

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет економіки та підприємництва

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

В.о. завідувача кафедри комп'ютерних наук та економічної
кібернетики д.е.н., професор _____ С.В. Коляденко

«__» _____ 2023 р.

Дищук Павло Васильович

ПРОЄКТУВАННЯ СУЧАСНИХ ПОСЛУГ ЗВ'ЯЗКУ ЗА
ДОПОМОГОЮ ТЕХНОЛОГІЇ РОН

Робота на здобуття першого (бакалаврського)
освітнього ступеню

Науковий керівник
д.е.н., професор
кафедри комп'ютерних
наук та економічної
кібернетики
Коляденко С.В.

ВІННИЦЯ – 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ЕКОНОМІКИ ТА ПІДПРИЄМНИЦТВА
Кафедра комп'ютерних наук та економічної кібернетики

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о.завідувача кафедри

« _____ » _____ 202_ р.

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

Дищуку Павлу Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проектування сучасних послуг зв'язку за допомогою технології PON

затверджена наказом по університету від «29» грудня 2022 року № 464д

Керівник Коляденко Світлана Василівна, д.е.н., професор

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

2. Строк подання студентом роботи 08.05.23 р.

3. Вихідні дані до роботи обґрунтувати параметри оптичної частини мережі; розробити алгоритм розрахунку параметрів оптичної частини Мережі; побудувати розподільну мережу GPON (з постановкою завдання); розробити налагодження оптичної мережі за технологією GPON; провести тестування мережі; розрахувати її параметри

4. Календарний план виконання кваліфікаційної роботи

Структура роботи	Термін підготовки
<i>ВСТУП</i>	27.05.23
<i>РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ</i>	27.05.23
<i>РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ АРХІТЕКТУРИ ТА ПРИНЦИПУ ДІЇ ТЕХНОЛОГІЇ PON</i>	28.02.23
<i>РОЗДІЛ 3 АЛГОРИТМ ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖ ДОСТУПУ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ PON</i>	31.03.23
<i>ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ</i>	14.04.23
<i>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</i>	14.04.23

5. Термін подання роботи на кафедру для попереднього захисту 03.05.23 р.

Завдання видав «28» грудня 2022 р. Керівник Коляденко С.В.

(підпис)

Дипломник Дищук П.В.

(підпис)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ	7
1.1. Виникнення технології PON.....	7
1.2. Топології мережі PON.....	9
1.3. Стандарти PON.....	12
1.4. Постановка задачі.....	13
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ АРХІТЕКТУРИ ТА ПРИНЦИПУ ДІЇ ТЕХНОЛОГІЇ PON.....	14
2.1 Основні елементи PON	14
2.2 Організація архітектурного рішення FTTH на базі PON	17
РОЗДІЛ 3. АЛГОРИТМ ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖ ДОСТУПУ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ PON.....	23
3.1. Обґрунтування параметрів оптичної частини мережі	23
3.2. Розробка алгоритму розрахунку параметрів оптичної частини Мережі ..	28
3.3. Побудова розподільної мережі GPON.....	33
3.3.1. Постановка завдання	35
3.4. Налаштування оптичної мережі за технологією GPON	40
3.5. Тестування мережі.....	45
3.6. Розрахунок параметрів мережі	48
ВИСНОВКИ	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	55
ДОДАТКИ	57

ВСТУП

Актуальність теми. Тема «Проектування сучасних послуг зв'язку за допомогою технології PON» актуальна в сучасному світі, оскільки технології зв'язку є невід'ємною частиною нашого життя. Зростаюча кількість людей використовує інтернет, мобільний зв'язок та телевізійні послуги, що ставить перед провайдерами зв'язку завдання покращити якість послуг та забезпечити надійність мереж.

Технологія PON (Passive Optical Network) є однією з найбільш перспективних технологій зв'язку, оскільки дозволяє передавати великі обсяги даних з високою швидкістю та забезпечувати високу якість послуг. Використання технології PON дозволяє провайдерам зв'язку знизити витрати на обладнання та енергоспоживання, що є важливим чинником в сучасних умовах.

Проектування сучасних послуг зв'язку за допомогою технології PON передбачає використання новітніх технологій та інструментів для розробки та впровадження мережі зв'язку, що забезпечує високу якість послуг та задоволеність клієнтів. Таким чином, тема актуальна для провайдерів зв'язку, які хочуть покращити якість послуг та забезпечити конкурентоспроможність на ринку.

Метою дослідження є визначення можливостей технології PON для проектування та надання сучасних послуг зв'язку, а також оцінка ефективності використання цієї технології для покращення якості та ефективності мережі зв'язку. Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

1. Дослідити історію виникнення технології PON та її розвиток до сьогодення.
2. Проаналізувати різні топології мережі PON та порівняти їх переваги та недоліки.
3. Дослідити стандарти PON та їх різновиди, визначити особливості кожного стандарту та порівняти їх ефективність.

4. Розглянути постановку задачі побудови оптичної мережі на базі технологій PON, виконати основні вимоги до мережі та зробити аналіз їх реалізації.

5. Дослідити основні елементи PON та їх функції.

6. Дослідити організацію архітектурного рішення FTTH можливо на базі PON, щоб проаналізувати його ефективність.

7. Обґрунтувати параметри оптичної частини мережі, проаналізувати різні параметри та їх вплив на роботу мережі.

8. Розробити алгоритм розрахунку параметрів оптичної частини мережі та зробити аналіз його ефективності.

9. Дослідити процес побудови розподільної мережі GPON, проаналізувати різні аспекти побудови та визначити основні проблеми.

10. Розглянути процес налагодження оптичної мережі за технологією GPON, проаналізувати різні аспекти налагодження та визначити основні проблеми.

11. Дослідити процес тестування мережі, проаналізувати різні аспекти тестування та визначити основні проблеми.

12. Розрахувати параметри мережі та проаналізувати їх ефективність.

Об'єктом дослідження є розподільна мережа GPON

Предметом дослідження є технологія PON та її вплив на якість та ефективність мережі зв'язку, а також процес проектування та надання послуг зв'язку з використанням цієї технології.

Для досягнення мети та вирішення поставлених завдань дослідження будуть використовуватись наступні методи:

1. Аналіз літературних джерел - для отримання інформації про технологію PON, її особливості, переваги та недоліки, а також про проектування та надання послуг зв'язку з використанням цієї технології.

2. Експертні оцінки - для з'ясування думок фахівців зі сфери зв'язку про можливість використання технології PON та її вплив на якість та ефективність мережі зв'язку.

3. Аналіз практичного досвіду - для вивчення прикладів успішного впровадження технології PON в різних країнах та компаніях, а також для з'ясування можливих проблем при її використанні.

4. Моделювання - для проведення експериментів та оцінки впливу різних параметрів мережі зв'язку на її ефективність та якість послуг з використанням технології PON.

Наукова новизна дослідження полягає у глибокому вивченні технології PON та її застосуванні для проектування та надання сучасних послуг зв'язку. До цього часу було проведено досить обмежену кількість досліджень у цій галузі, тому це дослідження може принести нові знання та висновки.

Практична цінність дослідження полягає у тому, що він дозволяє операторам зв'язку та іншим зацікавленим особам оцінити можливості використання технології PON для проектування та надання сучасних послуг зв'язку.

Інформаційна база дослідження містить в собі наукові публікації, статистичні дані, технічні специфікації технології PON, аналіз ринку телекомунікацій та послуг зв'язку, а також результати попередніх досліджень зі схожої тематики.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1. Виникнення технології PON

PON (Passive Optical Network) - це телекомунікаційна технологія передачі даних, яка використовує оптичні кабелі та розподільчі пристрої для забезпечення доступу до Інтернету та інших мережних послуг. Вперше технологія PON була запропонована у 1995 році японською компанією NTT (Nippon Telegraph and Telephone Corporation) і отримала назву BPON (Broadband PON).

BPON була першою комерційною технологією PON, яка забезпечувала швидкість передачі даних до 622 Мбіт/с та дозволяла обслуговувати до 32 абонентів на один порт. У 2003 році була запропонована нова версія PON - GPON (Gigabit Ethernet PON), яка вже забезпечувала швидкість передачі даних до 1 Гбіт/с.

У 2004 році було запущено роботу над наступною версією PON - XGPON (Gigabit-capable PON), яка є найбільш розповсюдженою технологією PON на сьогоднішній день. XGPON забезпечує швидкість передачі даних до 2,5 Гбіт/с в напрямку до абонента та до 1,25 Гбіт/с в напрямку від абонента, і дозволяє обслуговувати до 64 абонентів на один порт.

Останнім часом активно розвивається технологія XG-PON (10G PON), яка забезпечує швидкість передачі даних до 10 Гбіт/с в напрямку до абонента та до 2,5 Гбіт/с в напрямку від абонента, що дозволяє використовувати її для надання послуг зв'язку високої якості, таких як 4K-відео та віртуальна реальність.

Отже, технологія PON має довгу історію розвитку та постійно удосконалюється, що дозволяє забезпечувати доступ до швидкопотужних інтернет-послуг, телефонії, телебачення високої чіткості та інших мультимедійних послуг.

Однією з переваг технології PON є відсутність активного обладнання на

шляху передачі сигналу, що зменшує витрати на енергоспоживання та підтримку мережі. Крім того, технологія PON забезпечує високу якість передачі даних та масштабованість, що дозволяє забезпечити доступ до послуг зв'язку великій кількості користувачів.

Застосування технології PON вже знайшло своє застосування у багатьох країнах світу, включаючи Японію, Корею, Китай, Європу та США. Україна також активно впроваджує технологію PON у своїй мережі зв'язку.

У табл.1.1. представлені переваги та недоліки впровадження технології PON.

Таблиця 1.1

Переваги та недоліки впровадження технології PON.

	Ethernet	GPON	EPON
Переваги	Швидкість	Висока швидкість	Висока швидкість
	Широке поширення	Висока якість послуг	Гнучкість
	Дешевизна	Ефективне використання ресурсів	Надійність
Недоліки	Низька якість послуг	Високі витрати на обладнання	Обмежена дальність передачі сигналу
	Обмежені можливості	Складність установки	Підвищені витрати на експлуатацію

Дана таблиця може допомогти прийняти рішення щодо вибору технології для використання у мережі передачі даних. Наприклад, якщо потрібна висока якість послуг та висока швидкість, то краще обрати GPON. Якщо важлива гнучкість та надійність, то краще використовувати EPON. Якщо ж дешевизна є головним фактором, то можна використовувати Ethernet.

Впровадження технології PON дозволить забезпечити високу якість доступу до мережі Інтернет та інших мережних послуг, підвищити конкурентоспроможність телекомунікаційних компаній та покращити якість життя користувачів. Однак, є питання щодо витрат на впровадження технології PON, що може бути обумовлено високою вартістю оптичного обладнання та потребою у спеціалізованих кадрах для його обслуговування.

Тому важливо провести дослідження ефективності технології PON та порівняти її з іншими технологіями зв'язку, щоб прийняти обґрунтоване рішення щодо впровадження даної технології в конкретному випадку.

1.2. Топології мережі PON

Технологія PON (Passive Optical Network) використовує оптичний кабель, що передає сигнал від центральної станції до кінцевих користувачів безпосередньо. Оптичний кабель розгалужується на кілька підключень, які відводяться до окремих будинків або квартир. Оскільки оптичний кабель має велику швидкість передачі даних та дозволяє передавати сигнал на великі відстані без погіршення сигналу, то PON є однією з найбільш ефективних технологій для передачі даних.

У залежності від конкретної мережі та потреб користувачів, існують різні топології мережі PON:

1. Топологія зірки (Star PON) - це найбільш поширена топологія, при якій кожен кінцевий користувач має свій власний оптичний кабель, який підключений до центральної станції. Це дозволяє керувати кожним з'єднанням окремо, а також забезпечує більш високу надійність мережі (рис.1.1.)

