

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)

Мережа широкосмугового доступу із використанням
технології пасивних оптичних мереж
(тема)

Виконав:
здобувач 3 року навчання,
групи КІУКІу-22-1
Максим БІЛЕНКО
(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: ст. викл. Станіслав ПАРТИКА
(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту

Завідувач кафедри ЕОМ Андрій КОВАЛЕНКО
(підпис) (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 _____ Біленку Максиму Костянтиновичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ Мережа широкосмугового доступу із використанням технології пасивних оптичних мереж _____

затверджена наказом по університету від “ 26 ” травня 2025 р. № 425 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 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 15 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 | 27.05.25-30.05.25 | |
| 2 | Аналіз роботи установи | 31.05.25-04.06.25 | |
| 3 | Розробка структури корпоративної мережі установи | 05.06.25-06.06.25 | |
| 4 | Вибір апаратних засобів реалізації мережі | 07.06.25-09.06.25 | |
| 5 | Оформлення матеріалів кваліфікаційної роботи | 10.06.25-11.08.25 | |
| 6 | Подання кваліфікаційної роботи керівникові та її попередній захист | 12.06.25 | |
| 7 | Подання кваліфікаційної роботи на рецензування | 15.06.25 | |
| | | | |

Дата видачі завдання “ 26 ” травня 2025 р.

Здобувач _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

ст. викл. Станіслав ПАРТИКА
(посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 51 с., 20 рис., 5 табл., 1 дод., 8 джерел.

ОПТИЧНЕ ВОЛОКНО, ПАСИВНА ОПТИЧНА МЕРЕЖА, З'ЄДНАННЯ ТОЧКА-ТОЧКА, ШИРОКОСМУГОВИЙ ДОСТУП, КАНАЛ ПЕРДАЧІ ДАНИХ.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка комп'ютерної мережі підприємства зв'язку. Проведено аналіз специфіки підприємства, його структури та розташування. Сформульовано вимоги до проектованої мережі. Здійснено вибір базової топології мережі та технології передачі даних. Розроблені структурна та функціональна схеми мережі підприємства.

Проектується широкосмугова мультисервісна мережа на основі технології FTTH для надання сучасних інфокомунікаційних послуг абонентам на базі сучасних рішень шляхом будівництва сучасної мультисервісної мережі зв'язку.

ABSTRACT

Bachelor's thesis: 51 pages, 20 figures, 5 tables, 1 appendices, 8 sources.

OPTICAL FIBER, PASSIVE OPTICAL NETWORK, POINT-TO-POINT CONNECTION, BROADBAND ACCESS, DATA TRANSMISSION CHANNEL.

The purpose of the qualification work is to develop a computer network of a communications enterprise. An analysis of the specifics of the enterprise, its structure and location has been carried out. Requirements for the designed network have been formulated. The basic network topology and data transmission technology have been selected. The structural and functional diagrams of the enterprise network have been developed.

A broadband multi-service network based on FTTX technology is being designed to provide modern infocommunication services to subscribers based on modern solutions by building a modern multi-service communication network.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ | 7 |
| ВСТУП | 8 |
| 1 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ..... | 9 |
| 1.1 Архітектура мережі..... | 9 |
| 1.2 Схема передавання трафіку в GPON..... | 10 |
| 1.3 Структура кадрів | 11 |
| 2 ПРОЄКТ МЕРЕЖІ..... | 15 |
| 2.1 Передпроектні роботи для багатоквартирних житлових будинків | 15 |
| 2.2 Вибір архітектури та топології мережі доступу | 18 |
| 2.3 Визначення складу обладнання для багатоквартирних будинків..... | 20 |
| 2.4 Розробка схеми розподільчої мережі для багатоквартирних будинків..... | 25 |
| 2.5 Розрахунок необхідного обладнання для багатоквартирних будинків..... | 30 |
| 3 НАДІЙНІСТЬ МЕРЕЖІ ТА РЕЗЕРВУВАННЯ | 32 |
| 4 ОПТИЧНИЙ БЮДЖЕТ ПОТУЖНОСТІ ДЛЯ ПРОЄКТОВАНОЇ МЕРЕЖІ | 36 |
| 4.1 Розрахунок енергетичного бюджету системи..... | 36 |
| 4.2 Розрахунок втрат на лінійній ділянці GPON..... | 37 |
| ВИСНОВКИ..... | 41 |
| ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ | 42 |
| ДОДАТОК А Графічний матеріал кваліфікаційної роботи..... | 43 |

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

IEEE – інститут інженерів з електротехніки та електроніки (англ. Institute of Electrical and Electronics Engineers)

CATV – громадське телебачення (англ. Community Access Television)

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)

FTTM – волокно до багатоквартирного будинку (англ. Fiber To The Multi Dwelling Unit)

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

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

IP – міжмережеви протокол (англ. Internet Protocol)

ISO – міжнародна організація зі стандартизації (англ. International Organization for Standardization)

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

ВСТУП

У сучасних умовах стрімкого розвитку інформаційних технологій спостерігається зростаюча потреба у високошвидкісній передачі значних обсягів даних практично в усіх галузях діяльності людини. Провайдери телекомунікаційних послуг забезпечують одночасну передачу даних, відео- та мультимедійного контенту через інтегровану мережеву інфраструктуру. Такі сервіси, як потокове відео, швидкісний доступ до Інтернету, телебачення високої чіткості та онлайн-ігри, вимагають надійного ширококутового підключення з підтримкою пакетної передачі інформації. Обмін даними в межах комп'ютерних мереж у цілому охоплюється поняттям інформаційної комутації.

У зв'язку з цим актуалізується завдання модернізації існуючих мереж доступу. З удосконаленням технологій виробництва оптичного волокна зі зниженими втратами стали доступними нові методи ущільнення каналів зв'язку. В результаті мідні лінії поступово втратили свою актуальність, поступившись оптичним рішенням, які виявилися більш ефективними як з технічної, так і з економічної точки зору. Подальше здешевлення оптичного обладнання зробило розгортання оптичних мереж доступу практичним і доцільним напрямом побудови телекомунікаційної інфраструктури.

Підвищення вимог до пропускної здатності та якості обслуговування стало рушієм еволюції мережевих технологій. Найбільш перспективною відповіддю на потребу в ширококутовому доступі стали оптичні мережі. Зі зростанням доступності відповідних технологій виникла необхідність у створенні інфраструктури, орієнтованої на підключення за концепціями FTTH (Fiber To The Home) та FTTB (Fiber To The Building). Це, у свою чергу, обумовило доцільність впровадження пасивних оптичних мереж (PON), які забезпечують ефективну організацію таких систем доступу.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

1.1 Архітектура мережі

Загальна архітектура оптичних мереж доступу, наведена на рисунку 1.1, відповідає структурі, яка реалізується в технології G-PON.

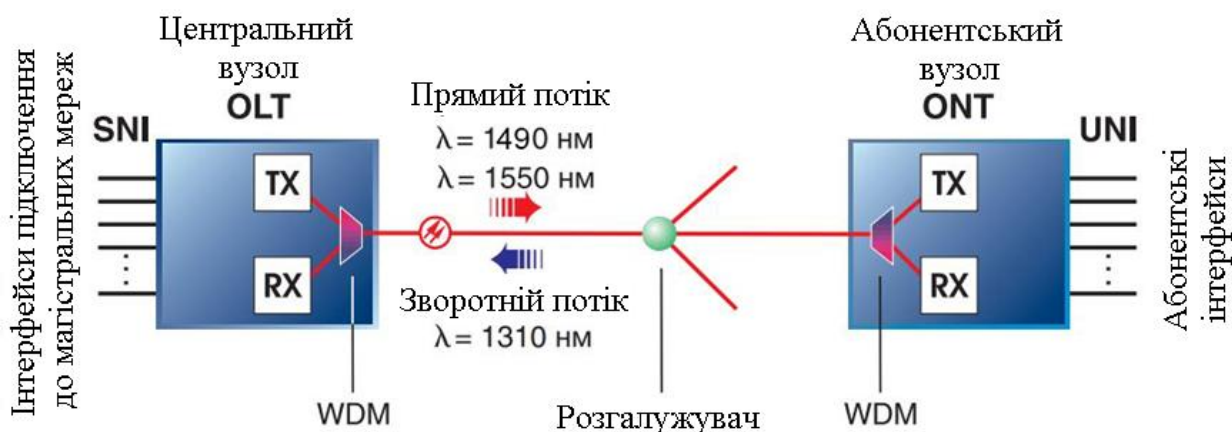


Рисунок 1.1 – Загальна архітектура оптичної мережі доступу

Ця схема є типовою для технології GPON. Основними функціональними компонентами виступають центральний оптичний термінал (OLT) та абонентський термінал (ONT), між якими функціонує розподільчий сегмент – пасивна оптична мережа (ODN).

Центральний вузол OLT (Optical Line Terminal) – це мережевий пристрій, що встановлюється у головному офісі провайдера. Він отримує дані з боку магістральної інфраструктури через сервісні інтерфейси SNI (Service Node Interfaces) та формує нисхідний трафік до абонентських пристроїв за схемою деревоподібної топології PON.

