Вибір пасивного обладнання	42
ВИСНОВКИ.....	45
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	46
ДОДАТОК А Графічний матеріал кваліфікаційної роботи.....	47

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

APON – АТМ пасивна оптична мережа (англ. ATM Passive Optical Network)

BPON – широкосмугова пасивна оптична мережа (англ. Broadband Passive Optical Network)

CATV – громадське телебачення (англ. Community Access Television)

EPON – пасивна оптична Ethernet мережа (англ. Ethernet Passive Optical Network)

FTTB – волокно до будинку (англ. Fiber To The Building)

FTTC – волокно до шкафу (англ. Fiber To The Curb)

FTTH – волокно до квартири (англ. Fiber To The Home)

FTTN – волокно до вузла (англ. Fiber to the Node)

FTTO – волокно до офісу (англ. Fiber To The Office)

GPON – гігабітна пасивна оптична мережа (англ. Gigabit-capable Passive Optical Network)

PON – пасивні оптичні мережі (англ., Passive Optical Network)

ODN – оптична розподільча мережа (англ. Optical Distribution Network)

OLT – оптичний термінал (англ. Optical Line Terminal)

ONT – оптичний мережевий термінал (англ. Optical Network Terminal)

ВСТУП

Сучасний телекомунікаційний ринок характеризується динамічним розвитком – з'являються нові мережі, технології та гравці. Це зумовлює зростання конкуренції, що, у свою чергу, призводить до зниження тарифів на послуги. Найбільш помітні ці процеси у сфері мобільного зв'язку, однак подібні тенденції впливають і на прибутковість операторів фіксованого зв'язку – як телефонних компаній, так і інтернет-провайдерів. Основною причиною цього є зниження середньої виручки на одного абонента (ARPU, Average Revenue Per User), що викликає занепокоєння серед операторів усього світу.

У відповідь на ці виклики провайдери активно впроваджують послуги формату Triple Play (передача даних, голосовий зв'язок та телебачення по єдиній мережі). Досвід розвинених країн свідчить, що рівень тарифних надходжень від абонентів, які користуються Triple Play-послугами, значно перевищує доходи від користувачів традиційних мереж. Для українського ринку ця різниця може становити майже порядок у порівнянні з доходами від кабельного телебачення чи фіксованого телефонного зв'язку.

При побудові сучасної оптичної мережі використовується концепція максимального наближення оптоволокна до кінцевого користувача, яка позначається аббревіатурою FTTx (Fiber To The x) [1].

1 ФІЗИЧНИЙ РІВЕНЬ ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ

1.1 Оптичні волокна

Оптичне волокно є одним із ключових компонентів фізичного рівня сучасних телекомунікаційних мереж. Воно являє собою циліндричний хвилевід, однорідний у поздовжньому напрямку, який складається з серцевини, оболонки, а також первинного і вторинного захисного покриття. В основі волокна використовується хімічно чисте скло або пластик, що забезпечує високі оптичні властивості при мінімальних втратах сигналу.

Для забезпечення ефективного функціонування волокна як хвилеводу обов'язковою є умова повного внутрішнього відбиття. Це досягається завдяки різниці в показниках заломлення серцевини (n_1) та оболонки (n_2), де n_1 має бути більшим за n_2 . У такому випадку оптичний сигнал не залишає меж серцевини і поширюється вздовж волокна з мінімальними втратами.

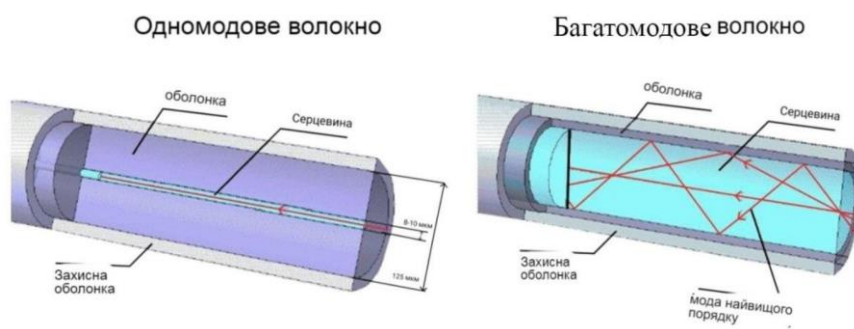


Рисунок 1.1 – Поперечний переріз оптичного волокна

Залежно від особливостей поширення світлового сигналу розрізняють два основні типи оптичних волокон (рисунок 1.1). Перший тип – одномодові волокна (Single Mode Fiber, SMF) – забезпечують передавання світла лише в одному моді, що дозволяє досягти надзвичайно великих відстаней передачі з мінімальними спотвореннями сигналу. Другий тип – багатомодові волокна (Multi Mode Fiber, MMF) – передають сигнал у кількох модах, завдяки чому

підходять для коротших відстаней, зокрема всередині будівель або кампусних мереж. У межах цієї категорії виділяють волокна з градієнтним або ступінчастим профілем зміни показника заломлення [1].

1.2 Волокна зі ступінчастою зміною показника заломлення

Багатомодові оптичні волокна зі ступінчастою зміною показника заломлення характеризуються тим, що мають різкий перехід між серцевиною та оболонкою, у результаті чого показник заломлення n різко зменшується на межі цих двох шарів. У таких волокнах світловий сигнал поширюється одночасно по багатьох модах, тобто по різних оптичних шляхах, які мають різну довжину. Це призводить до виникнення модової дисперсії — явища, при якому окремі моди досягають приймача в різний час, що призводить до розмиття імпульсів та обмеження максимальної швидкості передачі.

Із зростанням діаметра серцевини, що зазвичай становить 50 мкм або 62,5 мкм, кількість мод зростає, що, у свою чергу, посилює модову дисперсію. Через це смуга пропускання обмежується приблизно до 50 МГц/км, а загасання сигналу може досягати 3 дБ/км (рисунок 1.2).

Такі параметри роблять ступінчасті багатомодові волокна придатними переважно для передачі даних на короткі відстані – наприклад, у межах однієї будівлі або кампусу [2].

Вони використовуються там, де високі швидкості не є критично важливими, а основним пріоритетом є економічність та простота впровадження.

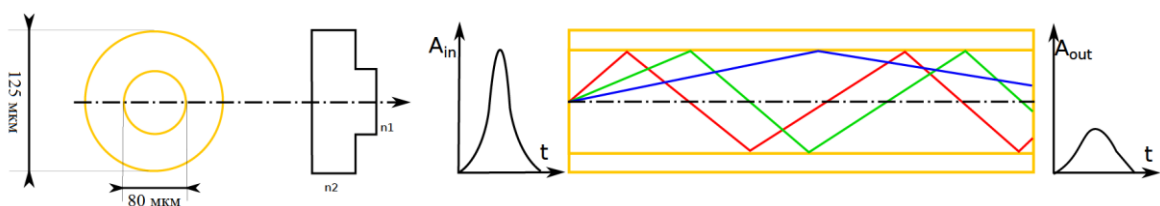


Рисунок 1.2 – Багатомодове волокно зі ступінчастою зміною показника заломлення

1.3 Багатомодові волокна з градієнтною зміною показника заломлення

Градієнтне багатомодове волокно характеризується поступовим зменшенням показника заломлення від центру сердцевини до її межі з оболонкою. У центрі волокна показник заломлення має максимальне значення (n_1), яке плавно знижується до мінімального значення (n_2) на межі оболонки (рисунок 1.3). Така структура забезпечує «плавне» направлення світлових променів: замість того, щоб різко відбиватися, як у ступінчастих волокнах, промені огинають сердцевину по криволінійних траєкторіях [1].

Завдяки цій траєкторії оптичні промені проходять коротший шлях, що дозволяє суттєво зменшити модову дисперсію. Навіть за однакових розмірів сердцевини та тієї ж різниці в показниках заломлення (δn), кількість мод у градієнтному волокні приблизно вдвічі менша, ніж у ступінчастому. Це сприяє кращій фокусованості сигналу та зменшенню викривлень під час передачі. Такі волокна здатні передавати дані з пропускну здатністю понад 1 ГГц, що робить їх придатними для середніх відстаней зв'язку та застосування технологій з мультиплексуванням сигналів. Завдяки цьому градієнтні волокна часто використовуються в мережах підприємств.

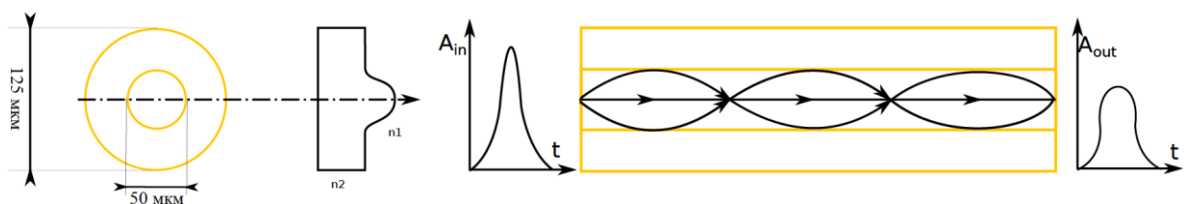


Рисунок 1.3 – Багатомодове волокно з градієнтною зміною показника заломлення

1.4 Одномодові волокна

Одномодове оптичне волокно має дуже малий діаметр сердцевини – близько 9 мкм – і пропускає лише одну моду електромагнітної хвилі (рисунок 1.4). Такий підхід мінімізує модальну дисперсію, що дозволяє

досягти великої смуги пропускання та дуже низьких втрат сигналу (введеного загасання) при передачі на великі відстані. Завдяки цим властивостям одномодові волокна ідеально підходять для високошвидкісної та далекобійної передачі даних. Проте введення світлового сигналу в настільки вузьке волокно є складним завданням, тому для їхньої роботи зазвичай використовуються лазерні джерела світла, які забезпечують вузьку спрямовану хвилю.