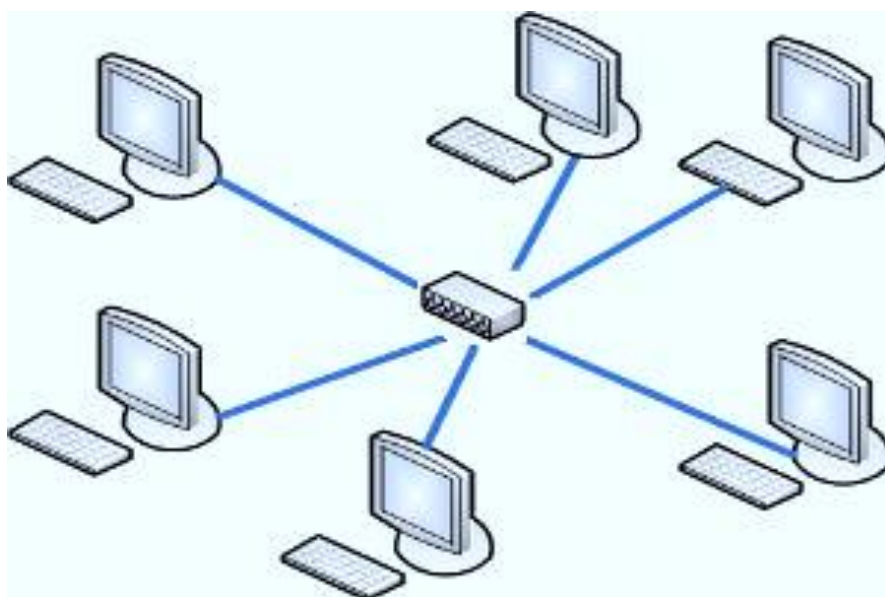


Рис. 1.1. Топологія мережі – Зірка

2. Топологія дерева (Tree PON) - при цій топології оптичний кабель має структуру дерева, де один кабель виходить з центральної станції і розгалужується на кілька кабелів на кожному рівні. Ця топологія забезпечує підтримку більшої кількості користувачів та дозволяє ефективніше використовувати оптичний кабель (рис.1.2.).

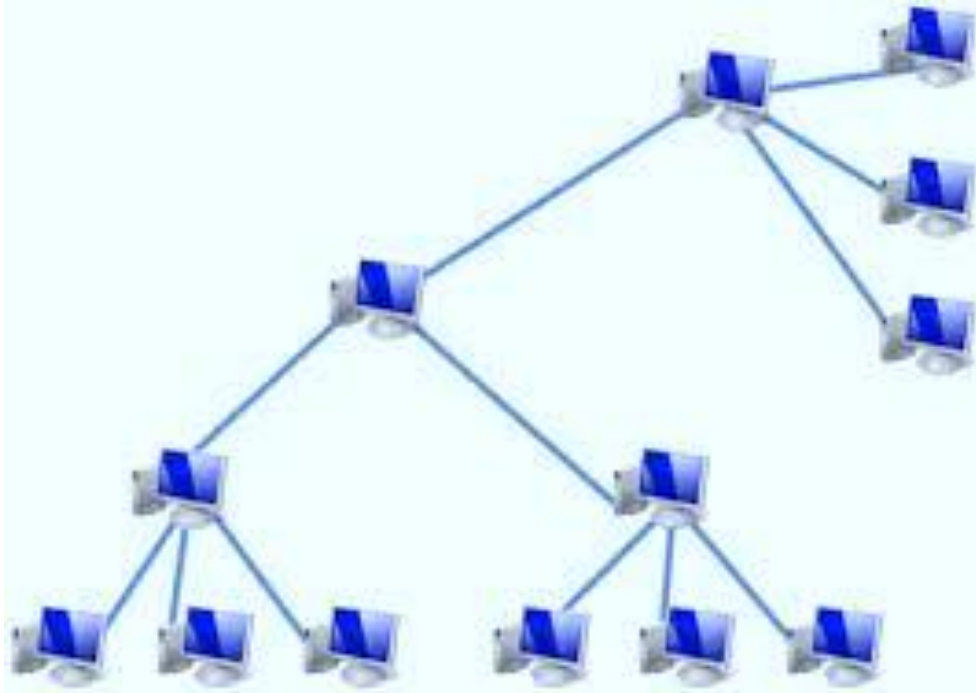


Рис. 1.2. Деревоподібна топологія

Топологія кільця (Ring PON) - при цій топології оптичний кабель створює кільцеву структуру, де кінцеві користувачі підключені до кабелю в будь-якому місці кільця. Ця топологія дозволяє забезпечувати резервний шлях, що забезпечує надійність мережі при випадку перебоїв у певному сегменті кабелю. Однак, вона вимагає використання ретрансляторів для передачі сигналу через кільце та зменшує пропускну здатність мережі, оскільки сигнал повинен проходити через кожен користувачів (рис.1.3.).

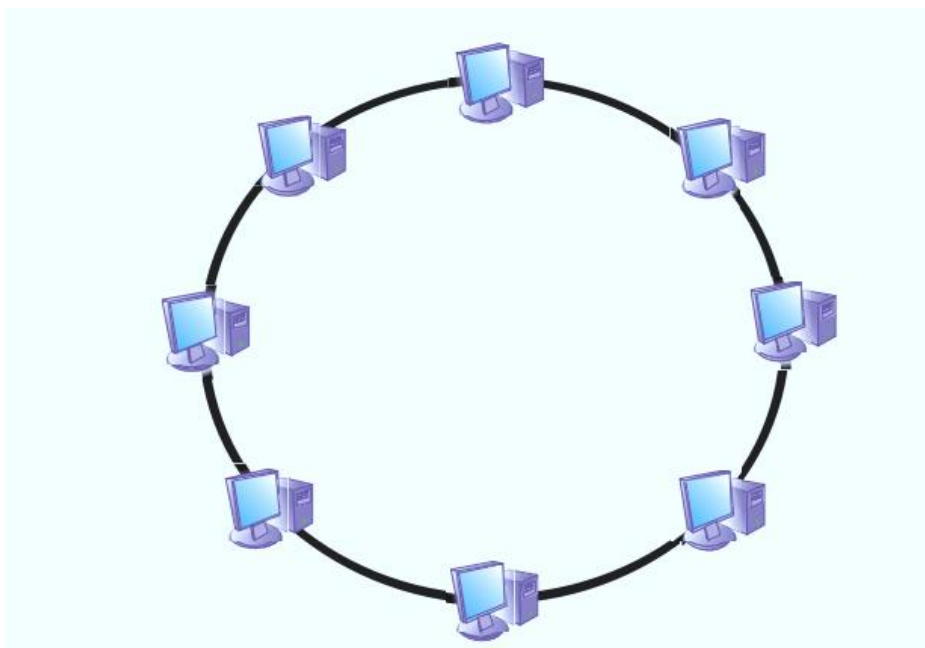


Рис. 1.3. Топлогія мережі – Кільце

У табл. 1.2 представлені переваги та недоліки кожної із наведених топологій мережі.

Таблиця 1.2

Переваги топологій мережі PON

Топологія	Переваги	Недоліки
Зірка	Проста установка, простота обслуговування, зменшення ризику витоку інформації, гнучкість управління	Обмежена масштабованість, висока вартість кабелювання, збільшення латентності мережі зі збільшенням кількості користувачів
Дерево	Можливість масштабування, ефективне використання кабелювання, зменшення латентності, підтримка QoS	Потрібно планування підключення користувачів, більш складна установка та обслуговування, відсутність резервування в разі відмови вузла
Кільце	Можливість масштабування, зменшення латентності, підтримка QoS, відсутність вузлів з однією точкою відмови	Обмежена масштабованість, складна установка та обслуговування, потреба відсутності вузлів з однією точкою відмови, можливість виникнення проблем з управлінням мережею

З аналізу таблиці можна зробити висновок, що кожна з топологій мережі

PON має свої переваги та недоліки.

Топологія зірка є найпоширенішою та найбільш ефективною, однак має певні недоліки, такі як обмежена кількість користувачів та залежність від центрального вузла.

Топологія дерево є більш розгалуженою та забезпечує більшу кількість користувачів, але також залежить від центрального вузла та може мати проблеми з надійністю при відмові центрального вузла.

Топологія кільце є найбільш стійкою до відмов та може забезпечити високу швидкість передачі даних, але може бути менш ефективною в умовах збільшення кількості користувачів та може мати проблеми зі збереженням сигналу великої довжини кабелю.

Отже, вибір топології мережі PON залежить від конкретної ситуації та потреб користувачів, а також може бути здійснений з урахуванням переваг та недоліків кожної з топологій.

1.3. Стандарти PON

PON (Passive Optical Network) - це технологія передачі даних, яка використовує оптичні кабелі для передачі сигналів від головної станції до клієнтів. Особливістю PON є те, що вона використовує пасивну оптичну мережу, тобто відсутність енергопоживних елементів на транспортній ділянці мережі.

Існує декілька стандартів PON, які відрізняються параметрами передачі даних та максимальною дальністю передачі сигналів.

- GPON (Gigabit-capable Passive Optical Network) - стандарт, який дозволяє передавати дані зі швидкістю до 2,5 Гбіт/с на дальність до 20 км. GPON використовує довжину хвилі 1490 нм для downstream і 1310 нм для upstream.
- EPON (Ethernet PON) - стандарт, який використовує Ethernet-технологію для передачі даних. EPON дозволяє передавати дані зі швидкістю до 1 Гбіт/с на дальність до 20 км. EPON використовує довжину хвилі 1490 нм для downstream і 1310 нм для upstream.

- XG-PON (10G-capable PON) - стандарт, який дозволяє передавати дані зі швидкістю до 10 Гбіт/с на дальність до 20 км. XG-PON використовує довжину хвилі 1577 нм для downstream і 1270 нм для upstream.
- NG-PON2 (Next Generation PON 2) - стандарт, який дозволяє передавати дані зі швидкістю до 40 Гбіт/с на дальність до 40 км. NG-PON2 використовує чотири довжини хвиль: 1575 нм і 1270 нм для downstream, та 1590 нм і 1310 нм для upstream.

Кожен стандарт має свої особливості та обмеження використання. Вибір конкретного стандарту залежить від потреб користувачів та вимог до швидкості передачі даних та дальності передачі сигналів.

1.4. Постановка задачі

Задача проектування сучасних послуг зв'язку за допомогою технології PON полягає у створенні концепції та розробці проекту мережі PON, яка забезпечує високу швидкість передачі даних, якість обслуговування та задоволення потреб споживачів у послугах зв'язку.

Основні завдання проектування такої мережі включають: визначення потреб користувачів у послугах зв'язку та їхніх вимог до якості обслуговування, вибір оптимального типу мережі PON для задоволення потреб користувачів, розробка архітектури мережі та вибір необхідного обладнання для її побудови, визначення критеріїв якості обслуговування та розробка механізмів контролю та управління мережею для забезпечення цих критеріїв, розробка бізнес-моделі та розрахунок економічної ефективності проекту.

Після розробки проекту, необхідно провести його тестування та впровадження в роботу, що дозволить оцінити ефективність проекту та забезпечити задоволення потреб користувачів у послугах зв'язку.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ АРХІТЕКТУРИ ТА ПРИНЦИПУ ДІЇ ТЕХНОЛОГІЇ PON

2.1 Основні елементи PON

Основна ідея архітектури PON полягає в тому, що для передачі та отримання інформації між центральним вузлом оператора та абонентськими пристроями використовується тільки один приймально-передавальний модуль. На рис. 2.1 зображені основні компоненти архітектури PON.