Абонентський термінал ONT/ONU (Optical Network Terminal/Unit) має абонентські інтерфейси з одного боку та оптичний інтерфейс для підключення до мережі PON – з іншого. Передача даних здійснюється на довжині хвилі 1310 нм (висхідний канал), прийом – на 1550 нм (нисхідний

канал). Пристрій ONT приймає оптичні сигнали від OLT, перетворює їх у цифрові дані та передає кінцевим пристроям користувача через інтерфейси UNI (User Network Interfaces).

Розподільча частина мережі реалізується за допомогою пасивних оптичних компонентів, які здійснюють поділ (в нисхідному напрямку) та об'єднання (у висхідному напрямку) оптичного сигналу. Найчастіше використовуються розгалужувачі типу 1:N.

Для забезпечення резервування волокон застосовуються двохходові розгалужувачі типу 2:N.

1.2 Схеми передавання трафіку в GPON

У мережах GPON використовується метод інкапсуляції трафіку на основі формування кадрів GEM (GPON Encapsulation Method). Ці кадри вбудовуються в транспортну секцію PON та є незалежними як від типів сервісних інтерфейсів SNI на стороні OLT, так і від типів абонентських інтерфейсів UNI на стороні ONU.

Передача в нисхідному напрямку здійснюється за принципом ширококомовлення – кожному абоненту надсилається весь трафік від OLT. Ідентифікація абонентського терміналу виконується за допомогою унікального ідентифікатора ONU-ID, до якого прив'язуються транспортні контейнери T-CONT. Кожен контейнер асоціюється з одним або кількома портами, визначеними параметром Port-ID.

Абонентський термінал ONU здійснює фільтрацію отриманого трафіку відповідно до значення GEM Port-ID, приймаючи лише призначені для нього пакети. Така модель дозволяє реалізувати ефективне розділення трафіку між користувачами на рівні одного оптичного каналу.

Принцип організації передавання трафіку в GPON та механізм мультиплексування у висхідному напрямку на основі GEM ілюструються на рисунках 1.2 та 1.3.

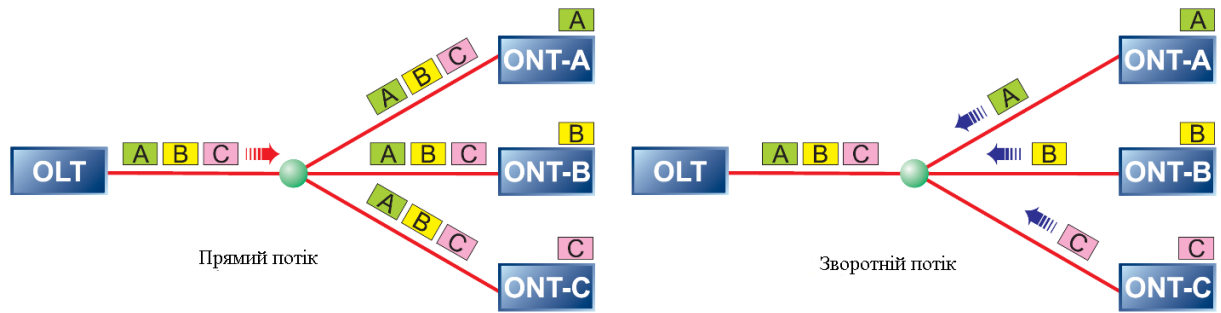


Рисунок 1.2 – Принцип передавання трафіку в мережі GPON

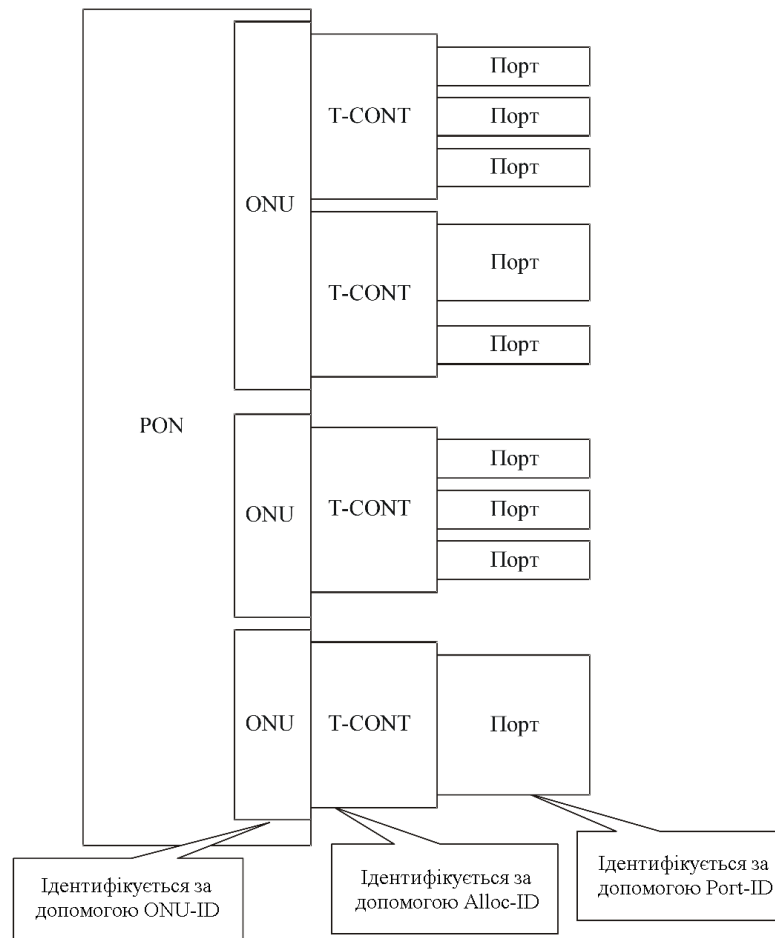


Рисунок 1.3 – Мультиплексування у режимі GEM

1.3 Структура кадрів

У системі GPON структура кадрів визначається архітектурою рівня конвергенції GTC (GPON Transmission Convergence), який складається з двох підрівнів: підрівня формування кадрів GTC Framing Sub-layer і підрівня

адаптації транспортного каналу TC Adaptation Sub-layer. На цьому рівні реалізуються функції управління абонентським трафіком, транспортування даних, захисту, обслуговування, адміністрування та технічної підтримки. На рисунку 1.4 показано стек протоколів системи GTC

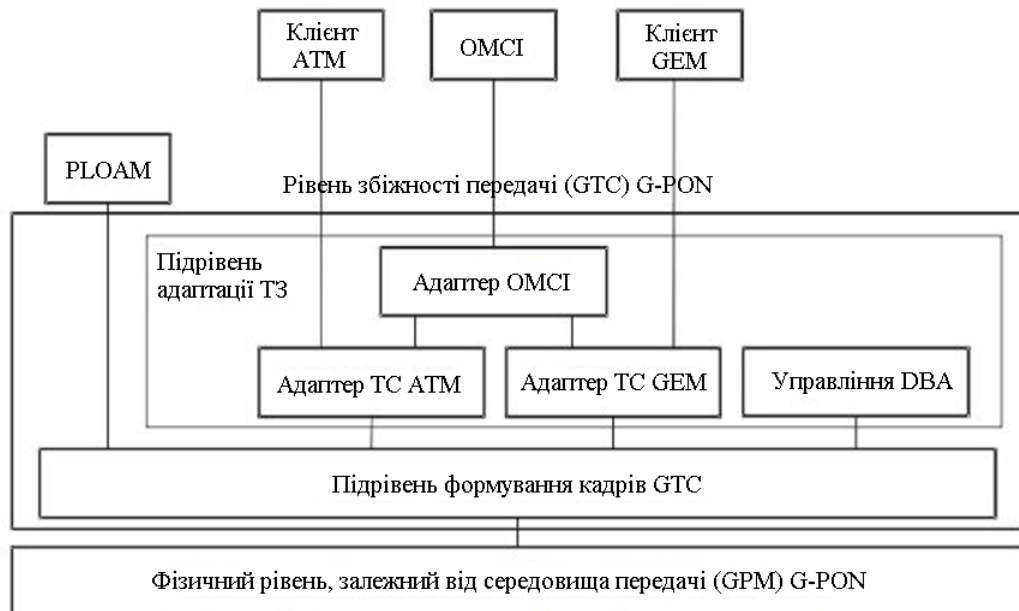


Рисунок 1.4 – Стек протоколів рівня GTC

Підрівень формування кадрів забезпечує глобальну видимість переданої інформації між OLT і ONU, причому рівні кадрювання між цими елементами є синхронізованими.

У заголовок кадра GTC інтегровано службову інформацію OAM (Operations, Administration, Maintenance), яка відповідає за визначення смуги пропускання, перемикавання ключів і сигналізацію динамічного розподілу пропускнуої здатності.

Канал PLOAM (Physical Layer OAM) розміщується у спеціальній області кадру та використовується для передачі керуючих повідомлень, що не передаються в основному OAM-каналі.

Канал OMCI (ONT Management and Control Interface) реалізує управління сервісами верхніх рівнів. Формат трафіку залежить від використовуваного методу інкапсуляції – ATM або GEM.

Для кожного ONU виділяється груповий блок T-CONT, а ідентифікатори Alloc-ID однозначно вказують напрямком висхідного трафіку.

У блоці PCBd (Physical Control Block downstream) вузол OLT формує показники на часові інтервали, у межах яких абонентські пристрої ONU можуть передавати дані. Часові слоти розподіляються відповідно до карти пропускної здатності BWmap (Bandwidth Map).