Сьогодні одномодові волокна є домінуючим вибором у мережах передачі даних на великі відстані, зокрема в інфраструктурах типу FTTx (Fiber to the x), де оптоволокно прокладається максимально близько до кінцевого користувача.

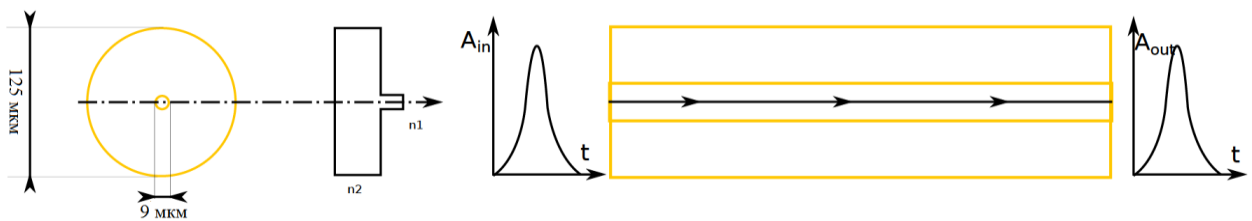


Рисунок 1.4 –Одномодове волокно

Спочатку оптичні волокна використовувалися відповідно до стандартів ITU-T G.652.A та G.652.B, однак ці модифікації не забезпечували повного використання всього спектру довжин хвиль, зокрема розширеного діапазону E-band [2].

Для усунення цих обмежень було розроблено вдосконалені типи волокон – G.652.C та G.652.D, відомі також як Low Water Peak (LWP). Завдяки зниженому вмісту гідроксильних іонів ($-OH$) у склі, вони демонструють покращену прозорість і дозволяють ефективно передавати сигнал у широкому діапазоні довжин хвиль, включаючи 1310 нм і 1550 нм, із загасанням приблизно 0,35 дБ/км та 0,27 дБ/км відповідно.

Ще кращі оптичні характеристики мають волокна Zero Water Peak, у яких повністю усунуто поглинання у водяній смузі.

2 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЇ ДОСТУПУ

2.1 Визначення концепції Triple-Play

Світовий досвід упровадження послуг Triple Play демонструє значний потенціал для розширення абонентської бази операторів, залучення нових користувачів та утримання наявних клієнтів. Такі послуги вважаються перспективними, оскільки сприяють модернізації інфокомунікаційної інфраструктури та дозволяють формувати нові підходи до надання сервісів без необхідності суттєвої перебудови існуючих мереж. Одночасно це забезпечує зростання доходів за рахунок розширення спектра послуг та підвищення їх привабливості для користувачів, що, своєю чергою, сприяє підвищенню конкурентоспроможності операторів зв'язку.

Концепція Triple Play базується на інтеграції трьох ключових напрямів телекомунікаційних послуг – голосового зв'язку, передачі даних і відео – в єдиній мультисервісній інфраструктурі. Це означає перехід від моделі, в якій кожна послуга реалізується через окрему інфраструктуру, до використання єдиної універсальної платформи, побудованої на принципах мереж наступного покоління (NGN) [3]. Такий підхід передбачає горизонтальну організацію сервісів на рівні транспорту і доступу, що є важливим етапом на шляху до сервісної конвергенції.

Особливістю концепції Triple Play є впровадження механізму композиції та декомпозиції послуг. Згідно з цією моделлю, будь-який телекомунікаційний сервіс може бути розкладений на три базові складові – мовлення, дані й відео (рисунок 2.1).

Після передавання мережевими шляхами ці компоненти об'єднуються на стороні користувача у цілісну послугу, що дозволяє створити гнучку і масштабовану архітектуру для формування нових сервісів без додаткових витрат на зміну інфраструктури.

Таким чином, створення уніфікованої платформи на основі IP-технологій забезпечує відкритість до майбутнього розвитку. Універсальність підходу Triple Play полягає в тому, що розроблені механізми передавання базових послуг є придатними для реалізації будь-яких нових сервісів у межах єдиного технологічного середовища [3]. Це відкриває широкі перспективи для подальшого розвитку телекомунікаційної галузі та формування нових підходів до організації інфокомунікаційних систем.

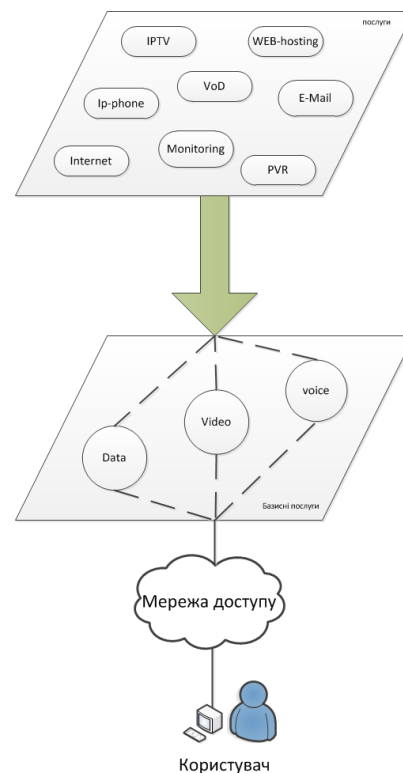


Рисунок 2.1 – Декомпозиція послуг у концепції Triple Play

Сутність концепції Triple Play полягає у її чіткій орієнтації на кінцевого користувача. Саме користувач формує вимоги до отримуваних послуг і, відповідно, визначає критерії їх якості. Це обумовлює зростаючу актуальність проблеми управління якістю сервісів у мережах, що надають Triple Play-послуги. З урахуванням запитів споживачів оператори повинні встановлювати відповідні вихідні параметри, які задають необхідний рівень якості обслуговування, а мережеві елементи мають забезпечувати їхнє дотримання.

Згідно з рекомендацією ІТУ-Т G.1000 «Якість обслуговування засобів зв'язку: структура та визначення», поняття якості обслуговування охоплює не лише технічні характеристики наданих послуг, а й якість взаємодії абонента з оператором зв'язку. Серед ключових аспектів, що формують це поняття, виокремлюються: доступність попередньої інформації про перелік пропонуваних послуг, зрозумілість і гнучкість умов договору, можливість швидкого підключення користувача до мережі, гарантування безпеки інформаційного обміну, ефективність роботи служб підтримки з мінімальним часом реагування, а також точність нарахування та виставлення рахунків за спожиті послуги.

Таким чином, забезпечення високої якості обслуговування в рамках Triple Play вимагає комплексного підходу, який включає як технічну реалізацію сервісів, так і організацію взаємодії з користувачем на всіх етапах надання послуги.

2.2 Існуючі технології доступу

Концепція Triple Play, викладена в рекомендації ІТУ-Т Y.1541, ґрунтується на принципах конвергенції й передбачає використання єдиної мультисервісної інфраструктури для надання трьох основних типів послуг – мовлення, передавання даних і відео. Ця інфраструктура повинна забезпечувати їх інтеграцію як на рівні транспортної мережі, так і на рівні мережі доступу. Однією з ключових вимог є незалежність цих послуг від типу мережі абонентського доступу. Однак на практиці не всі типи мереж доступу дозволяють реалізувати керування якістю сервісу, що є критичним для надання мультисервісних послуг, зокрема Triple Play.

З огляду на це, проєкт зосереджений на розробці ефективної мережі доступу, і тому виникає необхідність обґрунтованого вибору відповідної технології. Зокрема, основну складність становить вирішення проблеми організації так званої «останньої милі», яка часто стає вузьким місцем у

структурі телекомунікаційної мережі. Саме ця ділянка пов'язана з найбільшими фінансовими витратами, що суттєво перевищують витрати на побудову магістральних мереж.

Серед найбільш поширених технологій доступу, які потенційно можуть бути реалізовані, розглядаються рішення на основі мідних пар (xDSL), гібридні волоконно-коаксіальні мережі (HFC), безпроводні технології та волоконно-оптичні лінії [1].

Використання технологій xDSL, попри їхню простоту та економічність, виявляється недостатньо ефективним у контексті забезпечення високих швидкостей на великих відстанях. Низька якість ліній, чутливість до завад і обмеження у пропускній здатності не дозволяють гарантувати стабільне надання мультимедійних сервісів, особливо в умовах зростання вимог користувачів до швидкості й якості зв'язку.

Гібридні волоконно-коаксіальні мережі є актуальними лише за наявності попередньо змонтованої кабельної інфраструктури. Хоча вони дозволяють знизити витрати на одного абонента, такі мережі мають обмеження щодо пропускної здатності, особливо в умовах масового підключення. Зважаючи на те, що проєктована мережа створюється «з нуля» і орієнтована на надання сучасних сервісів, подібний варіант є недоцільним.

Безпроводні мережі доцільні в умовах обмежень на прокладання кабельної інфраструктури або при забезпеченні мобільних користувачів. Завдяки розвитку широкосмугових технологій останнім часом бездротові рішення значно наблизилися за характеристиками до дротових, однак все ще поступаються їм за стабільністю якості зв'язку, особливо в густозаселених міських районах.

Єдиним технологічним напрямом, який повною мірою задовольняє сучасні вимоги до пропускної здатності, масштабованості та керування якістю обслуговування, є використання волоконно-оптичних мереж доступу. Хоча ще донедавна такий підхід вважався дорогим, зниження вартості оптичних компонентів зробило його економічно доцільним навіть у

житловому секторі. Волоконно-оптична інфраструктура дозволяє забезпечити значний резерв пропускної здатності та є готовою до впровадження нових високошвидкісних сервісів. Сучасні рішення реалізуються як за допомогою оптичного Ethernet або MicroSDH, так і через архітектуру пасивних оптичних мереж (PON), які набувають все більшого поширення.