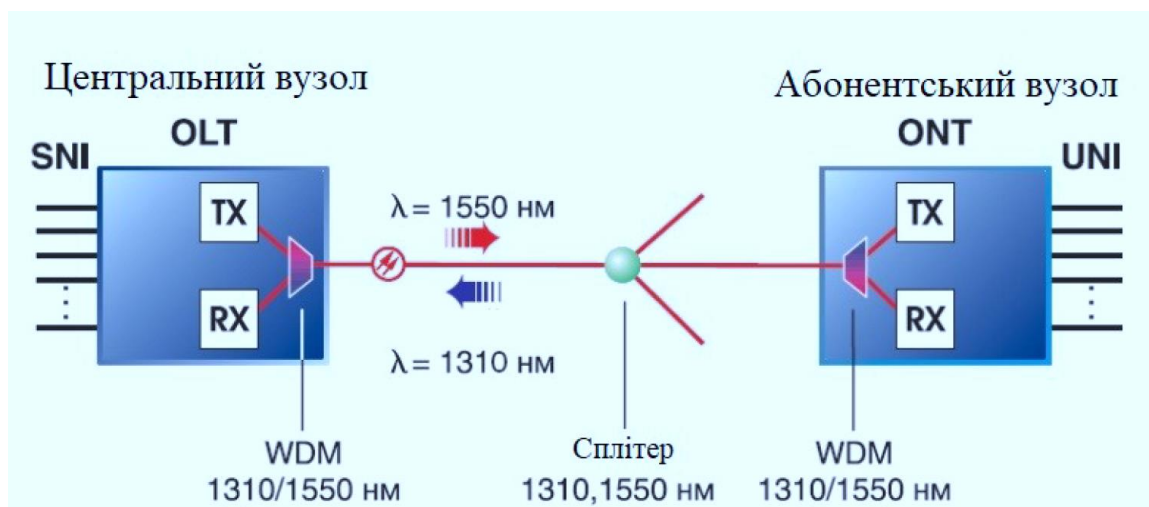


Рис.2.1. Архітектура й основні елементи мережі PON

Центральний вузол, також відомий як оптичний лінійний термінал (OLT), встановлюється у центральному офісі. Цей пристрій отримує дані з магістральних мереж через інтерфейси сервісних вузлів (Service Node Interfaces, SNI) та передає нисхідний потік до абонентських вузлів (прямий потік) за допомогою PON-дерева [9].

Абонентський вузол або оптичний мережний термінал (ONT) має інтерфейси для підключення обладнання абонента і інтерфейс для підключення до дерева PON. Відправка відбувається на довжині хвилі 1310 нм (висхідний потік), а отримання - на довжині хвилі 1550 нм (нисхідний потік). ONT отримує дані від OLT, конвертує їх і передає абонентам через інтерфейси «користувач-мережа» (UNI).

Оптичний розгалуджувач є пасивним оптичним багатополіосником, який розподіляє потік оптичного випромінювання у одному напрямку і об'єднує декілька потоків у зворотному напрямку. У загальному випадку у розгалуджувача може бути M вхідних і N вихідних портів (де N - кількість абонентів). У мережах PON найчастіше використовують розгалуджувачі 1×2 з одним вхідним портом. Розгалуджувачі 2×2 можуть використовуватися в системі з резервуванням по волокну.

OLT та ONT мають вбудовані мультиплексори WDM, які розділяють висхідні та низхідні потоки. Ці мультиплексори мають досить низькі втрати та не вимагають температурної стабілізації. На рисунку 2.1 показано основні елементи архітектури PON. OLT є центральним вузлом або оптичним лінійним терміналом, який встановлюється у центральному офісі. Цей пристрій приймає дані з боку магістральних мереж через інтерфейси сервісних вузлів (SNI) і формує висхідний потік до абонентських вузлів (ONT) по дереву PON. Дерево PON складається з оптичного волокна, що виходить з центрального вузла і відносної невеликої кількості оптичних розгалужувачів, що забезпечують розподіл сигналу між абонентськими вузлами. Кожен абонентський вузол (ONT) містить абонентські інтерфейси для підключення обладнання абонента та інтерфейс для підключення до дерева PON. У низхідньому напрямку (від OLT до ONT) передача ведеться на довжині хвилі 1310 нм, а в висхідньому напрямку (від ONT до OLT) - на довжині хвилі 1550 нм. Крім того, в OLT і ONT вбудовані мультиплексори WDM, які розділяють висхідні і низхідні потоки, що дозволяє передавати дані в обидва напрямки через одне оптичне волокно без використання додаткових волокон.

Кожен абонентський вузол ONT отримує широкомовний прямий (низхідний) потік даних. Кожен ONT визначає свою частину інформації з загального потоку, враховуючи адресні поля (рис. 2.2). У зворотному потоці всі ONT передають дані на одній довжині хвилі, використовуючи TDMA. Для уникнення перетинання сигналів від різних ONT, для кожного з них встановлюється індивідуальний розклад передачі даних з урахуванням

затримки, пов'язаної з віддаленням від центрального вузла OLT [10].

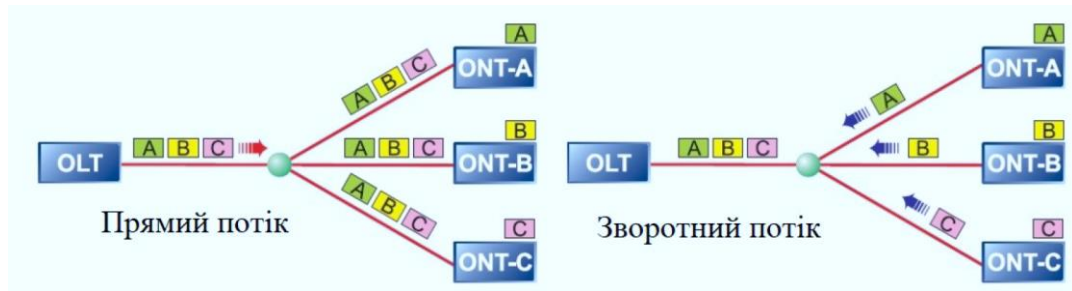


Рис.2.2. Схема передачі низхідних і висхідних потоків в PON

Протокол MPCP, розроблений групою IEEE 802.3ah, дозволяє OLT присвоювати часові домени. Цей протокол використовує два типи Ethernet-повідомлень: GATE та REPORT. Повідомлення GATE відправляється від OLT до ONU для присвоєння часового домена. Повідомлення REPORT використовується ONU для надсилання інформації про свій стан (наприклад, заповнення буфера) до OLT, щоб допомогти йому при прийнятті рішення щодо виділення часового домена. Кадри керування MAC типу 88-08 використовуються як для GATE, так і для REPORT повідомлень [11].

Таким чином, алгоритм роботи мережі PON після налаштування виглядає як вказано на рис. 2.3:

- ONU «прослуховує лінію»;
- OLT одержує пакет стандарту IEEE 802.3 від глобальної мережі й модифікує його під стандарт IEEE P802.3ah;
- OLT відсилає пакет конкретному отримувачу (ONU);
- Всі ONU одержують пакет, але тільки отримувач залишає його в буфері
- інші пакет відкидають;
- ONU форматує пакет стандарту IEEE P802.3ah у стандарт IEEE 802.3 і пересилає його клієнтському ПК;
- Отримані пакети із клієнтського ПК ONU форматує зі стандарту IEEE 802.3 у стандарт IEEE P802.3ah і записує у буфер;
- OLT дозволяє передачу даних конкретній ONU;
- ONU передає накопичені пакети певну кількість часу, а потім

«замоває» й знову «слухає» лінію;

- OLT одержує від ONU пакет стандарту IEEE P802.3ah, перетворює його під стандарт IEEE 802.3, після чого передає його вищестоячому пристрою у глобальну мережу.

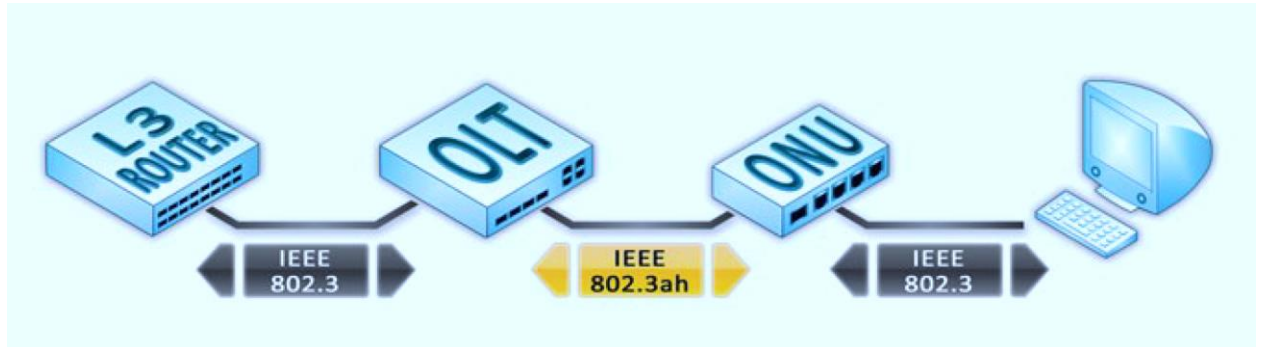


Рис.2.3. Алгоритм роботи PON по перетворенню пакетів

При передачі даних від OLT до ONT, пакети даних збираються в обсягові блоки і передаються через оптичну лінію до ONT. При цьому, оптичний сигнал передається через роздільник до ONT, який приймає пакети та передає їх абонентському обладнанню.

У зворотньому напрямку, пакети даних від абонентського обладнання передаються через ONT до OLT. PON використовує протоколи TDMA (Time Division Multiple Access) для розділення оптичного каналу на часові слоти. Для цього використовується протокол MPCP (Multi-Point Control Protocol), який дозволяє OLT контролювати доступ ONT до оптичного каналу.

Отже, алгоритм роботи PON полягає в передачі даних від OLT до ONT та від ONT до OLT з використанням оптичних волоконних ліній та пасивних компонентів, таких як роздільники. При передачі даних використовується протокол TDMA для розділення оптичного каналу на часові слоти.

2.2 Організація архітектурного рішення FTTH на базі PON

Організація архітектурного рішення FTTH на базі PON (Passive Optical Network) включає в себе використання оптичного волокна для передачі сигналів до абонента. PON є технологією, що використовує один оптичний

волоконний кабель для передачі сигналів до багатьох абонентів.

У системі PON використовуються два пристрої: оптичний лінійний термінал (OLT) та оптичний мережевий термінал (ONT). OLT забезпечує підключення до магістральної мережі, а ONT встановлюється в будинку або офісі абонента і забезпечує підключення до мережі Інтернет.

OLT та ONT забезпечують передачу даних за допомогою оптичного волокна. Для передачі даних використовується часова ділитися множинним доступом (TDMA), що дозволяє кільком абонентам користуватися одним каналом.

Для забезпечення підключення багатьох абонентів до системи PON використовуються розподільчі пункти (Splitter). Розподільчі пункти дозволяють поділити один канал на кілька, що дозволяє знизити вартість підключення кожного абонента до мережі.

Для підтримки роботи системи PON використовуються спеціальні протоколи, такі як MPCP (Multi-Point Control Protocol), які дозволяють забезпечити правильне функціонування мережі та забезпечити якість обслуговування для кожного абонента.

Технологія FTTH має на увазі доведення оптичного волокна до квартири або приватного будинку користувача (рис. 2.4).

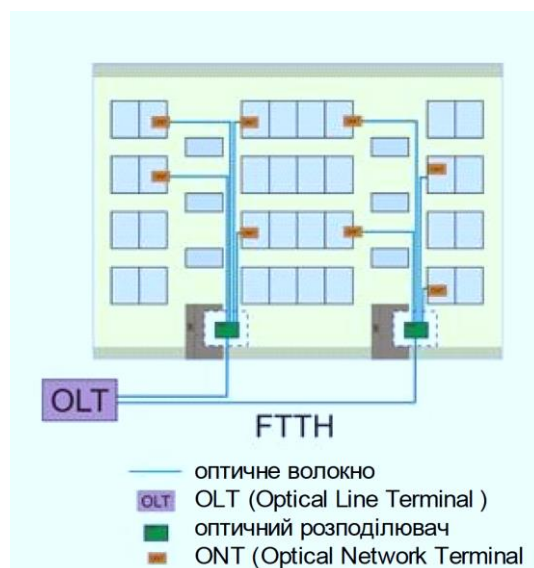


Рис.2.4. Побудова ОМД за технологією FTTH

Переваги архітектури FTTH:

- вона забезпечує найбільшу смугу пропускання, та як оптичне волокно доводиться до самої будівлі абонента;
- повністю стандартизований і найбільш перспективний варіант;
- рішення FTTH забезпечують обслуговування абонентів на відстані до 20 км від вузла зв'язку;
- дозволяє істотно скоротити експлуатаційні витрати - за рахунок зменшення площі технічних приміщень (необхідних для розміщення встаткування), зниження енергоспоживання й відповідно витрат на технічну підтримку.