Кожен кадр має тривалість 125 мкс незалежно від швидкості передачі – 1,24416 Гбіт/с або 2,48832 Гбіт/с. При швидкості 1,24416 Гбіт/с довжина кадру становить 19 440 байтів, а при 2,48832 Гбіт/с – 38 880 байтів.

Діапазон довжин блоку PCBd є однаковим для обох швидкостей і залежить від кількості структур, що розподіляються за одиницю часу.

OLT передає PCBd у ширококомовному режимі, і кожне ONU приймає повний блок, використовуючи його як основу для подальших дій.

Поле Psync (32 біти) містить початкову синхросеквенцію – значення 0xB6AB31E0 – яка дозволяє ONU точно визначити початок кадру.

Поле Ident (32 біти) використовується як лічильник суперкадрів і може служити базою для систем шифрування або синхронізації.

У полі Ident молодші 30 бітів – це лічильник, який інкрементується з кожним кадром і обнуляється при досягненні максимального значення.

Один біт – резервний. Старший біт – індикатор наявності прямого виправлення помилок (FEC) у потоці.

Поле PLOAMd (13 байт) містить службові повідомлення, зокрема аварійні сигнали, пов'язані з перевищенням порогів або ініціацією подій, а також повідомлення, що стосуються активації ONU.

Поле ПЧБ (8 біт) – це контрольна сума для перевірки парності даних, переданих після останнього ПЧБ.

Поле Plend (4 байти) визначає довжину карти розподілу пропускної здатності та АТМ-сегмента, дублюється двічі для підвищення надійності. Поле Bwmap має змінну довжину та складається з $N \times 8$ байтів, де N визначається значенням у полі Plend. У ньому розміщується карта розподілу

пропускної здатності, яка вказує, як саме розподіляється смуга пропускання між різними T-CONT у межах одного кадру. Карта Wmap визначає порядок, у якому абонентські термінали ONU передають дані у висхідному напрямку. Протягом кожного періоду розподілу смуги пропускання (керованого з боку OLT) кожне ONU передає один із чотирьох типів заголовків рівня PON, після чого – користувацькі дані.

Типи заголовків у висхідному потоці:

PLOu (Physical Layer Overhead upstream) – заголовок фізичного рівня;

PLOAMu (Physical Layer Operations, Administration and Maintenance upstream) – службова інформація адміністрування та керування;

PLSu (Power Leveling Sequence upstream) – дані для вирівнювання рівня потужності;

DBRu (Dynamic Bandwidth Report upstream) – звіт про використання динамічної смуги пропускання.

Довжина кадру у висхідному напрямку відповідає довжині кадру у напрямку вниз і становить 125 мкс незалежно від швидкості (1,24416 або 2,48832 Гбіт/с).

Кадр висхідного потоку обов'язково містить щонайменше заголовок PLOu, а також може містити корисне навантаження у вигляді АТМ або GEM-сегментів.

2 ПРОЄКТ МЕРЕЖІ

2.1 Передпроектні роботи для багатоквартирних житлових будинків

У межах даного етапу виконано попередній розрахунок мережі абонентського доступу для умовного міста N.

Проектована мережа повинна забезпечувати надання наступних телекомунікаційних послуг:

- високошвидкісний доступ до мережі Інтернет (починаючи з 10 Мбіт/с);
- передача голосового трафіку (як для VoIP, так і для традиційної телефонії).

Під час проектування мультисервісної телекомунікаційної мережі необхідно враховувати можливість розширення спектра послуг у майбутньому. Наприклад, включення високоякісного телебачення у форматі HDTV (High Definition Television), яке потребує ширини смуги пропускання 15–20 Мбіт/с для одного каналу.

Крім того, слід брати до уваги поступове збільшення навантаження на канал передачі внаслідок зростання попиту на швидкісний доступ до Інтернету [3].

Для побудови проектованої мережі абонентського доступу обрано технологію GPON (Gigabit Passive Optical Network). Для обґрунтування цього вибору проведено порівняльний аналіз переваг і недоліків альтернативних технологій побудови мереж доступу.

Одним із варіантів є використання технології xDSL, яка забезпечує широкосмуговий доступ по симетричних мідних парах. Для підключення кожного абонента необхідно виділити окрему пару, тобто на 100 абонентів потрібно 100 мідних ліній. Такий підхід призводить до значного електромагнітного впливу між лініями, що погіршує якість сигналу, обмежує

швидкість і дальність передавання даних. Крім того, дана технологія не є ефективною для роботи з великими обсягами трафіку, що робить її непридатною для сучасних мультисервісних мереж.

Альтернативою є оптичні технології класу FTTx, у яких волоконно-оптична лінія підводиться до визначеного мережевого вузла (x), після чого дані передаються по іншому типу середовища.

Можливі варіанти:

- FTTCab (Fiber to the Cabinet) – оптичне волокно підводиться до розподільчого вузла (шафи) на вулиці, де встановлюється активне обладнання, як-от DSLAM (ADSL2+ / VDSL2), швидкість передачі даних може досягати 25 Мбіт/с для ADSL2+ та до 100 Мбіт/с для VDSL2 (основним недоліком є використання активного обладнання у розподільчих точках, що потребує живлення, ускладнює монтаж, підвищує витрати на обслуговування та знижує надійність мережі);

- FTTB (Fiber to the Building) – волокно заводиться безпосередньо в будівлю (на базі цього підходу можна реалізувати як активні Ethernet-мережі типу P2P (точка-точка) чи AON, так і пасивну оптичну мережу GPON).

GPON є найефективнішим рішенням для організації пасивної мережі типу FTTH (Fiber to the Home). У цій архітектурі кожен абонент підключається до оптичного розгалужувача, який передає сигнал від одного порту OLT до декількох ONT, що дозволяє мінімізувати кількість волокон на абонентському сегменті.

GPON має низку ключових переваг перед будь-якими активними мережами:

- повністю пасивна інфраструктура між вузлом доступу та абонентом (відсутність живлення на мережі);
- ефективне використання смуги пропускання;
- масштабованість і простота обслуговування;
- можливість інтеграції послуг IPTV, VoIP та високошвидкісного Інтернету в єдиній мережі.

Схема GPON-мережі

На рисунку 2.1 представлена загальна структурна схема побудови мережі GPON, яка включає різні елементи.

- центральний мережевий вузол;
- магістральна ділянка волоконно-оптичної лінії зв'язку;
- оптичні розподільчі шафи (FDT);
- розподільча ділянка оптичної мережі;
- оптичні розподільчі коробки (FDB);
- абонентський сегмент оптичної мережі;
- абонентські термінали ONT на стороні користувача.

До складу центрального мережевого вузла входять:

- оптичний лінійний термінал (OLT);
- мультиплексор спектрального ущільнення WDM MUX;
- передавач кабельного телебачення (CaTV) на довжині хвилі 1550 нм;
- підсилювач телевізійного сигналу;
- кросова панель ODF OLT.

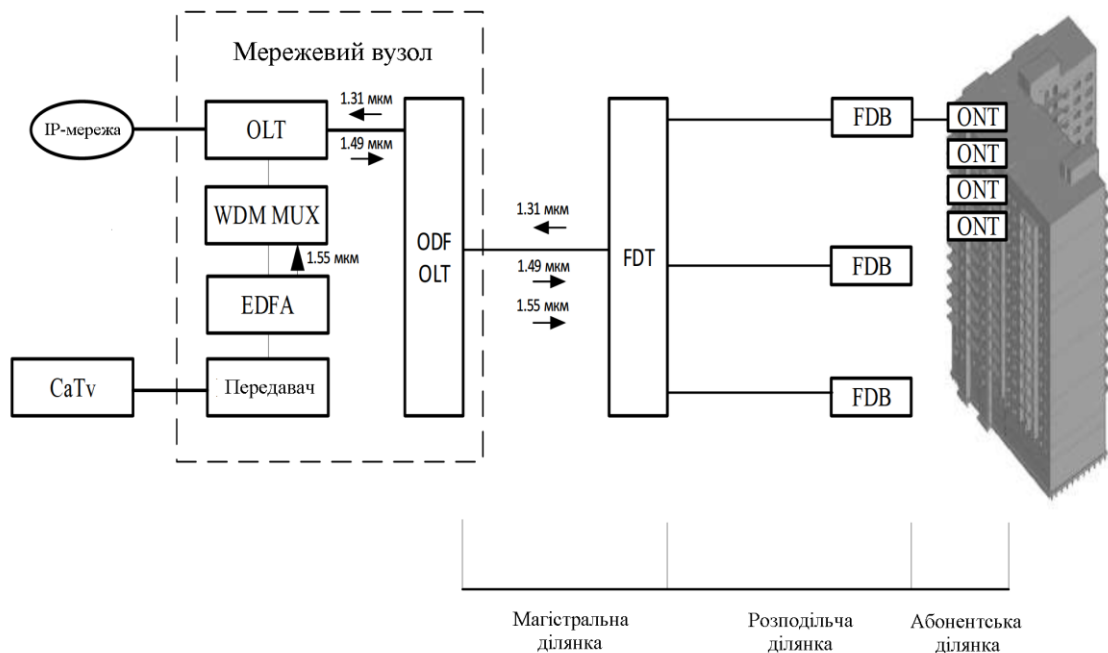


Рисунок 2.1 – Загальна схема проектованої мережі для багатоквартирних будинків

На рисунку 2.2 наведена структурна схема підключення абонентів у під'їздах багатоквартирних будинків.