З урахуванням того, що об'єктом проектування є багатоквартирний житловий будинок із високою щільністю абонентів на обмеженій території, найбільш доцільним є застосування волоконно-оптичного рішення. Такий підхід дозволяє створити універсальну та масштабовану мережу доступу, повністю готову до надання послуг Triple Play на належному якісному рівні та з урахуванням перспектив подальшого зростання потреб користувачів.

2.3 Архітектура FTTx

Інтенсивний розвиток технологій оптичних кабельних систем та поступове витіснення традиційних металевих кабелів оптичними сприяли формуванню концепції широкосмугових оптичних мереж доступу, яка отримала назву FTTx (Fiber To The «x», тобто – оптична транспортна мережа до певної точки) [2, 4]. Ця концепція охоплює ціле сімейство технологій, що відрізняються за структурою залежно від відстані, на яку прокладається оптична лінія до кінцевого користувача. Суть підходу полягає у взаємодії між активним обладнанням оптичної лінії – терміналом OLT (Optical Line Terminal) на стороні оператора та терміналом ONT (Optical Network Terminal) на стороні користувача. Конкретний варіант реалізації FTTx залежить від того, на якій ділянці абонентської мережі розташований ONT (рисунки 2.2).

Сучасні оптичні кабельні системи забезпечують надзвичайно високу пропускну здатність, яка значно перевищує можливості традиційних мідних ліній. Зокрема, застосування технологій спектрального мультиплексування WDM (Wavelength Division Multiplexing) дає змогу передавати дані зі

швидкістю до кількох терабіт за секунду по одному оптичному волокну. Проте, незважаючи на очевидні технічні переваги, широке впровадження оптичних терміналів ONT у кожную квартиру стримується їхньою відносно високою вартістю. Саме тому технології FTTx найчастіше застосовуються під час нового будівництва, коли прокладання оптичної інфраструктури є доцільним з економічної та технічної точок зору.

Стимулом до розвитку ринку FTTx стали зміни у структурі споживання контенту. Поява мультимедійного трафіку з високою щільністю графіки та відео, розвиток соціальних платформ, а також поширення сервісів прямого обміну файлами призвели до формування симетричних потоків даних. Це контрастує з попередньою моделлю клієнт-серверної взаємодії, де переважав асиметричний трафік. Відповідно, рішення на базі Ethernet, що реалізуються на основі оптичних ліній, стали найоптимальнішим вибором для задоволення нових вимог користувачів.

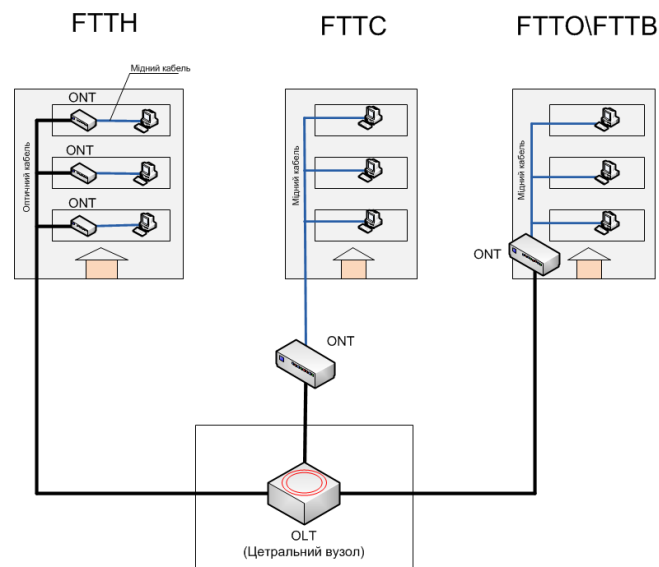


Рисунок 2.2 – Типи архітектури FTTx

Концепція FTTx визначила подальший напрям розвитку абонентських мереж доступу, сформувавши нові підходи до застосування оптичного кабелю в структурі телекомунікаційних мереж. Зі зростанням потреб у

високошвидкісних послугах виникла необхідність опрацювання конкретних конфігурацій таких мереж, а також прийняття рішень щодо оптимального розташування межі між оптичним і мідним середовищем.

Це призвело до створення спеціалізованих рішень для реалізації так званої «оптичної останньої милі» та гібридних систем, що поєднують волоконно-оптичні та мідні сегменти. Основною складністю впровадження концепції FTТх залишається визначення оптимальної точки «х» – тобто місця переходу від оптичного середовища до мідного, що є критичним для досягнення балансу між технічними характеристиками, вартістю реалізації та масштабованістю мережі.

2.3.1 Ethernet FTТН

Технологія FTТН (Fiber To The Home) передбачає прокладення оптичного волокна безпосередньо до житлового приміщення – квартири або приватного будинку [4].

Такий підхід дозволяє максимально наблизити оптичну лінію до абонента, що забезпечує найвищу пропускну здатність серед усіх рішень FTТх.

Металевий кабель у цьому випадку використовується лише на останніх метрах абонентського підключення, або взагалі не застосовується, що істотно знижує рівень впливу завад і втрат сигналу.

У реалізаціях Ethernet FTТН для організації комутації використовуються комутатори, обладнані оптичними портами або трансиверами. Залежно від конкретної організації мережі, можливе використання різних варіантів топологій, серед яких найбільш поширеними є кільцева та зіркоподібна структура.

У випадку побудови мережі за кільцевою топологією комутатори, розташовані на вузлах зв'язку провайдера, об'єднуються в кільце за допомогою технологій Gigabit Ethernet або 10 Gigabit Ethernet. Така

архітектура забезпечує високий рівень надійності, оскільки допускає дублювання каналів і автоматичне перемикання трафіку у разі пошкодження окремої ділянки.

Кожен абонент підключається до окремого порту комутатора, що дозволяє гнучко керувати смугою пропускання.

Альтернативний варіант – зіркоподібна топологія, за якої комутатори розміщуються безпосередньо в будівлі абонента, найчастіше на технічному поверсі (цокольному або горищному), залежно від способу введення оптичного волокна.

Користувацькі пристрої при цьому підключаються до портів локального комутатора. Така архітектура також характеризується високою надійністю, можливістю резервування каналів і спрощеним обслуговуванням.

Крім того, застосування технологій сімейства Ethernet забезпечує сумісність із наявною мідною інфраструктурою, що особливо актуально для поетапної модернізації мережі.

На стороні абонента для підключення до мережі використовуються пристрої класу CPE (Customer Premise Equipment). Зважаючи на те, що більшість кінцевих пристроїв не оснащені оптичними Ethernet-інтерфейсами, саме CPE забезпечує приймання сигналу з оптичної лінії та перетворення його в електричний сигнал для подальшого розподілу мережею у приміщенні абонента через мідні порти.

Структурна схема архітектури мережі Ethernet FTTH представлена на рисунку 2.3, що ілюструє загальні принципи її побудови та основні елементи взаємодії.

Архітектура FTTH має низку ключових переваг, що роблять її найоптимальнішим рішенням серед усіх варіантів реалізації концепції FTTx. Насамперед, вона забезпечує найвищу пропускну здатність, що є критично важливим для підтримки сучасних високошвидкісних сервісів та передачі мультимедійного контенту. FTTH є повністю стандартизованим підходом,

що гарантує сумісність обладнання різних виробників і відкриває широкі перспективи для масштабного впровадження. Така архітектура дозволяє ефективно обслуговувати велику кількість абонентів, розміщених на відстані до 20 км від вузла зв'язку, що робить її придатною як для щільної міської забудови, так і для селищного розселення. Важливою перевагою є також суттєве скорочення експлуатаційних витрат завдяки зменшенню площ, необхідних для технічного обладнання, зниженню енергоспоживання та витрат на обслуговування.

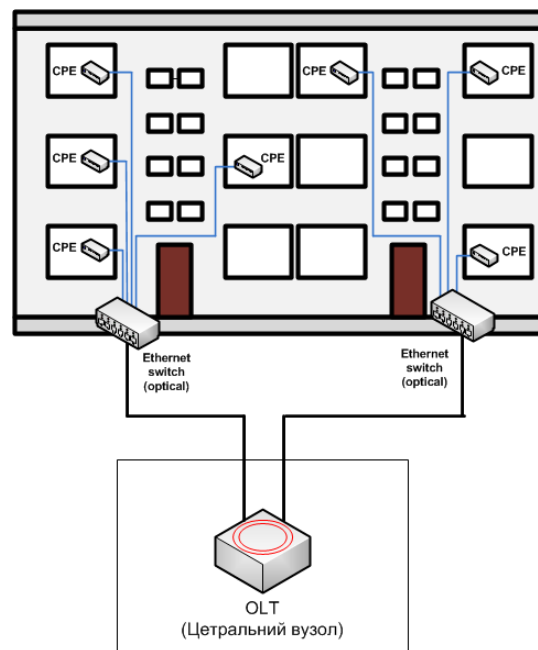


Рисунок 2.3 – Архітектура мережі Ethernet FTTH

Водночас архітектура Ethernet FTTH має і певні недоліки. Найбільш вагомими серед них є високі початкові капіталовкладення, пов'язані з прокладанням оптичної кабельної інфраструктури, а також обмежені можливості масштабування в межах деяких моделей побудови мережі. Незважаючи на це, в умовах нового будівництва та з урахуванням подальших перспектив розвитку технологій, FTTH залишається одним із найперспективніших варіантів реалізації широкопasmового доступу до мережі.