Мережа FTTH за технологією PON складається з трьох основних частин (рис 2.5):

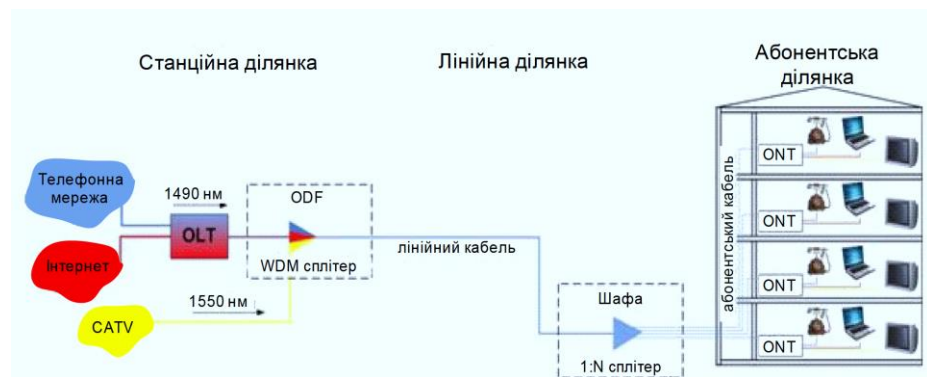


Рис.2.5. Організація ОМД на базі рішення FTTH PON

1) Станційна ділянка – це активне встаткування OLT (OLT – Optical Line Terminal) і оптичний крос високої щільності ODF (ODF – Optical Distribution Frame), змонтовані на вузлі зв'язку в приміщенні провайдера;

2) Абонентська ділянка – це персональне абонентське розведення одноволоконним дроп-кабелем (рідше двоволоконним) від елементів загальних розподільних пристроїв до оптичної розетки й активного встаткування ONT (ONT – Optical Network Terminal) у приміщенні абонента;

3) Лінійна ділянка – це волоконно-оптичний кабель, шафи, сплітери, конектори й з'єднувачі, що розташовуються між станційною й абонентською ділянкою.

Побудова лінійної ділянки є найскладнішою частиною при створенні

мережі, крім того, вона включає різноманітне пасивне обладнання та вимагає значної кількості будівельно-монтажних робіт. Тому дуже важливо використовувати найбільш оптимальні методи побудови. Топологія пасивної оптичної мережі черговою лінійною ділянкою при плануванні. У розподільчій мережі PON передача даних від оптичних розподільних шаф до кінцевих пристроїв абонентів (ONT) здійснюється за допомогою пасивних оптичних розгалужувачів (сплітерів), які встановлюються в оптичних розподільних коробках, шафах або муфтах. Кількість рівнів каскадування може бути однорівневою (однокаскадною) або багатокаскадною з наступним включенням сплітерів один за один (рис.2.6). Кількість рівнів залежить від сумарного згасання від сплітерів, коефіцієнта розгалуження PON інтерфейсів OLT і вимоги до пропускну здатності для кожного абонента. зазвичай використовують каскадні схеми з одним або двома рівнями. На більшому числі рівнів збільшується підтримка передачі даних та знижується якість обслуговування абонентів. Водночас, зменшення кількості рівнів каскадування дозволяє зменшити внесок сплітерів у загальну втрату сигналу та збільшити дальність передачі.

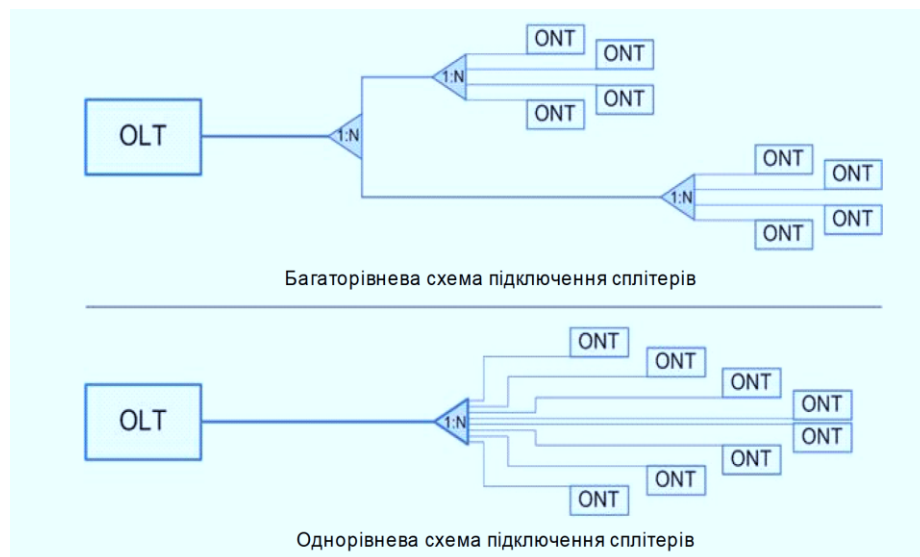


Рис. 2.6. Схеми включення сплітерів у мережі PON

При проектуванні лінійної ділянки необхідно виконати також максимально можливу кількість абонентів на один сплітер, що обслуговується

OLT. Це пов'язано з тим, що кожен абонент набирає певну кількість пропускної спроможності, тому збільшення кількості абонентів на одному сплітері може призвести до зниження пропускної здатності на кожного абонента та зниження якості обслуговування.

ONT є більш складним пристроєм, ніж CPE, що використовується в звичайних Ethernet-мережах. Окрім основних функцій, таких як забезпечення широкопasmового доступу та підтримка сервісів, ONT повинен також мати наступні додаткові можливості: протокол керування доступом до PON, лазери пакетного режиму (burst-mode lasers), які передають дані ONT тільки протягом визначених OLT-термінів, підвищену потужність сигналу (враховуючи втрати на сплітерах та ін.), шифрування та високу продуктивність. Ці додаткові функції зумовлюють значно вищу вартість ONT порівняно з CPE Ethernet.

Є три основні переваги для провайдерів, які розгортають доступ до мережі на базі технології PON замість оптоволоконних мереж з топологією «точка-точка» (варіант P2P FTTH для технології Ethernet): 1) Економія кабелю. Найбільш істотним аспектом розгортання мережі FTTH на базі PON є економія оптоволоконних ліній на ділянці від оптичних розгалужувачів до точки присутності провайдера. 2) Економія портів у точці присутності, де виконується агрегація. Для точки присутності мережі на базі PON потрібно більше обладнання, чим для мережі Ethernet FTTH, так як OLT дозволяє на один порт підключити до 32/64 абонентів, у той час як оптичний Ethernet вимагає мати окремий порт під кожним користувачем. 3) Накладення аналогового відеосигналу. Оскільки PON у своїй природі є широкопasmовим середовищем, його можна використовувати для передачі аналогового або цифрового телевізійного сигналу.

У табл.2.1. наведено проблематику побудови FTTH на базі PON.

Аналізуючи таблицю, можна зробити висновок, що побудова FTTH мереж на базі PON технології має багато переваг, таких як економія кабелю, портів та можливість накладення аналогового відеосигналу. Проте, на цьому шляху також існують певні технічні та фінансові складнощі, які повинні бути

враховані при розгортанні таких мереж. Наприклад, проблема дозвілля на проведення робіт, складнощі при визначенні оптимальної топології та забезпеченні стійкості мережі при великих відстанях між абонентами.

Таблиця 2.1

Проблематика побудови FTTH на базі PON

Проблема	Опис
Вартість	Розгортання мережі на базі PON вимагає значних витрат на придбання та налаштування обладнання, що може призвести до високої вартості для провайдера та кінцевого користувача.
Інфраструктура	Побудова мережі PON вимагає наявності оптоволоконної інфраструктури, яка може виявитися складною або неможливою для реалізації в деяких регіонах.
Потенційні проблеми зі змінами	Мережі PON можуть бути менш гнучкими та менш здатними до адаптації до таких змін, як збільшення обсягу трафіку або змінені технологія передачі даних.
Проблеми зберігання даних	У мережах PON виникають проблеми зі збереженням даних, після закінчення яких користувачі підключені до спільної лінії, що може створити проблеми з конфіденційністю та безпекою даних.
Питома місткість	Питома місткість мережі PON може бути обмежена, особливо у випадку високого попиту на широкомасштабні послуги.
Технічні проблеми	При роботі мережі PON можуть виникнути технічні проблеми, такі як втрата сигналу або перешкоди, які можуть вплинути на якість обслуговування.

Незважаючи на ці складнощі, розгортання FTTH мереж на базі PON технології є перспективним та ефективним рішенням для побудови швидких та стійких мереж доступу.

РОЗДІЛ 3

АЛГОРИТМ ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖ ДОСТУПУ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ PON

3.1. Обґрунтування параметрів оптичної частини мережі

Завдання проектування PON, після вибору активного обладнання, в загальному випадку, зводиться до послідовності наступних операцій: визначення місць установки ONU, вибір топології мережі, вибір трас проходження кабелю і місць установки розгалужувачів, розрахунок бюджету втрат для кожної гілки і визначення оптимальних коефіцієнтів розподілу всіх розгалужувачів.

Першим етапом проектування мережі є вибір топології стосовно заданому відстані до абонентів, їх кількості.

При побудові мережі за технологією GPON основну увагу необхідно приділити деревовидній волоконній кабельній архітектурі з пасивними ОР на вузлах. Дана топологія є найбільш економічною і здатної забезпечити широкосмугову передачу даних різноманітних додатків.

Застосування ЗР з різними коефіцієнтами розподілу вихідних портів дозволяє регулювати оптичний бюджет потужностей в різних гілках мережі.

Це принципово важливо для побудови так званих «збалансованих мереж», що володіють рівномірним енергетичним запасом і найбільшою надійністю.

Також для працездатності пасивних оптичних мереж важливий вибір оптимального методу проектування. Один з таких важливих якісних параметрів методу є масштабованість, тобто можливість нарощування мережі, додавання нових вузлів до вже спроектованої мережі з мінімальними її змінами.

Взаємодія абонентського вузла з центральним починається з встановлення з'єднання, після чого відбувається передача даних. У процесі встановлення з'єднання запускається процедура ранжирування, котора

включає в себе синхронізацію, ранжування по відстані, ранжування по потужності. Центральний вузол, забезпечує роботу всіх абонентських вузлів.

Синхронізація, або ранжування по фазі (phase ranging), необхідно як для прямого, так і для зворотного потоку. Абонентські вузли ONT синхронізуються на початку своєї ініціалізації і потім весь час підтримують синхронізацію, підлаштовуючись під безперервний TDM трафік від OLT і здійснюючи, як прийнято називати, синхронний прийом даних. Навпаки, центральний вузол OLT синхронізується кожен раз по преамбулі приходить пакета ATM. Знання обчисленої на етапі ранжирування тимчасової затримки з боку ONT тут мало, тому що потрібна велика точність. Метод прийому даних із синхронізацією по преамбулі прийнято називати асинхронним.

Синхронізація по преамбулі аналогічна вирішення в технології стандартного Ethernet, преамбула дорівнює 64 бітам (8 байтам). Однак зберегти такий же розмір преамбули для пакета ATM (53 байта) в зворотному потоці означало б вкрай неефективне користування смуги. Для GPON була розроблена нова методика синхронізації заснована на вирівнюванні фази сінхропослідовності CPA (clockphasealignment), що дозволяє встановити необхідну ступінь синхронізації після отримання всього трьох біт. Розмір преамбули пакета ATM в зворотному потоці був обраний більше з урахуванням, що вона забезпечує ще й виконання функції ранжирування по потужності.