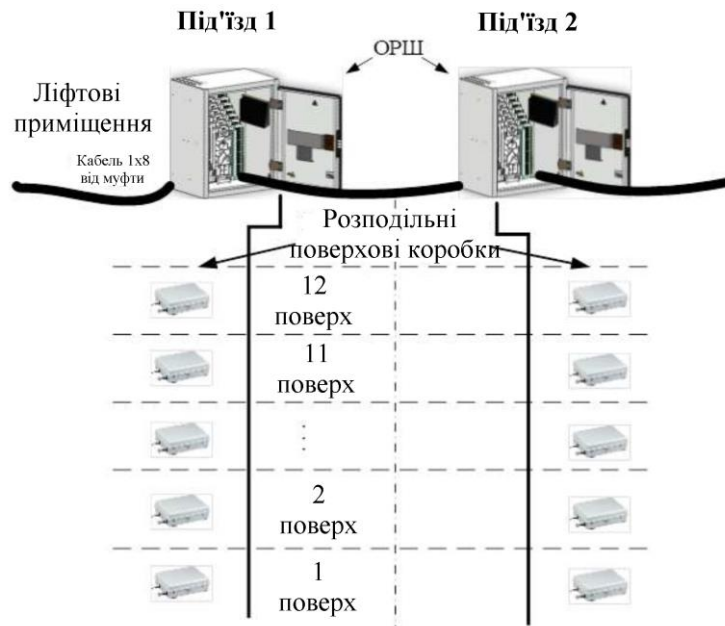


Рисунок 2.2 – Схема підключення багатоквартирних будинків

2.2 Вибір архітектури та топології мережі доступу

Міжнародний союз електрозв'язку (ITU-T) визначає низку варіантів архітектури побудови оптичних мереж доступу [4,6], серед яких:

- FTTB (Fiber to the Building) – волокно до будівлі;
- FTTH (Fiber to the Home) – волокно до квартири;
- FTTO (Fiber to the Office) – волокно до офісу;
- FTTN (Fiber to the Node) – волокно до розподільчого вузла;
- FTTC (Fiber to the Curb) – волокно до розподільної коробки.

Оптична частина мережі доступу може бути реалізована як у пасивному, так і в активному виконанні, а її архітектура може мати тип «точка-точка» (Point-to-Point) або «точка-багатоточка» (Point-to-Multipoint). Кожна з моделей FTTx має свої особливості щодо локалізації абонентського обладнання ONU, типів підтримуваних сервісів і конфігурації абонентських сегментів (рисунок 2.3).

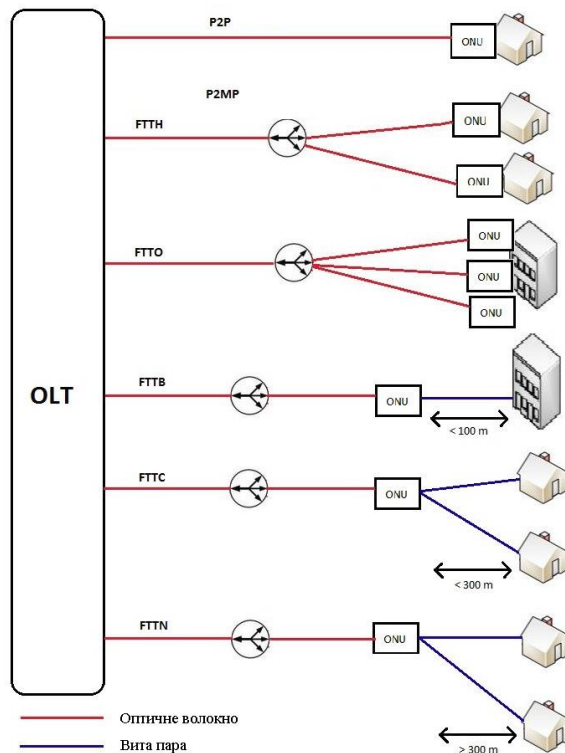


Рисунок 2.3 – Архітектура побудови оптичних мереж доступу

У більшості архітектур FTТх передбачається наявність мідного сегмента мережі на останній ділянці. Натомість підходи FTТН передбачає прокладення волокна безпосередньо до абонента, що дає змогу мінімізувати мідну ділянку та забезпечити вищу пропускну здатність і стабільність з'єднання.

Для коректного вибору архітектурної моделі та топології мережі доступу необхідно враховувати:

- обрану технологію оптичної мережі доступу;
- перелік телекомунікаційних послуг, що надаватимуться кінцевим користувачам;
- щільність забудови та особливості розміщення об'єктів у зоні проектування.

Раціонально обрана топологія дозволяє не лише ефективно експлуатувати мережу, а й забезпечує її масштабованість у майбутньому.

На рисунку 2.4 наведено приклади різних типів топологій мереж доступу.

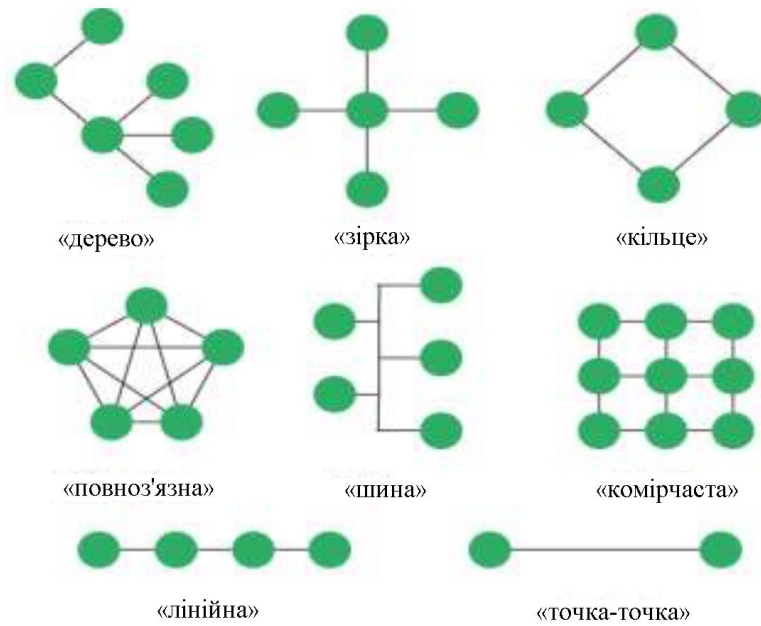


Рисунок 2.4 – Варіанти топологій оптичних мереж доступу

У технології GPON типовою топологією є «точка-багатоточка» (Point-to-Multipoint), яка часто реалізується у формі зірки.

Крім того, можливе використання модифікованих топологій, зокрема типу «дерево» або «шина».

Топологія «зірка» доцільна для зон із високою щільністю забудови та при незначній відстані між абонентами й вузлом OLT.

Топологія «шина» застосовується у малонаселених районах, таких як котеджні містечка, де будинки розташовані вздовж однієї вулиці. Проте вона потребує складного балансування потужностей спліттерів і тому рідко використовується в міських умовах.

Топологія «дерево» є оптимальним рішенням для міських агломерацій з великою концентрацією абонентів у межах зони обслуговування.

2.3 Визначення складу обладнання для багатоквартирних будинків

В якості основного станційного обладнання для мережі доступу на базі технології GPON, обрано мультисервісний вузол доступу й агрегації MA4000-PX. Зовнішній вигляд пристрою представлений на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 – Мультисервісний вузол доступу MA4000-PX

Ключовим компонентом MA4000-PX є масштабований Ethernet-комутатор рівня L2+ – PP4X, який взаємодіє з модулями оптичного доступу PLC8, призначеними для підключення абонентських пристроїв за технологією GPON.

Пристрій виконано у форм-факторі 9U для монтажу в стандартну 19-дюймову телекомунікаційну стійку. Живлення забезпечується модулем МП800, що встановлюється в шасі УЭП2-3. Система підтримує резервування живлення та встановлення другого комутатора для реалізації гарячого резервування, що підвищує надійність та пропускну здатність системи. Один вузол може мати до двох модулів PP4X, як показано на рисунку 2.6.



Рисунок 2.6 – Модуль керування та комутації PP4X

Плата PP4X має такі інтерфейси:

- 2 порти 10/100/1000 Base-T або 1000Base-X (SFP);
- 4 порти 10GBase-R (SFP+) або 1000Base-X (SFP).

Передня панель, індикатори та органи керування модуля зображені на рисунку 2.7.

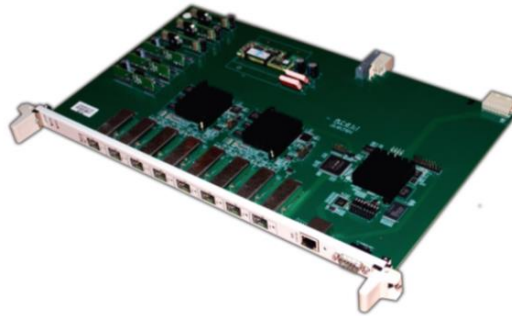


Рисунок 2.7 – GPON-модуль PLC8

Кожен модуль PLC8 підтримує 8 портів типу SFP-xPON. У шасі MA4000-PX можлива установка до 16 модулів PLC8, кожен з яких забезпечує розгалуження сигналу за схемою 1:64. Таким чином, один модуль може обслуговувати до 512 абонентських пристроїв ONT, передаючи дані на швидкості до 2,5 Гбіт/с у напрямку до користувача.