2.3.2 PON FTTH

Архітектура PON (Passive Optical Network) являє собою пасивну оптичну мережу доступу, яка забезпечує ефективну організацію широкосмугових комунікацій, включаючи передачу голосу, даних та відео, між оптичним терміналом провайдера та численними віддаленими абонентськими пристроями [5]. Особливістю PON є відсутність активних оптичних елементів із перетворенням оптичних сигналів в електричні на ділянці мережі між центральним вузлом і абонентами. Замість цього в мережі застосовуються пасивні оптичні змішувачі або розгалужувачі, які розподіляють оптичний сигнал між користувачами без використання електроживлення. Для координованого обміну даними між багатьма абонентами використовуються спеціальні технічні методи обробки сигналів, що реалізуються на активних пристроях мережі.

Основна концепція архітектури PON полягає у використанні єдиного приймально-передавального модуля, розташованого в центральному вузлі – Optical Line Terminal (OLT), який здійснює одночасну передачу інформації до багатьох абонентських терміналів ONT (Optical Network Terminal) та прийом від них зворотних даних. На ділянці від центрального вузла до оптичного розгалужувача прокладається лише одне оптичне волокно, що значно знижує витрати на інфраструктуру.

Центральний вузол OLT, розміщений у центральному офісі провайдера, приймає дані із магістральної мережі через відповідні інтерфейси (SNI – service node interfaces) та формує низхідний потік інформації до абонентських вузлів по топології дерева PON. Абонентський вузол ONT, зі свого боку, має інтерфейси для підключення користувацьких пристроїв та спеціальний оптичний інтерфейс для підключення до PON-мережі. Передача даних здійснюється на довжині хвилі 1310 нм, а прийом – на 1550 нм. Отримані від OLT сигнали ONT перетворює у відповідний формат та передає їх користувачам через інтерфейси UNI (user network interfaces) (рисунок 2.4).

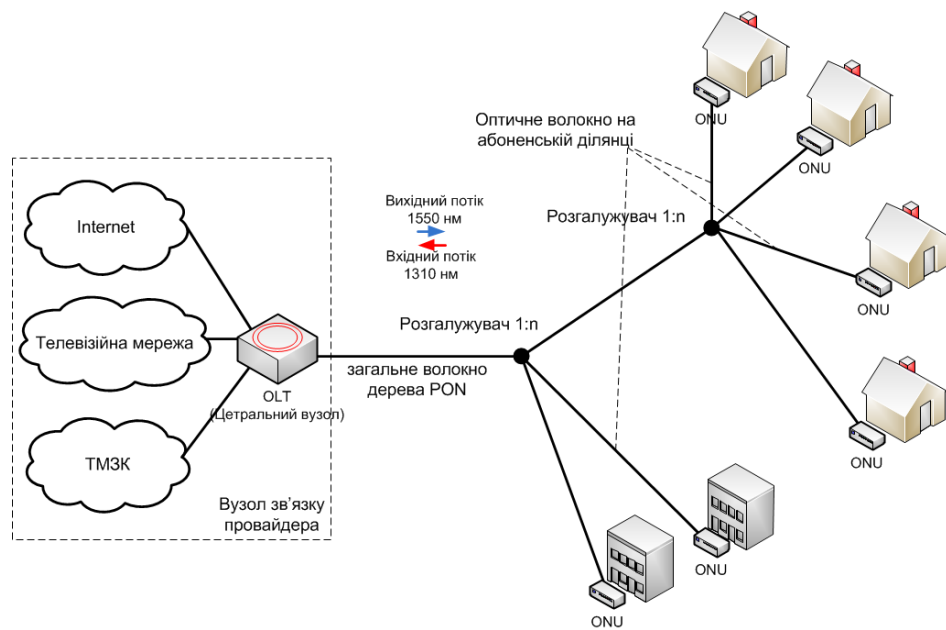


Рисунок 2.4 – Архітектура мережі PON

На сьогоднішній день існує три основні стандарти побудови мереж PON, які відрізняються за технологією каналного рівня, пропускною здатністю та максимальною кількістю абонентських пристроїв, які можна підключити до однієї оптичної лінії. Основні відмінності цих стандартів наведені у таблиці 2.1. Найбільш поширеним і широко впроваджуваним стандартом для пасивних оптичних мереж є EPON. Його ключова особливість полягає у тому, що передача даних у межах PON-дерева здійснюється за допомогою кадрів Ethernet, що забезпечує високу сумісність із протоколом Ethernet IEEE 802.3 і спрощує інтеграцію з існуючими мережами.

Прямий, або низхідний, потік у мережі EPON формується кадрами Ethernet 802.3, які передаються від центрального вузла OLT і проходять через оптичний розгалужувач типу 1xN, після чого приймаються абонентськими вузлами ONT. Передача даних у цьому напрямку аналогічна роботі Ethernet-мережі з шиною, де кадр, відправлений однією станцією, розповсюджується на всі інші, а кожна станція вилучає з нього інформацію відповідно до своєї MAC-адреси призначення.

Таблиця 2.1 – Порівняльний аналіз технологій APON, EPON и GPON

Характеристики	APON (BPON)	EPON	GPON
Інститути стандартизації	ITU-T SG15 / FSAN	IEEE / EFMA	ITU-T SG15 / FSAN
Дата прийняття стандарту	жовтень 1998	липень 2004	жовтень 2003
Стандарт	ITU-T G.981.x	IEEE 802.3ah	ITU-T G.984.x
Швидкість передавання, прямий\зворотній потік, Мбіт/с	1024/622	1250/1250	2048/2048
Базовий протокол	ATM	Ethernet	SDH
Лінійний код	NRZ	8B/10B	NRZ
Максимальний радіус мережі, км	20	20	20
Максимальне число абонентських вузлів на 1 волокно	32	32	64 (128)
Сервіси	будь які	IP дані	будь які

Зворотний, або висхідний, потік формується сигналами, які надходять від різних ONT на довжині хвилі 1310 нм. Враховуючи особливості пасивного розгалуження оптичного сигналу, дані, що передаються вузлом ONT, отримує виключно центральний вузол OLT [6].

Таким чином, у напрямку висхідного потоку мережа EPON функціонує за принципом сукупності точка-точка з'єднань. Проте, на відміну від класичної архітектури точка-точка, мережа EPON вимагає спеціального механізму управління доступом для уникнення колізій між сигналами, що одночасно надходять від різних ONT. З цією метою центральний вузол OLT

здійснює функцію контролера доступу, розподіляючи доступну смугу пропускання зворотного каналу між усіма підключеними ONT і координуючи час їх передачі.

Архітектура пасивної оптичної мережі (PON) має ряд суттєвих переваг, які обумовлюють її широке застосування в сучасних мережах доступу. Зокрема, вона дозволяє значно заощаджувати оптичний кабель на ділянках між оптичними розгалужувачами та точками присутності провайдера, що особливо важливо у випадках наявності резервних оптичних пар або можливості використання існуючих каналів прокладки, що може уникнути додаткових земельних робіт. Крім того, PON зменшує кількість необхідних оптичних приймачів у центральному вузлі, оскільки для обслуговування всієї топології дерева достатньо одного передавача на OLT. Топологія мережі у вигляді дерева забезпечує гнучкість у розміщенні оптичних розгалужувачів з урахуванням реального розташування абонентів і знижує експлуатаційні витрати. Також, у разі виходу з ладу окремих абонентських вузлів, це не впливає на роботу інших користувачів мережі, що підвищує її надійність.

Водночас архітектура PON має певні недоліки. Основним серед них є відсутність резервування у найпростішій деревоподібній топології, через що обрив кабелю призводить до одночасного припинення зв'язку у всіх абонентів, підключених до цієї ділянки мережі. Ще одним обмеженням є сумісна пропускна здатність, яка, незважаючи на підтримку низхідного потоку зі швидкістю до 2,5 Гбіт/с, може виявитися недостатньою для задоволення майбутніх потреб користувачів і розвитку сервісів у довгостроковій перспективі. Окрім цього, обслуговування та діагностика несправностей у PON ускладнені через відсутність активних елементів у пасивній частині мережі, які могли б інформувати центр управління про стан ліній. Пошук пошкоджень між оптичним розгалужувачем і точкою термінації (ONT) є складним завданням. Особливої уваги потребує проблема, коли пошкоджений ONT може генерувати постійний світловий сигнал, який порушує роботу всієї мережі, ідентифікувати який досить важко.

Ця вразливість також може бути використана зловмисниками, що робить систему потенційно небезпечною без додаткових заходів захисту. Окрім технічних викликів, варто відзначити і високу вартість абонентських терміналів ONT, пов'язану з необхідністю реалізації шифрування даних у спільній середовищі передачі.

2.3.3 Технологія FTTB

При застосуванні технології «Волокно до будинку» (FTTB – Fiber to the Building) оптичне волокно прокладається безпосередньо до будівлі, зазвичай багатоповерхової, та підводиться до технічного приміщення на цокольному або горищному поверсі. У цьому приміщенні розміщується обладнання вузла доступу — комутатори, які приймають оптичний магістральний кабель і забезпечують подальше підключення кінцевих абонентів за допомогою мідного кабелю типу «вита пара». Таким чином, архітектура FTTB у багатьох аспектах повторює принципи Ethernet FTTH, однак у кінцевій ділянці мережі застосовується стандартна мідна розводка [6].

Використання звичайної витой пари для внутрішньобудинкової мережі, а отже і організація Ethernet-з'єднання без необхідності спеціалізованих абонентських терміналів, надає технології FTTB суттєві переваги в частині підключення користувачів. Типова схема організації мережі за технологією FTTB представлена на рисунку 2.5.