В мережах FTTH можуть бути використані найрізноманітніші архітектури, але серед них пасивна оптична мережа – найефективніша за вартістю конфігурація. Проте, будучи найекономічнішою, ця технологія накладає деякі технічні обмеження, які слід брати до уваги при збільшенні радіусу охоплення IM і поліпшенні якості послуг зв'язку.

Необхідно враховувати два основні принципи побудови мереж PON:

- активні компоненти інформаційної мережі (підсилювачі, оптичні прийомопередавачі, медіаконвертори та ін.) розташовуються тільки в кінцевих пунктах (в головному офісі та на абонентному вузлі);

- її ефективність ґрунтується на розділенні потужності, коли один оптичний сигнал ділиться на багато частин для надання інформаційних послуг багатьом абонентам.

З цих двох принципів виходить, що потужність сигналу виконує ключову роль в забезпеченні працездатності PON. Потужність на виході з центрального вузла повинна бути достатньою, щоб компенсувати всі втрати, що вносяться компонентами інформаційної мережі, конекторами, зварними з'єднаннями, а також самим волокном.

Кожен компонент оптоволоконної лінії має свою величину оптичних втрат. Допустимі втрати оптичного сигналу на всьому шляху від передавача до приймача часто називають оптичним бюджетом. Розраховується він на підставі 55 інформації, наданої виробником обладнання. Спрощено можна уявити оптичний бюджет у вигляді співвідношення $P(L)$ зображеного на рис. 3.1.

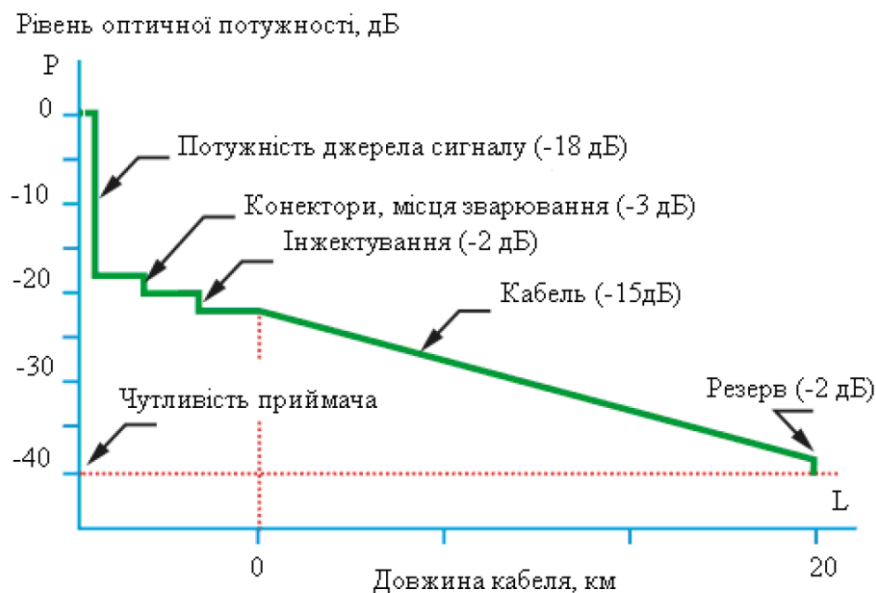


Рис. 3.1. Оптичний бюджет у вигляді співвідношення $P(L)$

Втрати на інжектування виникають при введенні випромінювання від джерела у волокно, і залежать в основному від діаметру сердечника. Втрати на місцях зварювання при їх наявності в лінії повинні бути включені подібно до

втрат конекторах.

Так само рекомендується враховувати, що потужність лазера (світлодіода) дещо зменшується з часом. Звичайно на ремонт і старіння емітера відводиться від 3 до 6 дБ. Для невеликих мереж може бути потрібним ослаблення сигналу атенюатором. Справа в тому, що у приймального детектора крім мінімальної чутливості існує і верхня межа робочого режиму $P_{\max} = -11$ дБ, яка називається порогом перевантаження. При більш потужному сигналі детектор уже не може приймати сигнал з необхідним для робочого режиму рівнем помилок $BER = 10^{-10}$

Таким чином запас потужності вхідного сигналу повинен бути таким, щоб потужність сигналу, що дійшов до абонента, була достатня для безпомилкової роботи приймального обладнання. Тому необхідний розрахунок оптичного бюджету інформаційної мережі [20].

Ефективність PON базується на принципі розподілення потужності оптичного сигналу, який ділиться для надання послуг зв'язку багатьом користувачам. Тому потужність вихідного оптичного сигналу є ключовим параметром при побудові PON. Потужність повинна бути достатньою для безпомилкового прийому сигналу всіма користувачами, що під'єднані до інформаційної мережі.

Оскільки збільшення величини оптичної потужності, що вводиться в оптичне волокно може привести до виникнення у волокні нелінійних явищ та погіршення роботи інформаційної мережі, то для забезпечення енергетичного балансу інформаційної мережі необхідно намагатись зменшувати втрати потужності в елементах з яких побудована PON. При цьому необхідно особливу увагу звертати на втрати на з'єднаннях компонентів інформаційної мережі з волокном та при з'єднанні самих волокон.

Для подальшої працездатності PON важливий вибір оптимального методу проектування. Завдання проектування полягає в необхідності задовольнити як основні вимоги, так і додаткові, які носять не кількісний, а якісний характер. Один з найважливіших якісних параметрів – це

масштабування, тобто можливість нарощування мережі, додавання нових вузлів до вже спроектованої мережі з мінімальними змінами.

Основні вимоги при проектуванні PON представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Основні вимоги при проектуванні PON

Характеристики	Специфікація
Максимальна відстань по довжині, км	20
Діапазон ослаблення сигналу в мережі, дБ	Клас А: 5 – 20 Клас В: 10 – 25 Клас С: 15 – 30
Дівація по оптичним шляхам, дБ	15
Максимальні штрафні витрати, дБ	3
Максимальна кількість абонентських вузлів	64
Можливість двосторонньої передачі	WDM по 1 чи по 2 волокнам на довжині хвилі 1,3, 1,5 мкм
Швидкість передачі Мбіт/с	622/2500 В обох напрямках
Вимоги до оптичних компонентів (розгалужувачі, конвектори, атенюатори, зварні стики)	Згідно рекомендації G.984
Тип і параметри волокна	Згідно рекомендації G.984

Як свідчать дані таблиці, максимальна відстань по довжині повинна становити 20 км, діапазон ослаблення сигналу в мережі залежить від Класу, максимальні штрафні витрати у Дб. Максимальна кількість абонентських вузлів – 64, швидкість передачі 622/2500 Мбіт/с в обох напрямках.

Згідно з рекомендацією ІТУ-Т G.984.2 витрати в оптичному шляху визначають певні класи для оптичних систем (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Класи оптичних систем

Параметр	Клас		
	А	В	С
Мінімальні витрати, дБ	5	10	15
Максимальні витрати, дБ	20	25	30

3.2. Розробка алгоритму розрахунку параметрів оптичної частини мережі

Розподіл оптичної потужності в інформаційній мережі PON залежить від параметрів комплектуючих її елементів, тому розрахунок оптичного бюджету PON слід розпочинати з вибору виробника приймально-передавального обладнання та пасивних елементів інформаційної мережі. Оскільки головними чинниками, що впливають на оптичний бюджет є: втрати на розгалужувачах, втрати на волокні, втрати на з'єднаннях волокна, втрати на WDM – обладнанні, – то вони будуть змінними вихідними даними для розрахунків.

Для кожного каналу зв'язку OLT – ONTi ($i=1\dots N$, де N – число абонентських вузлів) можна виписати умови на втрати в прямому (d) і зворотному (u) потоках, формули (3.1), (3.2).

$$Ob_{d,min} \leq \alpha_d L_i + I_i + AL + Cl_i \leq Ob_{d,max} - Штраф_d - Запас_{d,i} \quad (3.1)$$

$$Ob_{u,min} \leq \alpha_u L_i + I_i + AL + Cl_i \leq Ob_{u,max} - Штраф_u - Запас_{u,i} \quad (3.2)$$

де L_i – довжина i -го каналу,

α_d і α_u – питоме загасання у волокні на довжині хвилі прямого і зворотного потоків,

I_i – втрати внесені всіма розгалужувачами в i -му каналі,

CL_i – втрати на всіх коннекторах в i -му каналі,

AL – ослаблення сигналу на атенюаторі,

OB – оптичний бюджет приймально-передавальної системи,

Запас – запас потужності на розвиток в i -му каналі,

Штраф – враховує погіршення прийому сигналу через деградацію волокна/компонентів, вплив зовнішніх умов, спотворення форми сигналу

Одночасне виконання цих умов для всіх каналів є вимогою до працездатності системи в цілому [21]. Необхідно знайти такі коефіцієнти ділення розгалужувачів, щоб запас системи був максимально можливим. Запас системи буде максимальним, якщо розбіжність між найбільшим та

найменшим значеннями втрат по оптичним шляхам буде дорівнювати нулю.

Після вибору траси оптичних шляхів та системи передачі необхідно зменшити розбіжність втрат шляхом вибору розгалужувачів з необхідними коефіцієнтами ділення. Завдяки можливості вибору розгалужувачів з потрібними коефіцієнтами ділення можлива реалізація різноманітні топології та вирішення проблеми нарощування інформаційної мережі, забезпечивши максимальний запас на розвиток.

Існує три типи оптичних мереж доступу: незбалансована, збалансована і квазізбалансована.

Мережу можна вважати незбалансованою, якщо розкид між загасання ланцюгів перевищує допустимий рівень втрат. Розкид втрат безпосередньо пов'язаний з неоднаковістю оптичних шляхів, тобто коли втрати відрізка OLT-ONT_i і OLT-ONT_j різні. З огляду на те, що оптичний бюджет системи обмежений, нераціональний розподіл оптичної потужності веде до зниження можливості масштабованості мережі. Виходячи з вище представлених даних незбалансована мережу має низку недоліків і не може бути використана при проектуванні МД. Для невеликих мереж можуть бути обрані симетричні розгалужувачі або проведений приблизний розрахунок їх параметрів.

Не оптимальність рішення в даному випадку компенсується великим запасом по потужності, що непридатне для великих мереж.

Єдиний доступний спосіб вирівнювання оптичних втрат при заданому розміщенні абонентів – це підбір коефіцієнтів ділення розгалужувачів, що здійснюється при проектуванні збалансованої мережі.

Для написання даної дипломної роботи було розроблено елементарну програму розрахунку оптичного бюджету середовища PON, Розглянемо алгоритм її роботи. Спочатку введемо розрахункові формули. Сумарна потужність на всіх вихідних портах:

$$P_{out} = P1 + \dots + PN. \quad (3.3)$$

Коефіцієнт ділення R_k – процентне відношення оптичної потужності у вихідному порту до сумарної потужності на всіх вихідних портах:

$$R_k = P_k/P_{out}. \quad (3.4)$$

Надмірні втрати EL характеризують втрати вхідної потужності в цілому при передачі на всі вихідні порти:

$$EL = 10 \lg (P_{in}/P_{out}). \quad (3.5)$$

Потужність на вході розгалужувача:

$$P_{in} = P_{out} + EL. \quad (3.6)$$

Потужність на початку оптичної секції:

$$P(m-1) = P(m) + \alpha L. \quad (3.7)$$

Оптичний радіус дерева PON:

$$r_{NET} = POLT - PNOT. \quad (3.8)$$

Розробимо алгоритм розрахунку оптичного бюджету (Додаток А).