Всі модулі взаємодіють між собою через магістральний інтерфейс 10 Гбіт/с. Загальна схема підключення модулів у шасі показана на рисунку 2.8.

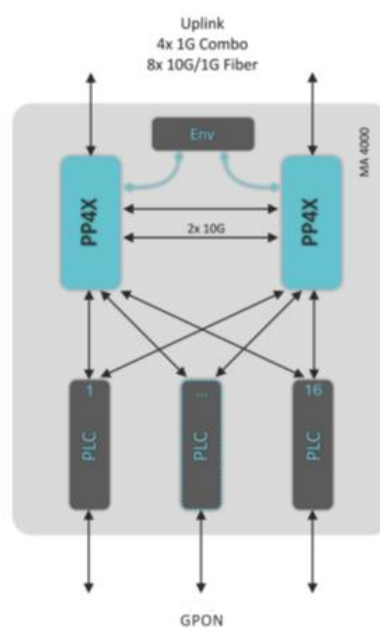


Рисунок 2.8 – Схема підключення модулів у шасі MA4000

Зовнішній вигляд шасі наведено на рисунку 2.9.



Рисунок 2.9 – Шасі MA4000-PX

Шасі має 18 слотів для встановлення модулів:

- 2 центральні слоти – для комутаторів PP4X (можливість резервування);
- 16 універсальних слотів – для встановлення PLC8;
- 2 модулі живлення забезпечують безперебійне резервне живлення та захист від помилкового підключення.

Для інтеграції сигналу кабельного телебачення (довжина хвилі 1550 нм) використовується підсилювач EDFA, а об'єднання сигналів здійснюється в оптичному суматорі.

Магістральний сегмент мережі

Для прокладання магістральної лінії (від головної станції до розподільного пункту) використовується волоконно-оптичний кабель типу ДПОМ, призначений для монтажу по повітряних лініях міської інфраструктури.

Особливості кабелю ДПОМ:

- модульна конструкція з гідрофобним гелем;
- зовнішня оболонка – поліетилен високої міцності;
- центральний силовий елемент (ЦСЕ) обмотано водовідштовхувальними нитками;

- периферійне армування – сталевий трос або склопластик;
- допустиме натягування – до 12 кН, що дозволяє збільшити відстань між опорами до 150 м.

Технічні характеристики кабелю ДПОм:

- робочий температурний діапазон: $-60\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +70\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- допустиме розтягувальне зусилля: 4–12 кН;
- стійкість до роздавлення: не менше 0,5 кН/см;
- кількість волокон – до 144.

У вузлах розподілу встановлюються оптичні розподільні шафи (ОРШ), від яких кабелі меншої ємності прокладаються до будівель.

Розподільчий сегмент

У багатоповерхових будинках використовується кабель вертикального прокладання ОМВ.

Характеристики кабелю ОМВ:

- пожегобезпечний;
- мінімізує токсичність під час горіння;
- має силові елементи для захисту від скручування;
- мікромодульна конструкція (один мікромодуль – на один поверх).

На кожному поверсі встановлюється оптичний спліттер, що забезпечує з'єднання з абонентськими лініями.

Для внутрішньої проводки до абонента застосовується кабель ОВП-2Д, що стійкий до згинання й тиску.

Прокладається двоволоконний кабель, одне з волокон резервне.

На стороні абонента встановлюються відповідно до потреб користувача:

- NTU-1,
- NTU-2VC,
- NTU-RG-1421GC-Wac.

Приклад пристрою ONT NTU-RG-1421GC-Wac представлений на рисунку 2.10.



Рисунок 2.10 – Абонентський пристрій NTU-RG-1421GC-Wac

Кожен термінал підключається через GPON-порт до розподільчої оптичної мережі.

2.4 Розробка схеми розподільчої мережі для багатоквартирних будинків

Вихідні дані, необхідні для проектування розподільчої оптичної мережі у багатоквартирному житловому фонді, наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для проектування

| Параметр | Значення |
|--|-------------|
| Кількість абонентів у міській мережі (дві будівлі) | 768 квартир |
| Поверховість одного будинку | 12 поверхів |
| Кількість під'їздів у кожному будинку | 8 під'їздів |

На основі вхідних даних розробляється схема розподільчої мережі, що передбачає три рівні структури.

Магістральний рівень (від ГШ до ОРШ):

- прокладка волоконно-оптичного кабелю ДПОМ по опорах міських ліній зв'язку;
- завершення лінії в оптичному розподільчому шафі (ОРШ), з якого відходять кабелі меншої ємності до будинків.

Розподільчий рівень (від ОРШ до поверхів будинку):

- у стояках будинку прокладається кабель типу ОМВ, у складі якого на кожен поверх передбачено окремий мікромодуль;

- на кожному поверсі встановлюється оптичний спліттер з розгалуженням 1:4 або 1:8, який з'єднує вертикальний кабель з абонентськими лініями.

Абонентський рівень (від поверхового спліттера до абонента):

- до кожної квартири прокладається двоволоконний кабель ОВП-2Д, з можливістю резервування;

- у квартирі встановлюється ONT-пристрій (наприклад, NTU-RG-1421GC-Wac) з підключенням до GPON-порту.

У подальшому розглянемо побудову мережі на прикладі житлового кластеру в умовному місті N, що охоплює багатоповерхову забудову. Схематичне розміщення будинків і структурна організація підключення наведені на рисунку 2.11.

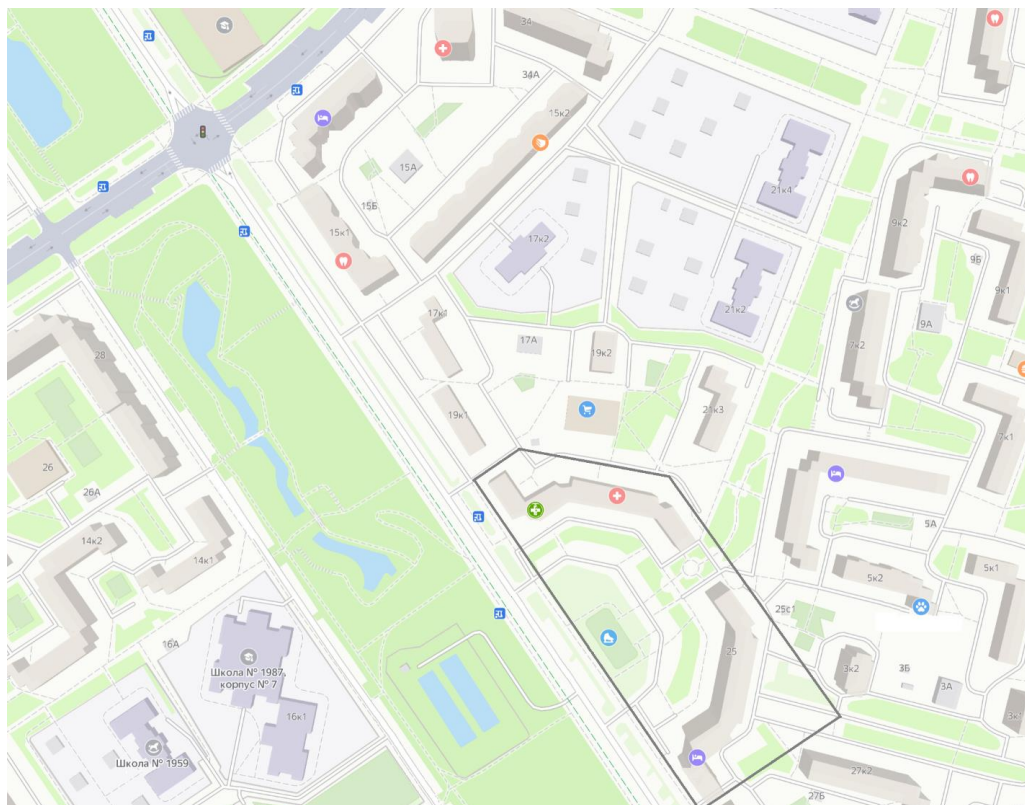


Рисунок 2.11 – Кластер вулиць для проектованої мережі G-PON

До складу кластеру входять два багатоквартирні житлові будинки. Інформація щодо кількості під'їздів та загальної кількості квартир наведена у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Характеристики житлових будинків

| Вулиця | Номер будинку | Поверховість | Кількість під'їздів | Кількість квартир |
|------------------|---------------|--------------|---------------------|-------------------|
| Весняний бульвар | 21к1 | 12 | 8 | 384 |
| Весняний бульвар | 25 | 12 | 8 | 384 |

Розрахунок необхідної ємності волокон для магістрального оптичного кабелю здійснюється за формулою (2.1), що враховує максимальний коефіцієнт розгалуження спліттера та 30% резерву на резервні волокна:

$$N_{об} = \frac{N_{онт}}{64} \cdot 1,3, \quad (2.1)$$

Для підключення 768 абонентських пристроїв у мережі GPON потрібно:

$$N_{об} = \frac{768}{64} + \frac{768 \cdot 0,3}{64} = 12 + 4 = 16.$$

Розрахунок показує, що для підключення 768 абонентів необхідно 16 оптичних волокон, з урахуванням 30% резерву (4 волокна).