Цей підхід є доцільним для розгортання мережі в багатоквартирних житлових будинках і офісних будівлях середнього класу. На сьогодні оператори зв'язку впроваджують мережі FTTB не лише у великих містах, а й у невеликих населених пунктах з високою щільністю абонентів. Така популярність зумовлена відсутністю необхідності прокладання дорогого багатоволоконного оптичного кабелю, як це має місце у випадку FTTH. Аналіз сучасних тенденцій показує, що серед технологій на базі Ethernet саме FTTB є найбільш технічно обґрунтованим варіантом. Крім того, при

порівнянні варіантів FTTx різниця у структурі капітальних витрат між FTTC і FTTB є незначною, тоді як операційні витрати на експлуатацію мережі FTTB менші, а її пропускна здатність вища.

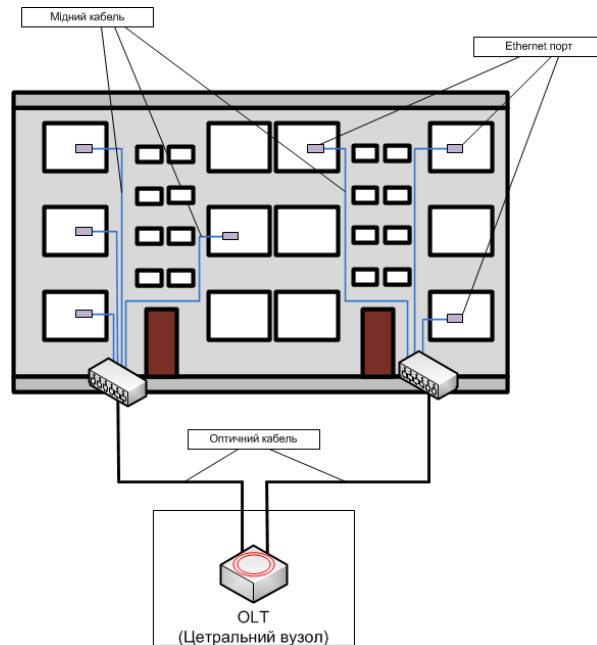


Рисунок 2.5 – Архітектура мережі FTTB

Особливо варто відзначити вартість обладнання для абонентського підключення. При застосуванні пасивних оптичних мереж PON або рішень на основі FTTH у квартирі користувача необхідно встановлювати оптичний приймач сигналу. Сучасні оптичні медіаконвертори Ethernet та пристрої ONT, які забезпечують надання послуг типу Triple Play, поки що залишаються досить дорогими. Через це витрати на абонентське обладнання, як правило, лягають на оператора зв'язку. Окрім того, рішення на базі оптичних терміналів потребують значних витрат на обслуговування встановленого устаткування і вимагають від оператора наявності великого запасу резервних пристроїв.

Сучасні рішення FTTB мають суттєвий потенціал для надання перспективних послуг і подальшої модернізації мережі у випадку недостатньої пропускної здатності. Це зумовлено використанням в якості

магістральної лінії оптичного середовища, яке може забезпечувати передачу трафіку зі швидкістю в сотні гігабіт за секунду, тоді як абонентська ділянка мережі може бути поступово оновлена до більш продуктивних технологій.

До переваг FTTB належать менші капіталовкладення на організацію мережі доступу завдяки застосуванню мідного кабелю у внутрішньобудинковій розводці, забезпечення швидкості передачі даних до одного гігабіта за секунду, а також зниження експлуатаційних витрат у порівнянні з повністю оптичними рішеннями. Крім того, при підключенні за технологією FTTB у квартирах відсутня потреба у встановленні модемів або іншого спеціального обладнання, оскільки кабель підводиться безпосередньо до комп'ютера, що спрощує процес як для монтажників, так і для кінцевих користувачів.

Надійність мережі забезпечується прокладанням транспортного оптичного кабелю у підземних комунікаціях з терміном служби понад 25 років, а також використанням кільцевої резервної схеми на вузлах провайдера, що гарантує безперервність надання послуг. Нарешті, технологія FTTB має значний потенціал для модернізації в майбутньому при зростанні потреб у пропускній здатності або розширенні спектра сервісів.

2.4 Активна оптична мережа

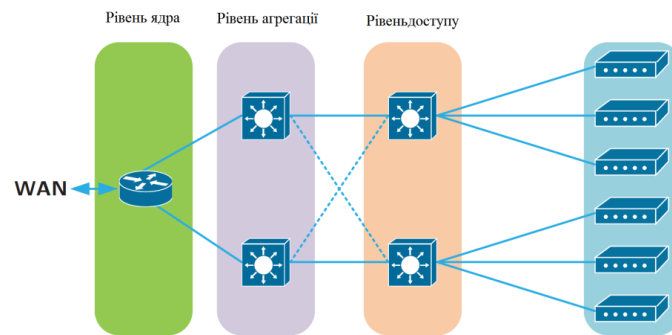
До активних належить категорія оптичних мереж доступу, в яких між центральним офісом (ЦО) та абонентською розеткою клієнта, окрім оптичного волокна, використовуються активні елементи, а пасивні пристрої поділу сигналу відсутні. Такі мережі реалізовані за архітектурою AON (Active Optical Network) [6, 7].

AON передбачає використання комутаторів та інших активних пристроїв на проміжних вузлах – у розподільчих центрах, вуличних шафах і у приміщеннях абонентів. Це вимагає забезпечення електроживлення в кожній такій точці, що є важливим аспектом при проектуванні мережі.

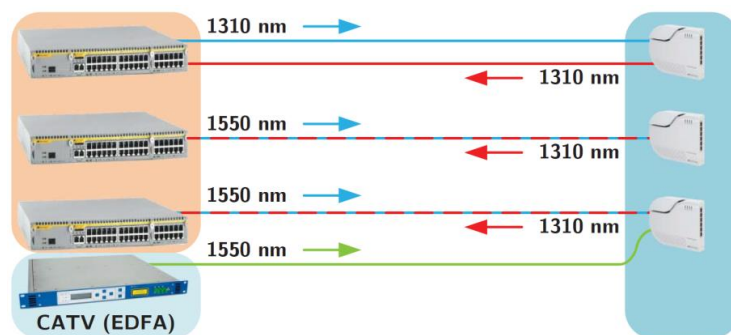
З'єднання між CPE (Customer Premises Equipment) та найближчим комутатором — пряме (точка-точка, P2P), що дозволяє досягти високої швидкості та індивідуального управління трафіком для кожного абонента.

На структурній схемі (рисунок 2.6) показано трирівневу ієрархію агрегації, де найнижчий рівень – це рівень доступу, безпосередньо з'єднаний із CPE. Кількість рівнів агрегації може змінюватися залежно від масштабу мережі та кількості користувачів.

Також на рисунку 2.7 показано приклади можливих способів фізичного з'єднання комутатора доступу з клієнтським обладнанням.



Риунок 2.6 – Трирівнева модель мережі AON



Риунок 2.7 – Варианти AON-з'єднання комутатора доступу та CPE

Передача сигналу в оптичній мережі може бути організована кількома способами. У першому варіанті використовується пара оптичних волокон, де одне волокно відповідає за висхідний канал, а інше – за низхідний. Це дозволяє розділити напрямки передавання сигналу фізично, забезпечуючи просту реалізацію, хоча й потребує подвійної кількості волокон.

Інший підхід полягає у використанні лише одного оптичного волокна, в якому висхідний і низхідний канали працюють одночасно, але на різних довжинах хвиль. Такий метод реалізується за допомогою технології WDM (мультиплексування з поділом за довжиною хвилі), що дозволяє оптимізувати використання волоконної інфраструктури.

Третій варіант розширює можливості другого, додаючи до нього підтримку передавання кабельного телебачення у форматах, таких як DVB-C, DVB-T, DVB-S або аналогове ТБ. Це реалізується через накладену пасивну оптичну мережу PON, яка дозволяє передавати телевізійний сигнал одночасно з даними по одному волокну. Таким чином, ця технологія слугує альтернативою IPTV, що зазвичай використовується в перших двох підходах. Наведені довжини хвиль є ілюстративними та можуть змінюватися залежно від фізичного інтерфейсу, застосованого у конкретній мережі.

Основна відмінність між активними (AON) та пасивними (PON) оптичними мережами полягає в організації передачі даних і структурі мережі. AON забезпечує гнучкий розподіл пропускної здатності завдяки використанню топології «точка-точка», де кожен користувач отримує окреме волокно та може використовувати ресурси на основі своїх потреб, без обмежень часових інтервалів [8]. У PON же використовується TDM, і пропускна здатність ділиться між усіма користувачами, що підключені до одного сплітера, а максимальна швидкість визначається стандартами (наприклад, 2,5 Гбіт/с на порт OLT).

У разі відмови обладнання PON є вразливішим: збій одного сплітера або відсутність зв'язку з певним клієнтом важко точно локалізувати. Натомість в AON можлива точна діагностика стану кожного клієнта, а також реалізація резервування. Проте така точність вимагає окремого волокна для кожного користувача, що ускладнює монтаж і обслуговування — зокрема при ремонті доводиться зварювати велику кількість волокон. У випадку PON таких витрат менше, оскільки кабель йде до сплітера, а далі сигнал розгалужується.

Щодо вартості, AON має вищі капітальні та операційні витрати. Це обумовлено потребою у дорогих граничних комутаторах Ethernet з окремими оптичними портами для кожного клієнта, значною кількістю волокон і необхідністю живлення активних елементів. Однак абонентські пристрої в AON простіші – це дешеві медіаконвертери, тоді як у PON використовуються складніші та дорожчі термінали ONU/ONT. З іншого боку, PON вирізняється простотою, меншою вартістю розгортання та енергонезалежністю між OLT і абонентом.