Збалансована мережа PON – це мережа, в якій повні втрати за всіма оптичними шляхами однакові: $FL_i = FL_j$ для всіх абонентських вузлів i, j . Така мережа має трьома важливими властивостями: –розкид втрат по оптичних шляхах мінімальний і дорівнює:

$$DL = FL_{max} - FL_{min} = 0, \quad (3.9)$$

– з усіх можливих наборів коефіцієнтів ділення розгалужувачів оптичний радіус мережі $r_{net} = \max_i (FL_i)$ мінімальний для збалансованої мережі;

– збалансована мережа має максимальну здатність до розширення при відсутності достовірних прогнозів і є оптимальною.

Методика розрахунку збалансованої оптичної мережі полягає в наступному: всім ONT присвоюється однакове значення вхідної потужності, мережа розраховується «від низу до верху» від ONT до OLT покрово, від найбільш віддаленого ONT (мірою віддаленості в цьому випадку служить не відстань, а кількість розгалужень на шляху OLT-ONT). На кожній ітерації визначаються значення коефіцієнтів розподілу розгалужувачів, що забезпечують рівну потужність на вхідних портах ONT. Вихідним результатом цього алгоритму є коефіцієнти поділу розгалужувачів, що забезпечують збалансованість мережі, і оптичний радіус мережі.

Графічно ідея збалансованої мережі представлена на рис. 3.2.

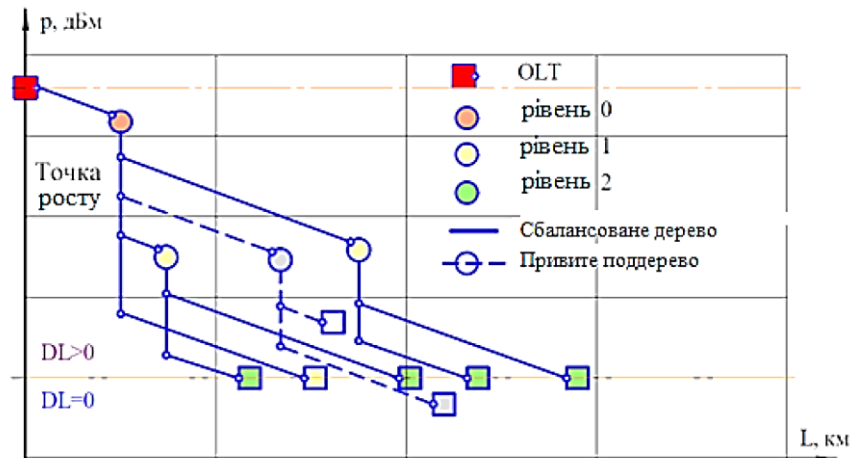


Рис. 3.2. Рівні потужності сигналу в каналах збалансованої мережі (суцільні лінії) і незбалансованого піддерева (пунктир)

На початковому етапі всі елементи мережі розміщуються за рівнями, задаються довжини оптичних ділянок. Робота алгоритму починається з елементів максимального рівня M (каскаду).

Блок-схема алгоритму побудови збалансованої мережі наведена на рис.

3.3.

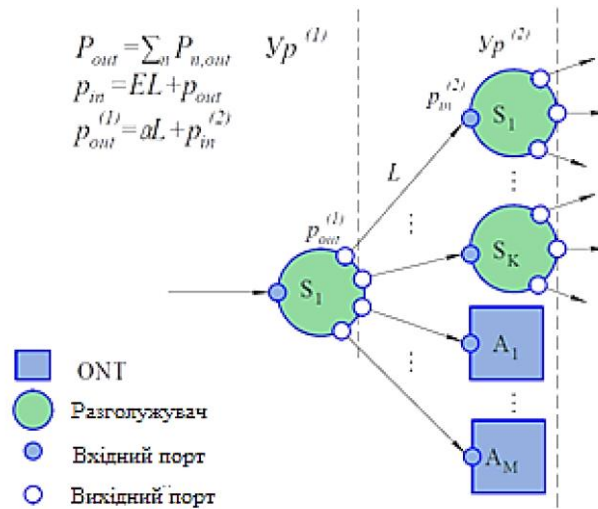


Рис. 3.3. Фрагмент «дерева» мережі PON

І все ж цей метод, незважаючи на свою простоту і природність підходу, має кілька істотних недоліків:

- неможливо отримати розгалужувач, точно відповідний розрахованим параметрам;
- реальні вносяться втрати по портам в замовлених розгалужувачах можуть відрізнятися мінальних на величину нерівномірності;
- висока вартість виготовлення розгалужувачів «на замовлення»;
- необхідність заново розраховувати коефіцієнти розподілу всіх розгалужувачів при нарощуванні мережі, отже, замовляти нові розгалужувачі, що економічно не вигідно;
- алгоритм не враховує можливості планування так званих точок зростання, коли певний запас потужності заздалегідь закладається в точках зростання для підключення нових абонентів.

Таким чином, більша частина недоліків пов'язана з ідеальністю методу, тобто з відсутністю прив'язки до реального обладнання. Необхідно наблизити цей алгоритм до реальних умов. Так як втілення ідеальної збалансованої мережі на реальному обладнанні неможливо, доцільно можливий розкид

параметрів і характеристик залежить сам алгоритм розрахунку. Одним з недоліків даного методу є підбір дорогих несиметричних розгалужувачів, що економічно не вигідно. Отже, можна забезпечити приблизна рівність рівнів сигналів на входах ONT, отримавши тим самим збалансовану оптичну мережу. Розгалужувачі вибираються з бази даних серійно виготовлених розгалужувачів, що підвищує економічність проєктованої мережі і спрощує заміну розгалужувачів при розширенні мережі. Пропонується також закласти в проєктовану мережу точки зростання для спрощення подальшого нарощування мережі.

Метод побудови квазізбалансованої оптичної мережі має ряд переваг в порівнянні з методом побудови збалансованої мережі. По-перше, цей метод дозволяє враховувати при плануванні і розрахунку мережі точки зростання – деяку потужність, резервовану на вихідному порту розгалужувача для подальшого зростання мережі.

3.3. Побудова розподільної мережі GPON

При побудові пасивних оптичних мереж найважливішим елементом є ОР. Саме це додає мережі необхідну гнучкість архітектури, масштабованість, максимальна відповідність системним вимогам, економічність. ОР є головним компонентом мережі PON і виконує просторове розділення оптичного сигналу по декількох каналах або об'єднує сигнали з різних каналів в один.

Розгалужувач є пасивний оптичний багатополіусника ($n \times m$) із заданою кількістю вхідних (n) і вихідних портів (m). Його завданням є перерозподіл потужності сигналів між вхідними та вихідними портами. Все розгалужувачі в мережах PON можуть бути класифіковані за:

- робочій смузі пропускання (на стандартні одновіконний $\lambda_{раб} \pm 10$ нм, широкосмугові одновіконний $\lambda_{раб} \pm 40$ нм і двовіконну);
- за технологією виготовлення (сплавні і планарні);
- за кількістю вихідних портів і коефіцієнта ділення потужності.

Оскільки PON використовує оптичні кабелі, що прокладаються на

різних ділянках (магістральний, розподільний, абонентський) і в різних умовах (в каналізації, підвіска на опорах, в будівлях абонентів), то і конструкції кабелів для цієї мережі можуть відрізнятися досить сильно. Конструкції кабелів визначаються, в першу чергу, умовами прокладки кабелю (прокладка в ґрунт, в кабельну каналізацію, підвіска на опорах, прокладка у внутрішніх каналах і стояках будівлі і т.п.), а також необхідною кількістю волокон.

Для забезпечення працездатності мереж вони повинні включати три основні елементи:

- центральний пристрій стаціонарного типу. Він агрегує потоки з усіх оптичних мереж. Цей термінал забезпечує зв'язок пасивної мережі з усіма зовнішніми системами.

- розподільча система. Вона складається з спліттерів, що розгалужують сигнал на окремі гілки, магістрального фідера, що з'єднує вихід діаграмо творчої схеми з входом на решітці антени, а також основних оптичних волокон для розподілу і абонентських кабелів.

- абонентські пристрої.

Існують два основних типи архітектури побудови зовнішньої мережі - із централізованим і розподіленим розміщенням спліттерів. Останню схему часто називають каскадною. Головна перевага централізованої архітектури - її висока гнучкість: до будь-якого виходу будь-якого спліттера через розподільну мережу можна підключити будь-якого абонента. Це дозволяє поступово, у міру росту числа абонентів, додавати мережні елементи, а виходить, заощаджувати засобу на початковому етапі.

Важливою перевагою централізованої архітектури є й більше простий перехід у майбутньому до систем WDM PON, у яких пропускна здатність мережі буде збільшена за рахунок додавання спектральних каналів.

При побудові мережі за каскадною схемою повинні бути встановлені відразу всі спліттери, а встаткування OLT розгорнуте для обслуговування розрахункового числа підключень.

До переваг каскадної схеми звичайно відносять зменшення числа волокон у розподільній мережі, прямим наслідком чого є, зокрема, зниження витрат на їхнє зварювання.

Однак варто помітити, що вартість прокладки оптичного кабелю (а це істотна стаття витрат при побудові будь-якої інфраструктури) не сильно залежить від числа волокон у ньому, тому в цій частині на економію розраховувати не доводиться. А от розміри блоків (наприклад, муфт), у яких розміщаються спліттери, при каскадній схемі побудови мережі можуть бути серйозно зменшені, що розширює можливості при виборі місця їхнього розміщення.

Необхідність установки досить великого монтажного конструктива (шафи) у місці централізованої установки спліттерів у ряді випадку серйознішає недоліком централізованої архітектури. Наприклад, у деяких проектах провайдер-провайдери-сервіси-провайдери не мають можливості встановлювати громіздка вулична шафа, у цьому випадку вихід може бути знайдений у підземному або повітряному розміщенні компактних каскадних спліттерів [12].

На цьому етапі проектування вирішуються такі завдання:

- 1) вибір, прокладання та захист розподільного кабелю;
- 2) влаштування введів у житлові будинки;
- 3) розподіл оптичних розподільних коробок (ОРК) по під'їздів та поверхів;
- 4) розміщення та включення розгалужувачів;
- 5) абонентське проведення.

У додатку Б представлено варіанти типового розподілу волокон, роз'ємів та оптичних розгалужувачів 1:2 в ОРШ середньої та великої ємності (ОРШ-С, ОРШ-Б).

3.3.1. Постановка завдання

Для побудови розподільної мережі GPON, було обрано топологію

«крапка-крапка» та «дерево з пасивним оптичним розгалуженням».

Далі ми, розглянемо будівництво мережі зв'язку з топології «дерево з пасивним оптичним розгалуженням» (каскадне). Побудова з топології «крапка-крапка» проводиться зазвичай у багатоквартирних будинках, а з топології «шина» для специфічної місцевості.

При каскадній побудові мережі PON виділяються зазвичай 2 каскаду, рідше 3 залежить від кількості абонентів, що підключаються на PON порт.

- 1 каскад містить спліттери номіналом 1x4 або 1x8.
- 2 каскад містить спліттери номіналом 1x16 або 1x8.

При каскадному підключенні спліттерів 1x8 загальна кількість абонентів, що підключаються на PON порт буде становити 64 абонентів. При підключенні до 128 абонентів на PON порт 1-ий каскад буде містити спліттер 1x8, 2-й каскад буде містити спліттер 1x16, або 1-ий каскад буде містити спліттер 1x4, 2-й каскад буде містити спліттер 1x32. Все залежить від території та топології розміщення домогосподарств, які будуть підключені.

На рис. 3.4 представлено Загальний підхід до формування оптичної інфраструктури GPON.