На магістральному відрізку мережі використовується волоконно-оптичний кабель ДПОм-144У(9×16)-9кН, що забезпечує достатню ємність і механічну міцність для прокладки по повітряних лініях зв'язку.

Для підключення двох багатоквартирних будинків до магістральної лінії використовується оптична муфта CV015-144, а також окремі кабелі від того ж виробника типу ДПОм-08У(1×8)-6кН до кожного будинку. Кожному під'їзду виділяється одне оптичне волокно, що відповідає кількості квартир у під'їзді – 64, за умови використання коефіцієнта розгалуження 1:64.

Для вертикального розведення кабелю в межах будинку застосовується вогнестійкий вертикальний кабель типу ОМВ-нг(А)-64(16×4), який містить 16 мікромодулів по 4 волокна в кожному – по одному модулю на кожен поверх 12-поверхового будинку з запасом.

У кожному під'їзді встановлюється оптичний крос ШКОН-КПВ-64(2), у якому розміщується:

- PLC-спліттер SNR-PLC-1×64-SC/APC для розгалуження сигналу з магістральної лінії;
- два кросові модулі К-32SC-32SC/APC-32SC/APC ССД КПВ для підключення вертикального стояка кабелю ОМВ;
- один відкидний модуль К-16SC-16SC/APC-16SC/APC ССД КПВ – для транзитного з'єднання з наступними під'їздами або організації резерву.

На кожному поверсі розміщується оптична розподільна коробка типу КРТО-12Л, яка забезпечує термінування волокон з вертикального стояка.

Від розподільної коробки до абонентського приміщення прокладається кабель абонентського підключення типу ОВП-2Д-нг(А)-HF 2-0,4 кН, який відзначається стійкістю до вигину, низьким димовиділенням і підвищеною механічною міцністю.

Загальна схема підключення багатоквартирних будинків до мережі GPON представлена на рисунку 2.12.

Магістральна ділянка мережі GPON покладатиметься вздовж вулиці Весняний бульвар і забезпечуватиме підключення абонентських сегментів, зокрема кластера, що включає два 12-поверхові багатоквартирні будинки.

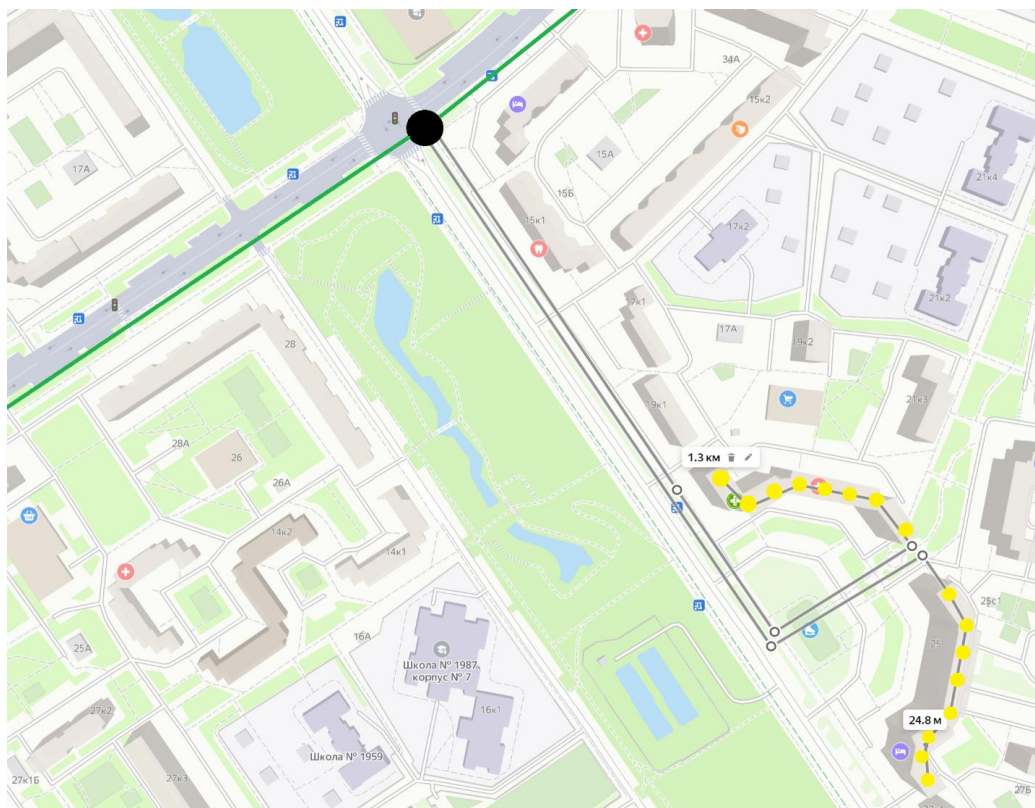
Для реалізації мережі доступу:

- магістральний оптичний кабель типу ДПОМ-144У(9×16)-9кН прокладається по опорах повітряної лінії зв'язку до району забудови.
- муфта CV015-144 використовується для розгалуження волокон на відгалуження до кожного будинку.
- до кожного з двох будинків підведено окремий кабель типу ДПОМ-08У(1×8)-6кН.

- у кожному під'їзді встановлюється оптичний розподільний шафа типу ШКОН-КПВ-64(2) з оптичним PLC-спліттером 1:64, що забезпечує розподіл сигналу на 64 абонентські лінії.

- на кожному поверсі розміщується оптична розподільна коробка (КРТО-12Л), від якої абонентський кабель ОВП-2Д-нг(А)-HF 2-0,4 кН заводиться безпосередньо у квартиру.

- у квартирі встановлюється абонентське кінцеве обладнання типу NTU-RG-1421GC-Was, яке підключається через GPON-порт.



- Магістральний кабель
- Розподільний кабель
- Розподільча муфта
- Спліттери та будинкові кроси

Рисунок 2.12 – Схема розподільчої мережі GPON

Така архітектура дозволяє побудувати надійну, масштабовану і просту в обслуговуванні мережу доступу на основі технології GPON, що забезпечує кожному абоненту пропускну здатність до 2.5 Гбіт/с у напрямку до користувача і 1.25 Гбіт/с у зворотному напрямку.

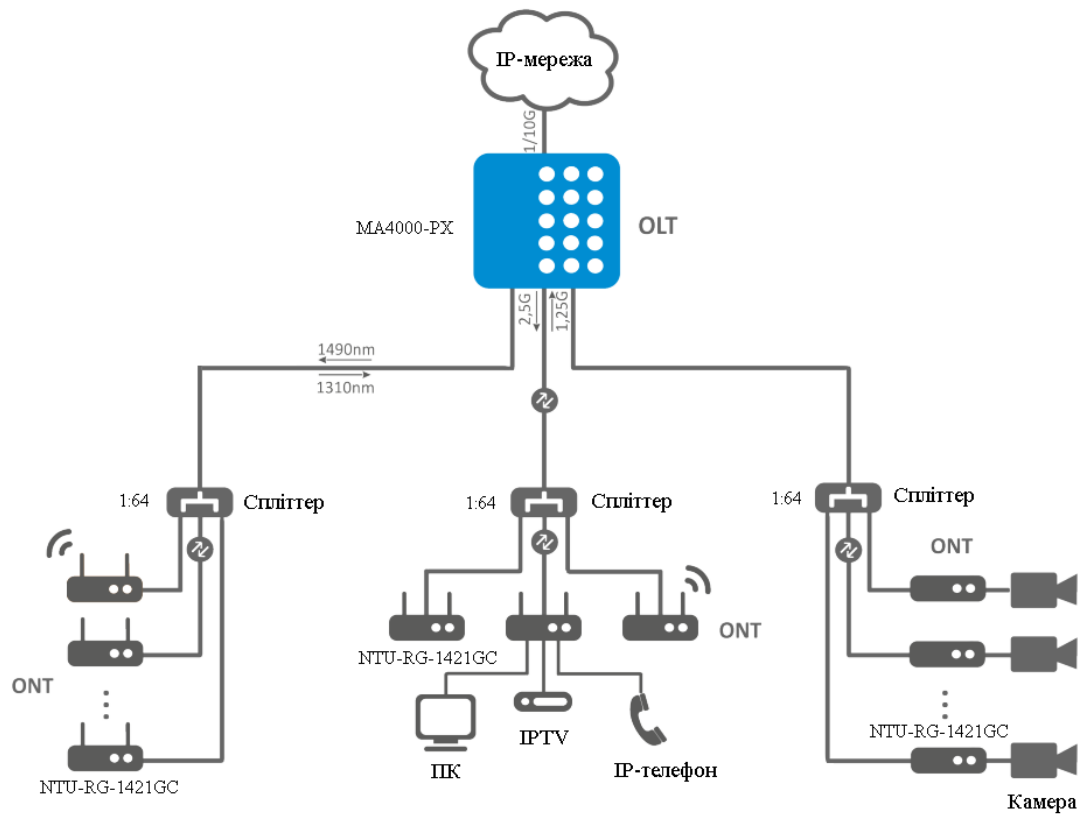


Рисунок 2.13 – Схема проектованої мережі

2.5 Розрахунок необхідного обладнання для багатоквартирних будинків

Таблиця 2.3 – Склад обладнання для підключення 768 квартир

| № | Найменування обладнання | Кількість | Примітка |
|----|--|-----------|--|
| 1 | Комутатор MA4000-PX | 1 | Мультисервісний вузол доступу |
| 2 | Центральний комутатор PP4X | 1 | L2+ комутатор, 10G uplink |
| 3 | Модуль інтерфейсний PLC8 | 2 | 8 портів SFP-xPON, кожен обслуговує 64 ONU |
| 4 | Модуль живлення MП800 | 1 | У корпусі УЭП2-3 |
| 5 | Шасі УЭП2-3 | 1 | Для встановлення модулів MA4000-PX |
| 6 | PLC-спліттери 1×64 (SNR-PLC-1x64-SC/APC) | 16 | По одному на кожен під'їзд |
| 7 | Кроси ШКОН-КПВ-64(2) | 16 | Установлюються у кожному під'їзді |
| 8 | Крос-модулі K-32SC-32SC/APC | 32 | По два в кожен ШКОН |
| 9 | Крос-модулі K-16SC-16SC/APC | 16 | Для резерву та передачі сигналу далі |
| 10 | ОРК типу КРТО-12Л | 192 | По одній на кожен поверх (12 пов. × 16 під.) |
| 11 | Абонентські термінали NTU-RG-1421GC-Wac | 768 | Один на кожна квартиру |