3 РОЗРОБКА ПРОЕКТУ МЕРЕЖІ ДОСТУПУ

3.1 Характеристика об'єкту проектування

Об'єктом проектування є житловий комплекс, що представляє собою 14-поверховий будинок із двома секціями. Загальна кількість квартир у комплексі становить 266 одиниць. Перша секція налічує 10 квартир, серед яких 7 однокімнатних та 3 двокімнатні, друга секція – 9 квартир, з яких 6 однокімнатних та 3 двокімнатні. Всі квартири характеризуються збільшеною площею та мають можливість вільного планування. На території комплексу облаштовано окремий дитячий майданчик та паркінг на 60 автомобільних місць, призначений для мешканців і гостей. Схема типового поверху обох секцій наведена на рисунку 3.1.

Конструктивні елементи будівлі включають газобетонні блоки. Товщина зовнішніх стін становить 375 мм, міжквартирних перегородок – 200 мм, внутрішньоквартирних – 100 мм та 75 мм. Висота стель дорівнює 2,9 метра.

На даний час будівельні роботи завершено, триває внутрішнє оздоблення приміщень. Кожна квартира обладнана металопластиковими однокамерними віконними блоками, зовнішніми металевими дверима та сталевими конвекторними радіаторами опалення. На цьому етапі передбачено оснащення комплексу телекомунікаційною інфраструктурою, що дозволить своєчасно прокласти необхідні елементи мережі.

На основі архітектурного плану будівлі необхідно розробити схему підключення квартир до мережі доступу, здатної забезпечувати надання мультисервісних послуг у форматі Triple Play. Розроблене рішення має бути універсальним, орієнтованим на довгострокову експлуатацію та враховувати перспективи розширення спектра послуг

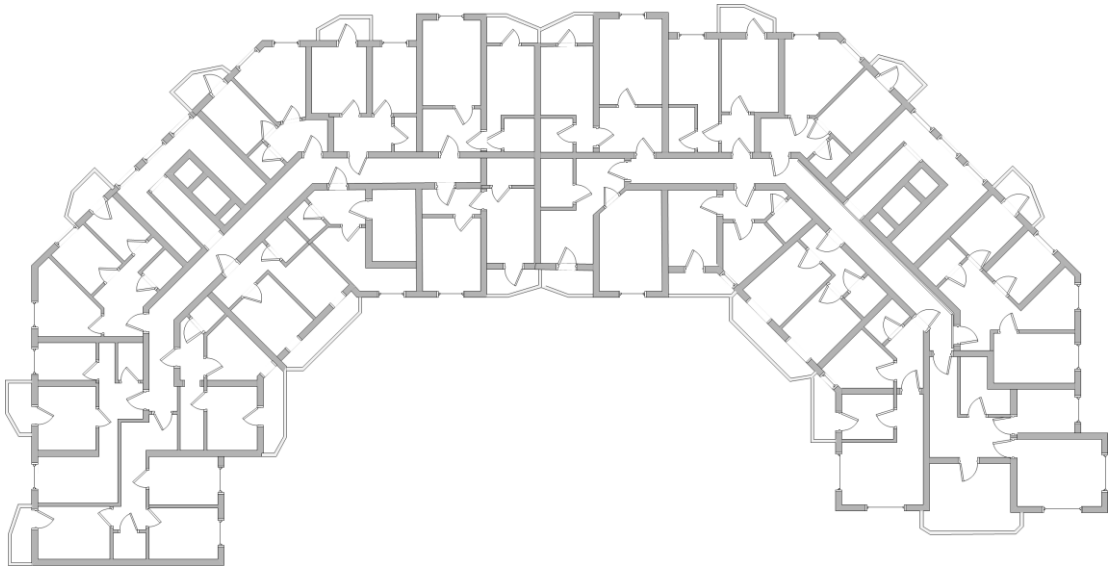


Рисунок 3.1 – План типового поверху житлового комплексу

3.2 Обґрунтування швидкості передачі

У попередньому розділі було розглянуто сімейство технологій FTTx. Враховуючи специфіку об'єкта проектування, вибір зроблено на користь технології FTTB (Fiber To The Building – Волокно-До-Будинку). Ця технологія забезпечує необхідні технічні можливості для надання сучасних Triple Play послуг, відзначаючись при цьому гнучкістю та простою архітектурою, а також відносно низькими капіталовкладеннями. Важливою особливістю є застосування мідного кабелю типу вита пара на абонентській ділянці, що дозволяє знизити вартість підключення і не вимагає спеціалізованого обладнання на стороні користувача.

В рамках обраної архітектури мережі на об'єкті передбачено створення центру надання послуг, який агрегує трафік від користувацьких терміналів і передає сумарний магістральний потік до ядра мережі відповідного сервіс-провайдера.

Такий підхід реалізує інфраструктурно-сервісну модель, яка вважається найбільш гнучкою і ефективною в сучасних умовах. У цій моделі мережева інфраструктура належить оператору зв'язку, а послуги надаються незалежними сервіс-провайдерами.

Для з'єднання користувацьких терміналів із центром надання послуг використовується мідний кабель типу вита пара. Цей фізичний рівень дозволяє досягати швидкостей передачі від 10 Мбіт/с до 1 Гбіт/с, що забезпечує достатній запас пропускної здатності для поточних і перспективних потреб.

Застосування технології FTTB дає змогу поетапно розширювати спектр надаваних сервісів. Запропонована архітектура передбачає підключення до кожного порту комутатора доступу або пристрою Home Triple Play Gateway, який крім Ethernet-портів оснащений інтерфейсами для телевізійних пристроїв (VGA, HDMI, DisplayPort), або CPE (Customer Premises Equipment) – невеликого інтелектуального комутатора. CPE виконує розподіл послуг у рамках окремих VLAN за стандартом IEEE 802.1Q, при цьому кожен сервіс виділяється окремим портом, до якого підключається відповідний кінцевий пристрій. Наприклад, у разі використання чотирипортового комутатора, два порти можуть бути виділені для IPTV-сервісів, третій – для доступу до Інтернету, а четвертий – для підключення до центра надання послуг. Схема функціонування такої архітектури ілюструється на рисунку 3.2.

Використання інтелектуальних CPE-пристроїв забезпечує можливість віддаленого керування, налаштування портів під конкретні сервіси та підтримку сучасних технологій, таких як DDNS, IP-Multicast, QoS тощо.

Для обґрунтування швидкостей інтерфейсів активного мережного обладнання і вибору відповідної технології каналного рівня необхідно визначити перелік послуг, що надаватимуться кінцевому користувачеві.

3.3 Розробка структурної схеми підключення абонентів

Загалом на об'єкті проектування налічується 266 потенційних абонентів, з яких 150 розташовані в першій секції комплексу та 116 – у другій. При плануванні кількості портів на активному мережному обладнанні необхідно враховувати обрану архітектуру мережі.

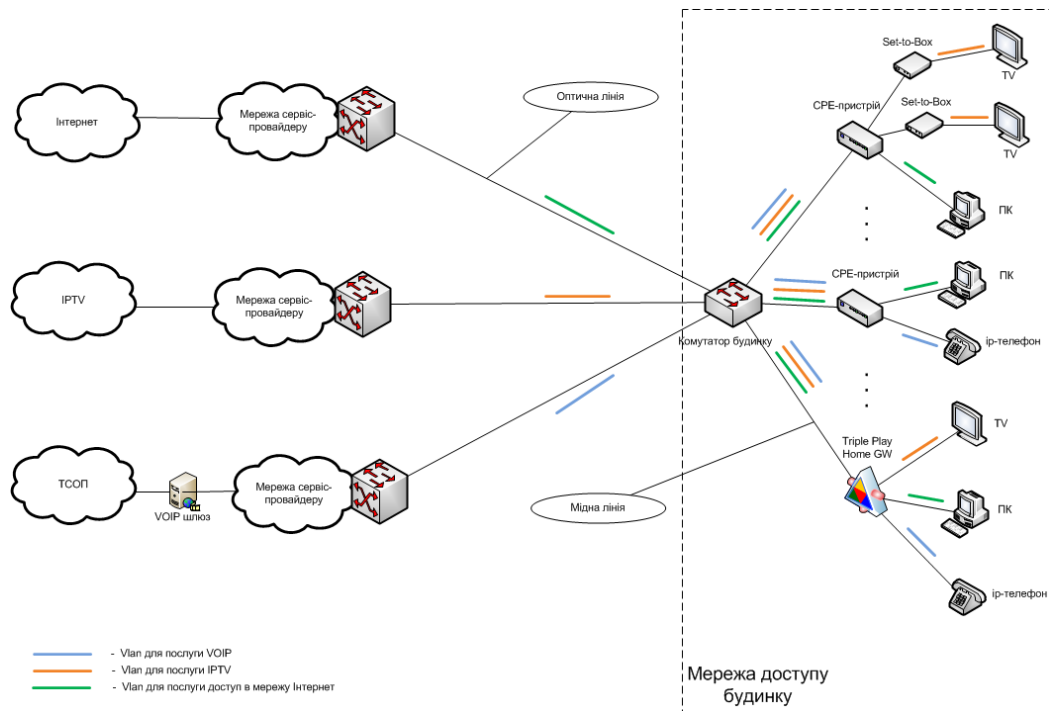


Рисунок 3.2 – Архітектура мережі доступу

Планується побудова двох рівнів мережі: рівня доступу та рівня ядра. На рівні доступу CPE-пристрої користувачів підключаються мідним кабелем до комутаторів доступу. Використання архітектури на основі VLAN дозволяє резервувати для кожного абонента лише один порт комутатора доступу, що є достатнім для надання будь-яких сервісів.

Рівень ядра об'єднує всі комутатори доступу. Ядровий комутатор агрегує транспортні потоки від комутаторів доступу та, відповідно до політик доступу і маршрутизації, перенаправляє їх відповідним сервіс-провайдерам. Окрім того, на комутаторі ядра передбачено резервування портів для підключення додаткового обладнання сервіс-провайдерів, що сприятиме підвищенню якості надаваних послуг, наприклад, VoD-серверів або VoIP-шлюзів.