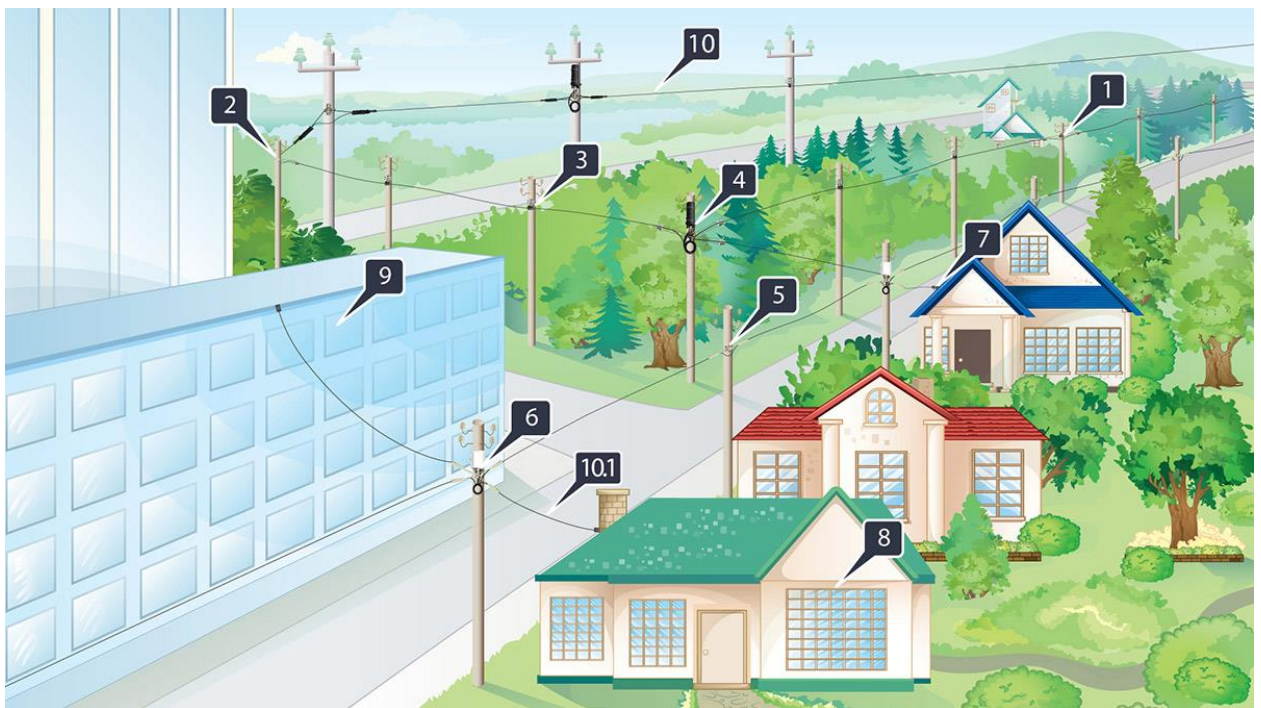


Рис. 3.4. Загальний підхід до формування оптичної інфраструктури GPON

Розподільні блоки встановлюються на границі між магістральним і розподільною ділянкою мережі PON. У мережі, побудованої по централізованій архітектурі, такий блок звичайно являє собою вуличну шафу з устаткуванням, що забезпечує обслуговування необхідної кількості портів. У мережах з каскадною архітектурою такий блок цілком може бути виконаний у коробці меншого розміру або взагалі в муфті (рис. 3.5), установленій під землею або на стовпі.



Рис. 3.5. Оптична муфта []

У місці установки розподільного блоку в магістральному кабелі робиться надріз, з нього витягає один модуль, волокна якого підключаються до сплітера.

З виходу сплітперів волокна через зону комутації підключаються до волокон розподільного кабелю. У випадку централізованої архітектури ці волокна, з'єднуючись із волокнами абонентських кабелів у відповідному терміналі, без якого-небудь додаткового розподілу приходять до портів пристроїв ONT. У каскадній схемі у відповідному терміналі теж встановлюються сплітери, які розділяють сигнал ще один раз. Конструкція розподільної шафи в мережі із централізованою архітектурою повинна гарантувати зручний

доступ до з'єднань для їхньої перевірки, тестування мережі, реалізації різного роду змін і доповнення (наприклад, при підключенні нових абонентів) [20].

Для побудови мережі будуть використані оптичні міні-бокси SFP 7 FOB-C/D/E.

Сталеві настінні оптичні міні-бокси FOB-C (рис. 3.6) дозволяють зрощувати до 48 оптичних волокон. Допускається введення двох оптичних кабелів. Дозволяє встановити змінну лицьову панель FC-08 або SC-08, для установки до восьми адаптерів FC або SC типу.



Рис. 3.6. Міні-бокс SFP 7 FOB-C

Відвідні термінали (drop terminal) встановлюються на границі між розподільною оптичною мережею й кабелями, що слугують безпосередньо для підключення абонентів. Як правило, конструкції таких терміналів дозволяють встановлювати в них невеликі сплітери (наприклад, 1:4 або 1:8). Чим більше абонентів підключається до одного відвідного терміналу, тим більше довжина абонентських кабелів, що збільшить витрати на їхню інсталяцію. Тому

зазвичай кількість абонентів, що обслуговуються через один drop-термінал, обмежують у межах 6-10, залишаючи декілька портів у резерві. Відвідні термінали можуть установлюватися в різних місцях, наприклад на телеграфному стовпі або під землею. Установка цих елементів на стовпах полегшує доступ до них і знижує вимоги до захисту від несприятливих впливів навколишнього середовища. Як відвідні термінали можуть використовуватися вже розглянуті вище муфти або міні-бокси (тільки, звісно, меншої ємності).

Значна частина витрат при розгортанні будь-якої мережі FTTH пов'язана з безпосереднім підключенням абонентів та активацією обраного ними сервісу (рис. 3.7)

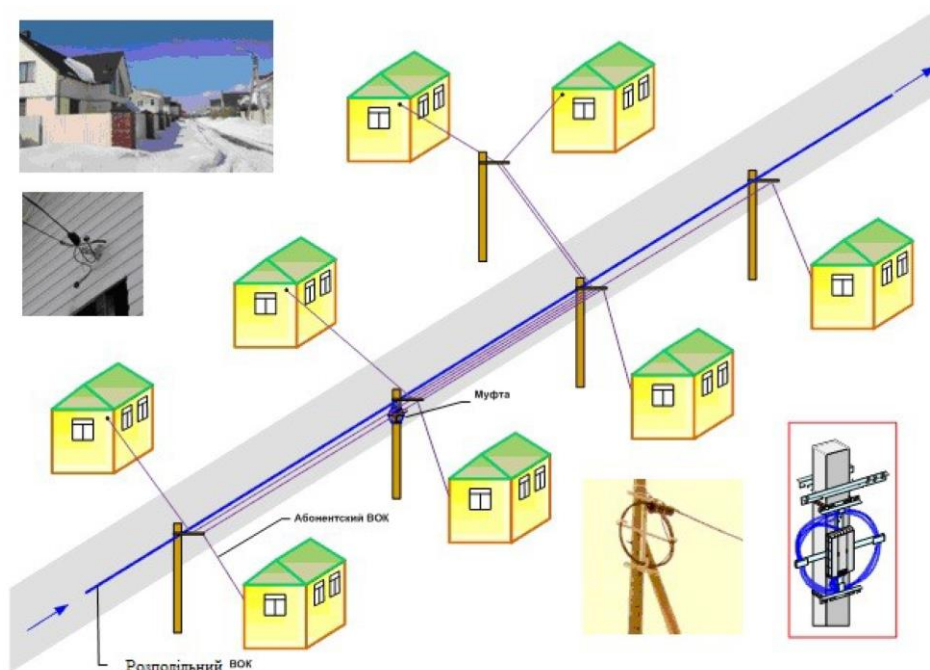


Рис. 3.7. Підключення будинків методом повітряної підвіски оптичного кабелю

У мережі PON такий кабель може служити для підключення одного житлового будинку на одну родину, офісу або багатоквартирного будинку.

Загальною рекомендацією є використання зварювання для підключення drop- кабелю у відвідному терміналі, так як зварене з'єднання в drop-терміналі гарантує надійне й високоякісне з'єднання на увесь час експлуатації оптичної мережі.

Для зовнішньої прокладки було обрано кабель Utex UT004, та UT002.

Підвісний оптичний ADSS кабель Utex ОКП (з2) Т 2 кН, призначений для підвішування на опорах ліній зв'язку, ліній електропередач, стовпах освітлення, між будівлями і спорудами, по зовнішньому фасаду будівель, а також для прокладки в кабельних лотках, кабельних каналах, кабельної каналізації, трубах, блоках, тунелях. Допустиме розтягуюче зусилля 1 кН. Оболонку з УФ-стабілізованого поліетилену високої щільності, 2 арамідно-пластикових силових елемента і зміцнюючи скловолокно (рис. 3.8). Несучий елемент виконаний з 1,6 мм оцинкованого дроту для якісної надійної поздовжнього натягу. Повністю діелектричний, що виключає можливість електромагнітних впливів на кабель, не вимагає вирішення питання заземлення. Захищений від попадання вологи. Армуюче скловолокно зміцнює конструкцію, мінімізує можливість фізичного ушкодження під час прокладання та експлуатації, в тому числі захищає від пошкодження гризунами [20].



Рис. 3.8. Оптичний кабель Utex ОКП (з2) Т 2 кН

3.4. Налагодження оптичної мережі за технологією GPON

Призначення будь-якої волоконнооптичної інформаційної мережі здійснювати передачу даних безпомилково та на високій швидкості.

Тестування в процесі будівництва ІМ допоможе звести до мінімуму дорогі й часозатратні зусилля по пошуку й усуненню несправностей, пошуку проблемних з'єднань, забруднених або ушкоджених конекторів і інших дефектних компонентів перше ніж вони приведуть до перерви у зв'язку [28]. Один з факторів, які дозволяють бути впевненим в відказостійкості системи передачі даних – це контроль втрат оптичної потужності в інформаційній мережі, згідно з певним у специфікаціях бюджетом втрат у лінії [29]. Це робиться із самого початку, за допомогою визначення загального бюджету втрат з певним запасом між кінцевими пунктами ІМ доступу.

Також необхідно зменшити до мінімуму зворотні відбиття. Це надзвичайно важливо для аналогових відеосигналів великої потужності, що створюються за 78 допомогою вузькосмугового лазера, через те, що сильні зворотні відбиття будуть погіршувати якість відео передачі.

Важливо провести виміри втрат і зворотних відбиттів для того, щоб переконатися, що на кожній довжині хвилі:

- Втрати й відбиття між кінцевими пунктами відповідають специфікаціям;
- При одержанні сумнівних результатів кожний сегмент відповідає або перевершує пропоновані вимоги.

Проведення таких тестів конче необхідно особливо у випадку, коли мережа включає старі кабелі, тому що волокна, призначені для роботи на довжині хвилі 1550 нм попередньо не тестувалися для роботи на довжині 1490 нм і можуть показувати значно більше загасання чим очікується.

Через те, що в інформаційній мережі використовуються високі рівні потужності особливо важливо стежити за чистотою й станом усіх конекторів.

Так як одномодові волокна мають малий діаметр (звичайно 9 мкм), то одна маленька частинка бруду або диму може заблокувати більш 10% передавальної площі. При підключенні конекторів необхідно виконувати наступні рекомендації:

Ніколи не торкайтесь непідключеним конектором будь-яких поверхонь,

а також ніколи не торкайтесь керамічного наконечника конектора, крім як для очищення. Очищайте й перевіряйте кожний конектор перед його підключенням з використанням мікроскопа або, що ще краще, використовуйте відеомікроскоп після чищення або перед підключенням, навіть якщо це було всього лише тимчасове відключення. Проводьте очищення й перевірку конекторів тестового устаткування щораз при його використанні, а після чищення контролюйте якість за допомогою мікроскопа або відеомікроскопа.

Необхідно використовувати правильний метод очищення: стиснене повітря, набір для чищення (рис.3.9), серветки для чищення, або спеціальний матеріал, призначений для чищення оптики. Також може бути використаний чистий спирт, призначений для чищення оптики. Невикористовуванні порти необхідно тримати закритими кришками, а невикористані кришки зберігати в пластиковому пакеті, що закривається.