Для організації доступу до мережі в кластері з двох багатоквартирних будинків (вул. Весняний бульвар, буд. 21 та 25) загальна кількість абонентів становить 768 квартир. Для підключення такої кількості користувачів через обладнання MA4000-PX використовується оптичний інтерфейсний модуль PLC8, який має 8 портів SFP-xPON, кожен з яких дозволяє обслуговувати до 64 абонентів при максимальному коефіцієнті розгалуження 1:64.

Для забезпечення підключення 768 квартир необхідно:

- 2 інтерфейсних модулі PLC8, з запасом для резерву чи подальшого розширення.
- комутатор керування та агрегації;
- один центральний комутатор PP4X (можливе встановлення другого – для резервування та збільшення пропускної здатності);
- один модуль живлення МП800 у шасі УЭП2-3;
- за потреби – другий модуль МП800 для резервного живлення.

3 НАДІЙНІСТЬ МЕРЕЖІ ТА РЕЗЕРВУВАННЯ

Надійність мережі доступу та її резервування – один із ключових аспектів, що розглядається на етапі проектування, оскільки він безпосередньо впливає на подальшу експлуатацію та технічне обслуговування.

Для оцінки надійності використовується показник середнього часу напрацювання на відмову (Mean Time Between Failures – MTBF) для активного обладнання.

Іншим критичним параметром є доступність мережі, яка визначається як загальний час упродовж року, протягом якого абонент мав безперебійний доступ до сервісу. Доступність напряму для передачі залежить від таких факторів:

- надійності активного обладнання,
- архітектури та якості розподільчої оптичної мережі,
- застосованих методів резервування,
- часу виявлення та усунення несправностей.
- У межах цього проекту передбачається, що:
 - неполадки на вузлі доступу можуть бути ліквідовані протягом 2 годин;
 - локалізація та усунення несправностей на лінійній ділянці або абонентському сегменті здійснюється протягом 24 годин з моменту виявлення.

Середній час напрацювання на відмову:

$$T_{0L} = T_{0M} \cdot \frac{L_M}{L} \quad (3.1)$$

де T_{0M} – середній час між відмовами для оптичної лінії зв'язку L_M довжиною 200 км.

Коефіцієнт готовності визначаємо за формулою:

$$K_{rL} = \left[1 + \frac{L \cdot (1 - K_{rM})}{L_M \cdot K_{rM}} \right]^{-1} \quad (3.2)$$

де K_{rM} – коефіцієнт готовності для оптичної лінії зв'язку L_M довжиною 200 км.

Результати розрахунку для міської мережі доступу будуть наступними:

$$T_{0M} = 7000 \cdot 200 / (3,5 + 1,3 + 1,085) = 237901 \text{ год},$$

$$K_{rM} = [1 + (5,885 \cdot (1 - 0,9994)) / (200 \cdot 0,9994)]^{-1} = 0,9999823.$$

При використанні деревоподібної топології PON без резервування час простою мережі становить близько 35 хвилин на рік, що задовольняє необхідну величину часу простою для мультисервісних мереж доступу (53 хв/рік).

Беручи до уваги, що найчастіше аварійні ситуації у мережі пов'язані з механічними ушкодженнями – урвищем оптичного волокна, питання резервування оптичного тракту є актуальним.

Міжнародним форумом FSAN спільно з Міжнародним союзом електрозв'язку (МСЕ-Т) у рамках рекомендації G.983.1В визначає необхідність резервування волокон на ділянках між вузлом доступу OLT та спліттерними блоками FDH, в яких передається загальний трафік від кількох абонентів (рисунок 3.1) [5].

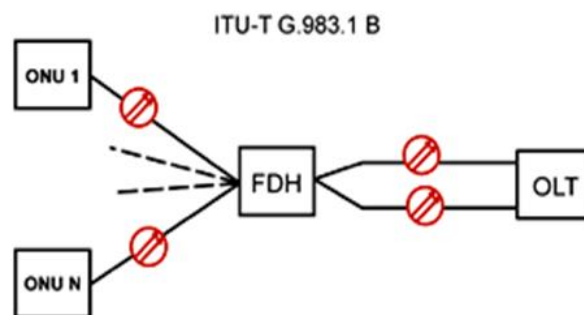


Рисунок 3.1 – Варіант 1 резервування мережі PON

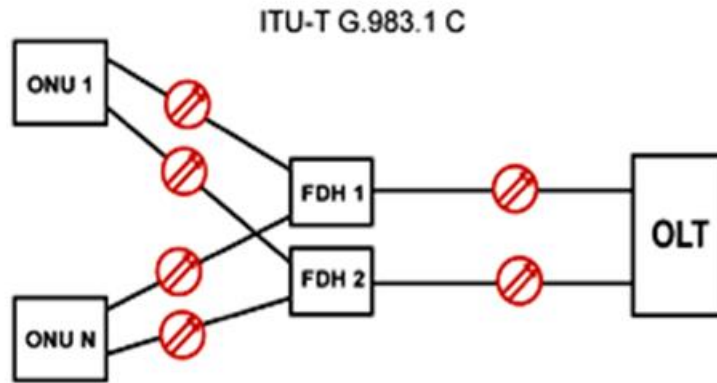


Рисунок 3.2 – Варіанти 2 резервування мережі PON

На етапі проектування пасивної оптичної мережі GPON особлива увага приділяється підвищенню її надійності шляхом впровадження резервування критичних елементів.

Залежно від обраної схеми резервування досягається різний рівень доступності мережі.

У першому варіанті резервування (із повним дублюванням усіх ключових елементів) забезпечується час недоступності не більше ніж 90 хвилин на рік, що перевищує вимоги стандартів. Другий варіант, рекомендований специфікацією ITU-T G.983.1C, передбачає дублювання каналу на ділянці PON, що дозволяє зменшити річний час простою до 53 хвилин.

Основні принципи резервування при проектуванні мережі доступу GPON:

- на станційному рівні передбачається резервування всіх основних елементів активного обладнання, а також забезпечення гарантованого електроживлення для підтримання працездатності системи у разі аварійної ситуації;

- магістральна ділянка повинна бути зарезервована шляхом прокладання незалежного резервного волоконно-оптичного кабелю, що підводиться до розподільчих муфт або головного розподільчого шафи (ГРШ) окремою трасою;

- резерв оптичних волокон у магістральному кабелі організовується за схемою 1+1 – на кожне робоче волокно передбачається одне резервне;
- у випадку, якщо в навантаженні присутні понад 8 волокон, допустиме зменшення обсягу резерву з розрахунку на кожні 2 робочі волокна – одне резервне;
- для абонентської ділянки передбачається використання кабелю з додатковими резервними волокнами, які можуть бути задіяні у разі пошкодження основної лінії.

Всі вищенаведені вимоги щодо підвищення надійності було враховано при розробці проекту мережі доступу GPON для житлового кластера. Таким чином, забезпечується баланс між технічною надійністю системи та економічною доцільністю впровадження резервних рішень.

4 ОПТИЧНИЙ БЮДЖЕТ ПОТУЖНОСТІ ДЛЯ ПРОЄКТОВАНОЇ МЕРЕЖІ

4.1 Розрахунок енергетичного бюджету системи

Головним параметром у проектуванні мережі за технологією GPON є оптичний бюджет потужності (ОБП) [7,8]. ОБП показує максимальне значення згасання на ділянці від OLT до абонентського обладнання.

ОБП можна розрахувати за формулою 4.1, використовуючи технічні характеристики активного обладнання мережі, що проектується (таблиця 4.1)

$$P_{\text{опт}} = P_{\text{прд}} - P_{\text{пр}} \quad (4.1)$$

Таблиця 4.1 – Технічні характеристики активного обладнання

| Параметр | | SFP-x PON (Class B+) | NTU-RG1421GC-W |
|----------------------------|-----|-------------------------|----------------|
| Чутливість приймача, дБм | min | -8 | -4 |
| | max | -28 | -28 |
| Потужність передавача, дБм | min | +1,5 | +0,5 |
| | max | +5 | +5 |

Енергетичний (оптичний) бюджет системи розраховується в обох напрямках – прямому (від OLT до ONU) та зворотному (від ONU до OLT) та має діапазон значень. Бюджет визначається як різниця між максимальною вихідною потужністю передавача та чутливістю приймача.