Для розрахунку необхідної кількості комутаторів для підключення абонентів кожної секції комплексу буде використано два типи комутаторів – на 24 та 48 портів відповідно. Такий вибір обґрунтований прагненням до уніфікації підключень, забезпечення можливості «гарячого резерву» та зручності адміністрування мережі.

Таким чином для підключення 150 абонентів першої секції встановимо 3 $n1 = 48 * 3 + 24 * 1 = 168$ *порти* (при потребі в 150 портів).

А для підключення 135 абонентів другої секції встановимо 2 комутатор на 48 портів та два комутатори на 24 порти, тобто загалом $n2 = 48 * 2 + 24 * 2 = 144$ *порти* (при потребі в 135 портів). Структурна схема підключення абонентів, наведена на рисунку 3.3.

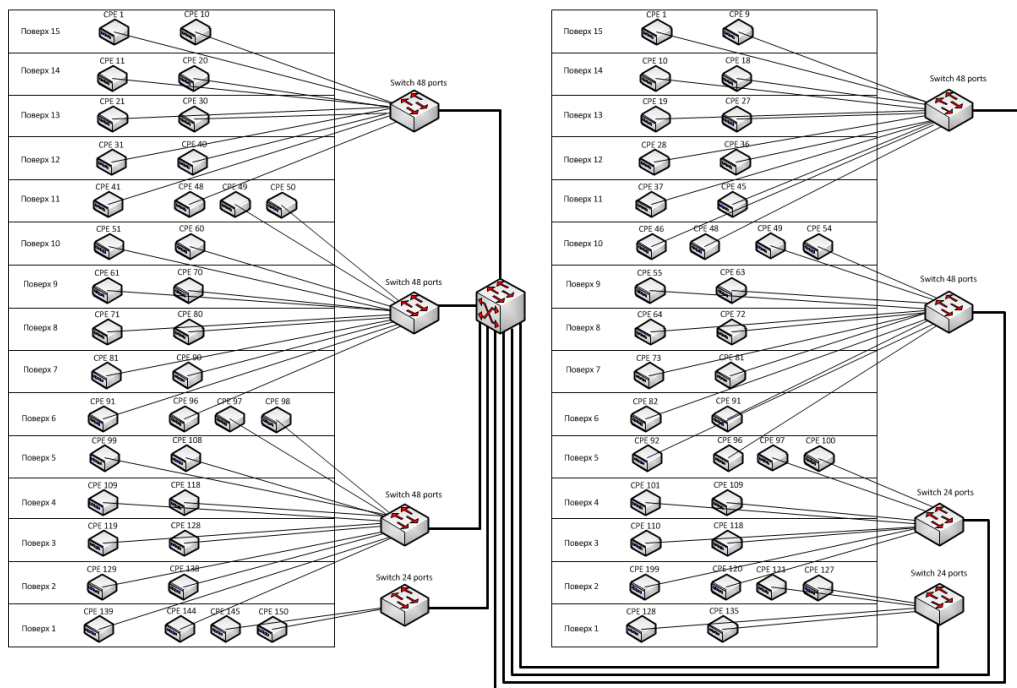


Рисунок 3.3 – Структурна схема підключення абонентів

4 ВИБІР АКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ

4.1 Вибір активного мережевого обладнання

Як було зазначено раніше, основою для побудови мережі обрана технологія Ethernet. Для надання послуг планується впровадження рішення на базі FTTB, що передбачає встановлення будинкового комутатора. Цей комутатор приймає пакетний трафік різних типів із транспортної мережі через оптичний кабель і передає його безпосередньо до абонентських пристроїв за допомогою виті пари, прокладеної у внутрішньобудинковій мережі.

Для вибору конкретної моделі комутатора слід врахувати його функціональні можливості та підтримувані технології, необхідні для реалізації проектованої мережі.

Нижче наведено ключові критерії, які визначатимуть вибір обладнання рівня доступу.

По-перше, у ролі обладнання доступу рекомендується використовувати інтелектуальні комутатори каналного рівня (L2 Switch), які здатні аналізувати отримані кадри, працювати з MAC-адресами відправників і одержувачів, а також коректно зіставляти їх із відповідними портами.

По-друге, особливості архітектури мережі та модель надання послуг вимагають від комутаторів підтримки низки ключових технологій.

IEEE 802.1p (пріоритизація пакетів, Priority tags) – цей стандарт дозволяє класифікувати мережевий трафік за ступенем важливості, встановлюючи пріоритети для різних типів пакетів. Пакети з вищим пріоритетом, що мають критичне значення або специфічні параметри (наприклад, низьку затримку), обробляються першочергово. Наприклад, пакети VoIP та IPTV отримують високий пріоритет, тоді як трафік FTP – нижчий.

IEEE 802.1q (VLAN) – цей протокол дає змогу розділити одну фізичну мережу на декілька логічних сегментів (віртуальних мереж). Кожна VLAN може бути призначена для окремої послуги, що значно підвищує гнучкість управління мережею та розмежування трафіку.

IGMP snooping – механізм моніторингу IGMP-трафіку, який дозволяє комутаторам каналного рівня відстежувати обмін повідомленнями IGMP між клієнтами і джерелами многоадресного (multicast) трафіку, що особливо актуально для IPTV. Активувавши IGMP snooping, комутатор аналізує IGMP-запити від підключених користувачів і маршрутизаторів і автоматично додає порти клієнтів до відповідних multicast-груп, забезпечуючи ефективну ретрансляцію групового трафіку лише тим абонентам, які його запитують.

По-третє, окрім перелічених раніше технологій, комутатори рівня доступу повинні підтримувати такі ключові функції.

Базова швидкість передачі даних. Кожен порт комутатора має працювати на кількох швидкостях, наприклад, 10/100/1000 Мбіт/с. Важливо, щоб пристрій підтримував стандарт IEEE 802.3 Nway, який забезпечує автоматичне визначення оптимальної швидкості залежно від можливостей кінцевого обладнання.

Монтаж у стійку. Комутатор має бути сумісним з 19-дюймовими монтажними шафами, що дозволяє зручно розміщувати його в дата-центрах або серверних кімнатах.

Слоти розширення. Наявність декількох слотів для модулів розширення дозволяє підключати додаткові інтерфейси – наприклад, модулі на 1 Гбіт/с для витой пари або оптичні інтерфейси з підтримкою пропускної здатності до 10 Гбіт/с.

Розмір таблиці MAC-адрес. Цей параметр визначає ємність таблиці, у якій зберігаються відповідності MAC-адрес портам комутатора. Якщо число підключених пристроїв перевищує розмір таблиці, може знижуватися продуктивність: нові MAC-адреси потребують додаткового часу для реєстрації, що впливає на швидкість обробки трафіку.

Керування потоком (Flow Control). Стандарт IEEE 802.3x дозволяє комутатору уникати втрат пакетів під час пікових навантажень. Якщо буфер комутатора заповнюється, він надсилає сигнал пристрою-відправнику про тимчасове припинення передачі даних. Відправник, отримавши цей сигнал, призупиняє передачу доти, поки не отримає дозвіл на її відновлення. Таким чином, між пристроями встановлюється ефективний механізм взаємодії для контролю передачі даних.

З огляду на викладені вище вимоги до мережевої інфраструктури, для реалізації рівня доступу обирається обладнання виробника D-Link.



Рисунок 4.1 – Комутатор D-Link DXS-3410-32SY

Керований L3 стекований комутатор DXS-3410-32SY із 28 портами 10GBase-X SFP+ та 4 портами 25GBase-X SFP28 призначений для забезпечення високошвидкісного, масштабованого та безпечного підключення кінцевих пристроїв у мережах підприємств або в середовищі Metro Ethernet (рисунок 4.1). Завдяки підтримці стекування, пристрій дозволяє централізоване управління декількома комутаторами як єдиним логічним блоком.

Наявність підтримки багатоадресних груп (multicast), функцій безпеки корпоративного рівня, включаючи контроль доступу та захист від мережевих атак, робить цей комутатор ефективним рішенням для застосування в ядрах мереж або на рівні розподілу. Порти SFP+ та SFP28 забезпечують можливість використання різних типів трансиверів і кабелів для адаптації до потреб мережі. USB-порт спрощує технічне обслуговування – зокрема резервне копіювання, відновлення конфігурації або оновлення прошивки.

Магістральні з'єднання між комутаторами доступу та ядром планується реалізувати на основі багатомодового оптичного кабелю, що є оптимальним варіантом у межах однієї будівлі або житлового комплексу. Окрім того, для організації зв'язку з мережами зовнішніх сервіс-провайдерів (Інтернет, IPTV, VoIP тощо), необхідно передбачити окремі інтерфейси на комутаторі ядра для підключення до магістральних мереж. Через значну відстань до вузлів провайдерів (у межах міської інфраструктури), для цього використовується одномодовий оптичний кабель.



Рисунок 4.2 – Комутатор D-Link DGS-1250-52X

В якості комутаторів доступу використовуються інтелектуальні керовані комутатори D-Link DGS-1250-52X (рисунок 4.2) та D-Link DGS-1250-28XMP (рисунок 4.3).

Керований L2 комутатор DGS-1250-52X з 48 портами 10/100/1000Base-T і 4 портами 10GBase-X SFP+ забезпечує гнучке, надійне та енергоефективне рішення для побудови високопродуктивної локальної мережі. Завдяки підтримці технології D-Link Green пристрій автоматично оптимізує енергоспоживання, знижуючи витрати та вплив на довкілля.

Комутатор має розширені функції керування, включаючи SNMP, Web-інтерфейс та CLI, що дозволяє адміністраторам ефективно налаштовувати, моніторити та оновлювати мережеву інфраструктуру. Наявність 10G SFP+ портів дає змогу інтегрувати комутатор у більш складні мережі з високою пропускною здатністю або підключати його до магістральних комутаторів чи серверів. Пристрій ідеально підходить для підприємств малого та середнього бізнесу, які потребують надійної платформи для масштабування та безпечної передачі даних.



Рисунок 4.3 – Комутатор D-Link DGS-1250-28XMP

Керований PoE-комутатор DGS-1250-28XMP з 24 портами 10/100/1000Base-T і 4 портами 10GBase-X SFP+ поєднує в собі високу продуктивність, розширене управління та підтримку живлення через Ethernet (PoE), що робить його універсальним рішенням для корпоративних мереж. Завдяки підтримці стандарту IEEE 802.3at PoE, кожен з 24 портів може подавати до 30 Вт живлення, забезпечуючи сумарний бюджет у 370 Вт — цього достатньо для підключення таких пристроїв, як точки доступу, IP-камери та SIP-телефони.

Інтеграція Web-інтерфейсу, CLI та SNMP спрощує адміністрування, а технологія D-Link Green знижує енергоспоживання без шкоди для продуктивності. Комутатор оптимально підходить для побудови енергоефективної та масштабованої інфраструктури доступу, особливо в умовах, коли потрібне дистанційне живлення мережевих пристроїв.

У якості кінцевого абонентського пристрою (CPE), що встановлюється безпосередньо у квартирах користувачів, рекомендовано використовувати керований комутатор D-Link DGS-1100-05. Цей пристрій підтримує технології VLAN, QoS, а також має компактний форм-фактор, що спрощує його встановлення та конфігурування. Він забезпечує гнучкий розподіл сервісів між кінцевими пристроями в межах квартири. Зовнішній вигляд комутатора наведено на рисунку 4.4.



Рисунок 4.4 – Комутатор D-Link DGS-1100-05

Це керований інтелектуальний пристрій, оснащений п'ятьма портами із підтримкою швидкостей 10/100/1000 Мбіт/с, що забезпечує повноцінну роботу в сучасному телекомунікаційному середовищі.

Комутатор підтримує всі необхідні мережеві технології для надання широкого спектру інформаційних послуг, зокрема стандарти IEEE 802.1q (віртуальні локальні мережі), IEEE 802.1p (пріоритизація трафіку), IP-мультикаст, IGMP Snooping, а також механізми керування чергами обробки даних.

4.2 Вибір пасивного обладнання

Розрахунок трасування кабелю охоплює дві основні ділянки: горизонтальну, яка відповідає за прокладання кабелю від квартир абонентів до портів комутаторів доступу, та вертикальну, що описує проходження кабелю від комутаторів доступу до ядра мережі.

При проектуванні кабельних трас основна увага приділяється забезпеченню зручності і простоти монтажу кабелю. Введення кабелю в приміщення кросових здійснюється через перфоровані лотки, тоді як магістральний оптичний кабель від сервіс-провайдерів подається в будівлю через наявні телекомунікаційні канали введення, передбачені в конструкції будинку.

При розрахунку кабельних трас необхідно враховувати такі ділянки:

- укладка кабелю безпосередньо всередині телекомунікаційної шафи, на що передбачено приблизно 2 метри;
- прокладання кабелю всередині кросової по перфорованих лотках до інженерного стояка, враховуючи відстань від шафи до стіни та додатковий запас на введення до стояка. При виконанні поворотів необхідно передбачати технологічний запас кабелю близько 20 см;
- вертикальний підйом кабелю по інженерному стояку до кожного поверху;

- траса прокладання кабелю від стояка до кожної квартири згідно з планом будівлі;
- запас кабелю всередині квартири для можливості вільного розміщення СРЕ-пристрою абонентом, який становить приблизно 10 метрів від точки входу кабелю в квартиру.

Розрахунок довжини кабельної траси абонентської ділянки – від порту активного мережного обладнання, розташованого в телекомунікаційній шафі, до порту СРЕ-пристрою абонента нижче. Відповідна схема проходження кабельної траси для кожної секції об'єкта проектування зображена на рисунку 2.8. Для прокладання обираємо кабель категорії 6 U/FTP – чотири пари звитих мідних проводів, кожна пара екранована алюмополімерною лентою. Зовнішня оболонка кабелю виготовлена з негорючого матеріалу LSON, який не виділяє диму та галогенів при горінні. Такий кабель призначений для внутрішньої прокладки в будівлях і забезпечує передачу даних на швидкості до 1 Гбіт/с.

Всього необхідно 4493,8 м кабелю U/FTP. Оскільки кабель постачається бухтами по 500 м, для побудови кабельної мережі слід придбати:

$$4493,8/500 = 8,98 \approx 9 \text{ бухт кабелю.}$$

Для підключення комутаторів доступу до транспортних портів вузла провайдера телекомунікаційних послуг планується застосувати оптичний кабель ОКВк від Одеського кабельного заводу. Цей кабель складається з багатомодового волокна діаметром 50/125 мкм, що забезпечує передачу даних зі швидкістю 1000 Мбіт/с на відстань до 550 метрів. Кабель ОКВк містить 8 волокон, кожне з яких має індивідуальний захист, а також зовнішню оболонку з ПВХ. Внутрішня та зовнішня оболонки виготовлені з матеріалу LSZH (Low Smoke Zero Halogen), що не підтримує горіння і не виділяє диму та галогенів у разі займання.

Всередині будівлі (рисунок 4.5) для прокладки кабелів по поверхах планується використовувати декоративні коробки. Враховуючи що максимальна кількість кабелів, що одночасно проходять через короб на кожному поверсі, не перевищує шести, буде застосовано короб розміром 25×30 мм, якого достатньо для укладання шести кабелів. Загальна довжина коробу визначається довжиною кабельної траси до найбільш віддалених від інженерного стояка квартир. Для першої секції такими є квартири «А1» та «І1» з довжинами кабелю 21,6 та 14,8 м відповідно, а для другої секції – квартири «Б2» та «З2» з довжинами 22,4 та 10,2 м. Таким чином, загальна потреба на один поверх обох секцій складає 69 метрів коробу. Короб продається секціями по 2 метри, для всієї будівлі потрібно буде придбати:

$$69 \cdot 15/2 \approx 518 \text{ одиниць коробу.}$$

Для підключення кабелів (вита пара) категорії 6 зі сторони центру надання послуг передбачається використання патч-панелей. Відповідно до проведених розрахунків, у кросовій першій секції будуть встановлені три панелі на 48 портів та одна на 24 порти, а в кросовій другій секції – три панелі по 48 портів. Для цього обираються панелі стандартної ширини 19": 24-портова висотою 1U та 48-портова висотою 2U.

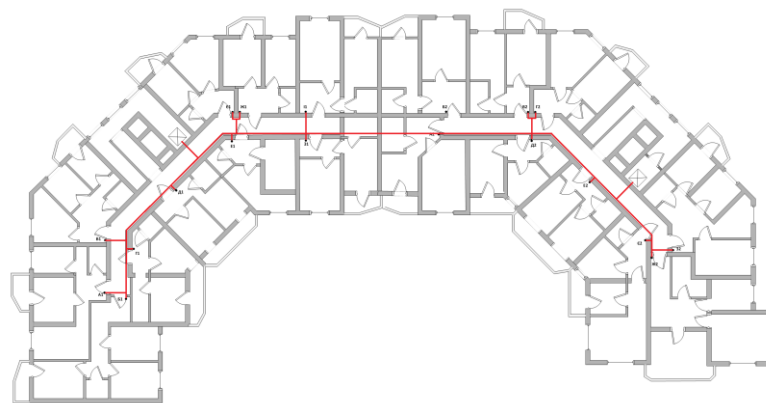


Рисунок 4.5 – Схема проходження кабельної траси

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи було здійснено комплексне проектування комп'ютерної мережі, що включає в себе визначення її основного призначення, аналіз категорій і кількості користувачів, а також характеристик і типів послуг, які планується надавати в мережі.

Мережа доступу в багатоквартирному житловому будинку побудована з використанням технології FTTH. В проекті реалізовано вибір та обґрунтування технічних рішень щодо обладнання рівня доступу та ядра мережі, що дозволяє забезпечити високошвидкісний та якісний доступ абонентів до мережевих ресурсів.

Таким чином, виконане проектування створює надійну основу для впровадження сучасної мультисервісної мережі з урахуванням технологічних і експлуатаційних вимог, що забезпечить ефективне надання телекомунікаційних послуг користувачам.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Кисельов С.В. Основи мережевих технологій: навчальний посібник для початкової професійної освіти /С.В. Кисельов, І.Л.// Вид.: Академія, 2016р. 64с.
2. Трахтенгерц Е.А. Сетецентричні методи управління у великомасштабних мережах /Е.А. Трахтенгерц, Ф.Ф. Пащенко //2016р. 193с.
3. Forouzan B. Data Communications and Networking / B. Forouzan. – McGraw-Hill Company Inc., 2017. – 1187 p.
4. Falch, M.; Henten, A. Dimensions of Broadband Policies and Developments. Telecommun. Policy 2018, 42, 715–725.
5. G.983.1: Broadband Optical Access Systems Based on Passive Optical Networks. Available online: <https://bit.ly/2AZscPE>.
6. Kaufmann M. Optical Networks: A Practical Perspective, 3rd Edition / M. Kaufmann – Elseiver, 2019. – 929 p.
7. Sahu P. Fundamentals of Optical Networks and Components / P. Sahu – CRC Press, 2020. – 388 p.
8. Peng-Jun Wan. Multichannel Optical Networks / Wan Peng-Jun – Springer, 2020. – 412 p.