Максимальний ОБП у прямому напрямку:

$$P_{\text{опт}\downarrow\text{макс}} = 5 - (-28) = 33 \text{ (дБм)}.$$

Мінімальний ОБП у прямому напрямку:

$$P_{\text{опт}\downarrow\text{мин}} = 1,5 - (-4) = 5,5 \text{ (дБм)}.$$

Максимальний ОБП у зворотному напрямку:

$$P_{\text{опт}\uparrow\text{макс}} = 5 - (-28) = 33 \text{ (дБм)}.$$

Мінімальний ОБП у зворотному напрямку:

$$P_{\text{опт}\uparrow\text{мин}} = 0,5 - (-8) = 8,5 \text{ (дБм)}.$$

Відповідно сумарне згасання на всій ділянці мережі має бути в таких межах:

- у прямому напрямку від 5,5 до 33 дБм;
- у зворотному напрямку від 8,5 до 33 дБм.

Оптичний бюджет потужності повинен допускати деякі відхилення в робочих характеристиках системи, не позначаючи коефіцієнт помилок для мережі GPON (BER = 10⁻⁹).

У даному проєкті величина експлуатаційного запасу приймається рівною 5 дБм.

Цей запас забезпечує стійкість системи до змін параметрів лінії, старіння оптичних компонентів, механічних пошкоджень з'єднань або можливих втрат у процесі обслуговування.

4.2 Розрахунок втрат на лінійній ділянці GPON

В основі розрахунку втрат лежать значення ослаблення для оптичного волокна, зварних і рознімних з'єднань, а також пасивних елементів мережі. Джерела втрат наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Втрати в елементах мережі GPON

| Джерело втрат | Значення, дБ |
|---------------------------------|--------------|
| Оптичне волокно (1310 нм) на км | 0,34 |
| Оптичне волокно (1490 нм) на км | 0,22 |
| Оптичне волокно (1550 нм) на км | 0,2 |
| Зварне з'єднання | 0,1 |
| Рознімне з'єднання | 0,3 |
| Спліттер 1:64 | 17,5 |
| WDM-мультиплексор | 0,4 |

На рисунку 4.1 представлено розташування з'єднувальних точок, пасивного обладнання та довжини всіх сегментів оптичної лінії зв'язку від головного обладнання OLT до абонентського терміналу будинка №25 (міська мережа доступу).

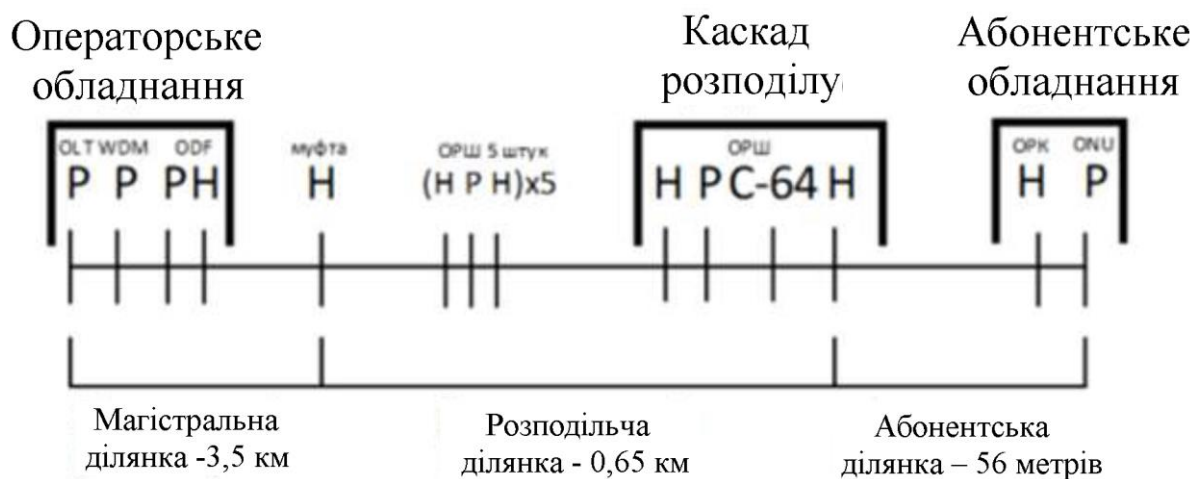


Рисунок 4.1 – Ділянка мережі від OLT до абонента

Сумарні втрати на лінії визначаються сумою втрат кожного пасивного елемента мережі (A_{Π}), роз'ємними з'єднаннями (A_p) і нероз'ємними (A_H), а також в кабелі (A_k).

Отже, сумарні оптичні витрати обчислюються так.

$$A_{\Sigma} = A_k \cdot L_{\Sigma} + N_p \cdot A_p + N_H \cdot A_H + A_{\Pi} + A_{\varepsilon} \quad (4.2)$$

де N_p – кількість роз'ємних з'єднань;

N_H – кількість нероз'ємних з'єднань;

A_{ε} – експлуатаційний запас (5 дБм);

a_k – значення загасання кабелю на км;

L_{Σ} – довжина кабелю.

Пасивними елементами, що вносять втрати, на цій ділянці мережі є WDM – мультиплексор та один спліттер з коефіцієнтами розгалуження 1:64.

Сумарна протяжність лінії зв'язку від станційного обладнання до абонента у місті N:

$$L_{\Sigma} = 3,5 + 0,65 + 0,03 + 0,003 \cdot 12 + 0,02 = 4,236 \text{ км.}$$

Враховуючи дані у таблиці 4.2 визначимо сумарні втрати на лініях у місті N для довжин хвиль 1310 нм, 1490 нм, 1550 нм.

$$A_{\Sigma 1310\text{нм}} = 4,236 \cdot 0,34 + 10 \cdot 0,3 + 12 \cdot 0,1 + 17,5 + 0,4 + 5 = 28,54 \text{ дБм,}$$

$$A_{\Sigma 1490\text{нм}} = 4,236 \cdot 0,22 + 10 \cdot 0,3 + 12 \cdot 0,1 + 17,5 + 0,4 = 28,03 \text{ дБм,}$$

$$A_{\Sigma 1550\text{нм}} = 4,236 \cdot 0,2 + 10 \cdot 0,3 + 12 \cdot 0,1 + 17,5 + 0,4 = 27,95 \text{ дБм.}$$

Бюджет потужності на довжині хвилі λ складає:

$$\text{ОБМ}_{\lambda} = A_d - A_{\Sigma \lambda}. \quad (4.3)$$

У конкретному випадку (при $A_d = 33$ дБм, згідно з пунктом 4.1):

$$ОБМ_{1310\text{нм}} = A_d - A_{\Sigma 1310\text{нм}} = 33 - 28,54 = 4,46 \text{ дБм};$$

$$ОБМ_{1490\text{нм}} = A_d - A_{\Sigma 1490\text{нм}} = 33 - 28,03 = 4,97 \text{ дБм};$$

$$ОБМ_{1550\text{нм}} = A_d - A_{\Sigma 1550\text{нм}} = 33 - 27,95 = 5,05 \text{ дБм}.$$

З урахуванням експлуатаційного запасу, загальні втрати на всій ділянці мережі відповідають технічним вимогам активного обладнання для всіх робочих довжин хвиль.

Запроектована мережа GPON є працездатною та має резерв по потужності.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи було спроектовано оптичну мережу широкосмугового доступу на базі технології GPON для житлового кластеру міського мікрорайону, що включає два багатоквартирні будинки.

Основними перевагами GPON є:

- забезпечення широкосмугового доступу до мережевих послуг;
- можливість масштабування без суттєвих змін в архітектурі мережі;
- забезпечення перспектив підвищення швидкості доступу.

У межах кваліфікаційної роботи виконано:

- розрахунок повного складу обладнання для побудови мережі доступу;
- вибір типу кабельної інфраструктури;
- визначення параметрів резервування для підвищення надійності мережі;
- розрахунок оптичного бюджету потужності, що підтвердив достатній енергетичний запас для забезпечення послугами всіх абонентів.

Використання технології G-PON дозволяє у разі потреби швидко та з мінімальними капітальними витратами модернізувати мережу, наприклад, шляхом переходу на рішення з вищою швидкістю доступу, що формує необхідне підґрунтя для впровадження сервісів нового покоління.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Хелд Г. Технологии передачи данных [Текст] : книга / Г. Хелд. Эксмо, 2015 г. 357 с.
2. Росляков А.В., Самсонов М.Ю. Мережі наступного покоління NGN / А.В. Росляков, М.Ю. Самсонов –Еко-Трендз, 2008. – 449 с.
3. Соколов Н.А. Мережі доступу FTTx. Принципи побудови. / Н.А. Соколов. ЗАТ "ІГ" Ентер-профі, 2006, 308 с.
4. Парфьонов Ю.А., Мірошніков Д.Г. Остання миля на мідних кабелях. - ЕКО-Трендз, 2001. –222с.
5. Семенов А.Ю. Пасивні оптичні мережі./ А.Ю. Семенов - М: Радіо і зв'язок, 2009, 317с.
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.