Рис. 3.9. Набір для очищення волокон []

Не можна дивитись прямо у випромінююче волокно, якщо ваші очі незахищені. Завжди використовувати захисне екіпірування при перевірці: кабелів і конекторів; уважно дотримуйте всіх заходів для безпечної роботи, описаних в інструкції користувача для вимірювального устаткування; ніколи

не дивитися прямо у волокна, порти приладів або конектори, якщо ви абсолютно не певен що: джерело випромінювання виключене при використанні мікроскопа завжди попередньо переконаєтеся, що джерело випромінювання виключене

Не можна включати будь-яке устаткування передавальної системою, доти, поки ви абсолютно не будете впевнені, що всі роботи на передавальній системі завершені, і всі оптичні кабелі очищені й підключені.

У деяких системах використовуються APC конектори, тому при очищенні й підключенні таких конекторів необхідно дотримувати спеціальних заходів. Ніколи не можна підключати APC конектор до PC або UPC конектору.

У процесі будівництва було проведено три основні виміри [30]:

- двонаправлене вимірювання оптичних зворотних втрат (ORL);
- двонаправлене вимірювання оптичних втрат між двома кінцевими пунктами;
- двонаправлене зняття характеристик лінії.

Детальний опис процедури проведення даних тестів наведено нижче. Кожний розділ описує установку для проведення тестування й послідовність дій.

Набір вимірювального устаткування включає наступне: прилад для вимірювання потужності (ORL), прилад для вимірювання оптичних втрат (OLTS), візуальний дефектоскоп (VFL), детектор активного волокна (LFD), оптичний рефлектометр (OTDR) і поділяючий довжини хвиль вимірник потужність для PON. Прилад для вимірювання потужності для PON повинен мати можливість виміру потужності ATM або Ethernet трафіка. VFL вводить випромінювання від яскравого червоного лазера у волокно, що дозволяє знайти дефекти, видні неозброєним оком, такі як: погані зварювання, обриви чи макровигини. LFD використовується для виявлення без розриву зв'язку, волокон.

Після чого було проведено тестування PON після будівництва кожного сегмента. Після прокладки кожної секції оптичного кабелю було проведено

між кінцевими точками виміру ORL і виміру рефлектометром. Після установки розгалужувача проведені виміри основного волокна між патч-панеллю OLT і кожним вихідним портом розгалужувача. Після установки кінцевих терміналів проводились виміри між портом кожного терміналу й патч-панеллю волоконно-розподільчої коробки.

Так як зв'язок по волокну проводився в обох напрямках, ORL необхідно було вимірювати у кожному напрямку. Виміри робились з використанням вимірника ORL або сумісного вимірника оптичних втрат (OLTS) розташованих на кожному кінці лінії, вимір ORL проводився спочатку в одному напрямку, потім у протилежному. OLTS був використаний для виміру як оптичних втрат так і ORL одночасно. Було використано – Багатофункціональний оптичний тестер ORL/OLTS EXFO FOT-930.

Згідно з рекомендаціями ITU-T C.983 і G.984 максимально дозволене значення ORL для лінії становить 32 дБ.

У табл. 3.3 представлено типові значення ORL для різних типів конекторів, як були використані для побудови мережі.

Таблиця 3.3

Типові значення ORL для конекторів

Тип конектора	Типове значення ORL (дБ)
UPC	50-55
APC	65-70

Більші значення означають менший рівень відбиттів і тому є кращими. ORL визначається як відношення відбитої потужності до введеної потужності й обчислення на вході пристрою (DUT), що тестується, такого як волоконно-оптичний сегмент або лінія. ORL виражається в дБ і має позитивне значення.

Відбиття, навпаки, є негативним значенням і визначається як відбиття від одного інтерфейсу або події, наприклад від границі волокна(стекло)/повітря.

ORL лінії складається з Релеєвського зворотнього розсіювання волокна й відбиття від усіх інтерфейсів, що присутні у лінії. ORL може викликати

проблеми у випадку цифрових DWDM систем і систем працюючих на високих швидкостях, таких як OC-48 і OC-192, але особливий вплив ORL критично для аналогової передачі CATV, такої як використовується в FTТх системах на довжині 1550 нм (тобто аналогове відео в PON). Якщо Релеєвського розсіювання властиве волокну і його не можна повністю виключити, то відбиття, викликане різними мережними елементами (в основному конекторами й компонентами), які мають інтерфейси повітря/стекло або скло/стекло завжди можна зменшити за допомогою спеціальних заходів або кращої реалізації. Для оптимізації якості передачі, ефекти зворотних відбиттів (тобто перешкоди для джерела випромінювання або нестабільність вихідної потужності) повинні бути взяті під контроль. Тому необхідно сфокусувати увагу на якості мережних з'єднань і зробити це можна за допомогою ретельних і точних вимірів ORL

Основні проблеми, викликані ORL, включають наступне:

- сильні коливання у вихідній потужності лазера;
 - перешкоди на стороні приймача;
 - низьке співвідношення несуча/шум в аналогових системах, що приводить до дисторсії відеосигналів;
 - більш високий рівень помилок (BER) у цифрових системах4
- можливий вивід з ладу лазера.

3.5. Тестування мережі

При тестуванні мережі PON оператора зазвичай хвилюють два основні питання:

1. Реальне згасання в оптичній лінії між центральним вузлом та абонентським пристроєм (діючим або підготовкою до підключення).
2. Розташування проблемної ділянки, якщо реальне загасання в лінії виявилось вищим за очікуване (розрахункове або опорне).

Для відповіді перше питання досить провести прості виміри з допомогою оптичного тестера. Друге питання складніше і вимагає

застосування оптичного рефлектометра (OTDR), а також певного досвіду розшифрування рефлектограм.

Як правило, бажано, щоб усі необхідні вимірювання могли проводитися на мережі PON, що працює, без відключення абонентів (крім, можливо, тестованого). Таке тестування здійснюється на неробочій довжині хвилі із застосуванням додаткових пристроїв (хвильових мультиплексорів DWDM, фільтрів), щоб випромінювання вимірювальної апаратури не вносило перешкод корисному сигналу. Як згадувалося, у мережі PON для прямого каналу (від центру до абонентів) використовується довжина хвилі 1490 чи 1550 нм (для відео), зворотного каналу - 1310 нм. Для тестування мережі PON зазвичай використовують довжину хвилі 1625 нм.

Випромінювання вимірювальної апаратури (тестера, рефлектометра) вводиться в волокно відразу після OLT з використанням хвильового мультиплексора (DWDM), рис. 3.10.

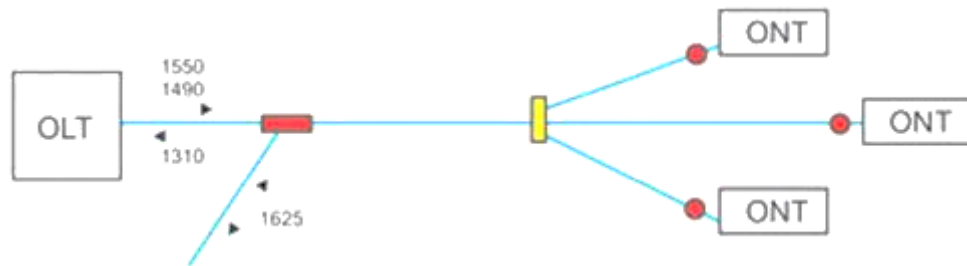


Рис. 3.10. Схема підключення хвильового мультиплексора та фільтрів до PON

Це випромінювання здатне викликати перешкоди на оптичному приймачі абонентського пристрою, тому перед кожним абонентським пристроєм ONT необхідно встановити фільтр. Для того щоб можна було проводити тестування без відключення мережі, хвильовий мультиплексор та фільтри повинні бути стаціонарно включені до оптичного тракту.

Для вимірювання згасання оптичної лінії між OLT і ONT використовувався оптичний тестер на 1625 нм. Передавач тестера підключається до вільного кінця хвильового мультиплексора OLT. Приймач

тестера підключається до вільного кінця волокна перед фільтром, рис.3.11.

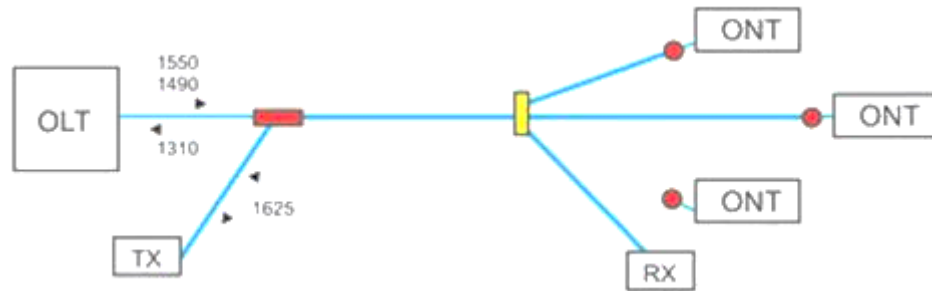


Рис. 3.11. Вимірювання згасання з вимкненням абонентського пристрою

Обов'язково необхідно провести вимірювання загального згасання в лінійному тракті для всіх гілок пасивної оптичної мережі. А при отриманні значення втрат вище розрахункового слід провести вимірювання величини втрат сигналу в окремих характерних точках мережі (рис. 3.12). Вимірювання загасання оптичної мережі або її сегмента зазвичай проводиться методом внесених втрат (IEC 61280-4-2, Method 1) за допомогою каліброваного джерела випромінювання і оптичного вимірювача потужності або оптичного тестера, який поєднує обидва таких пристрої в одному корпусі.

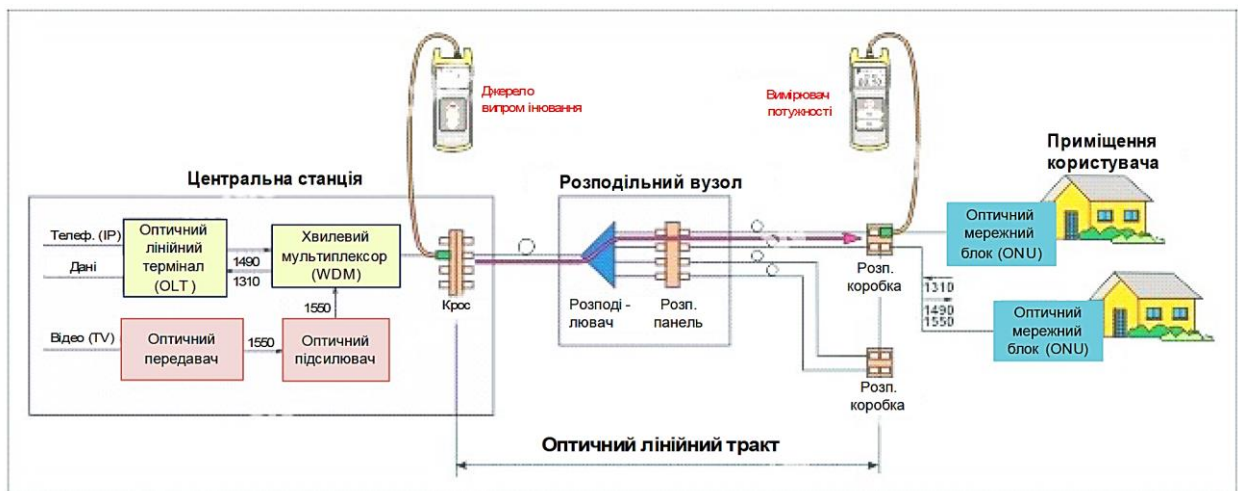


Рис. 3.12. Вимірювання величини втрат сигналу в окремих характерних точках мережі

Методика тестування мережі PON з використанням рефлектометра ось

у чому. Після кожної зміни топології мережі (підключення нового абонента, заміни спліттера тощо) знімається опорна (еталонна) рефлектограма, що відповідає нормальному стану мережі. При виявленні проблем у мережі (наприклад, якщо згасання, виміряне оптичним тестером, виявилось вище за розрахунковий) знімається нова рефлектограма, яка порівнюється з опорною. Нові події на рефлектограмі локалізують розташування проблемної ділянки (рис. 3.13).

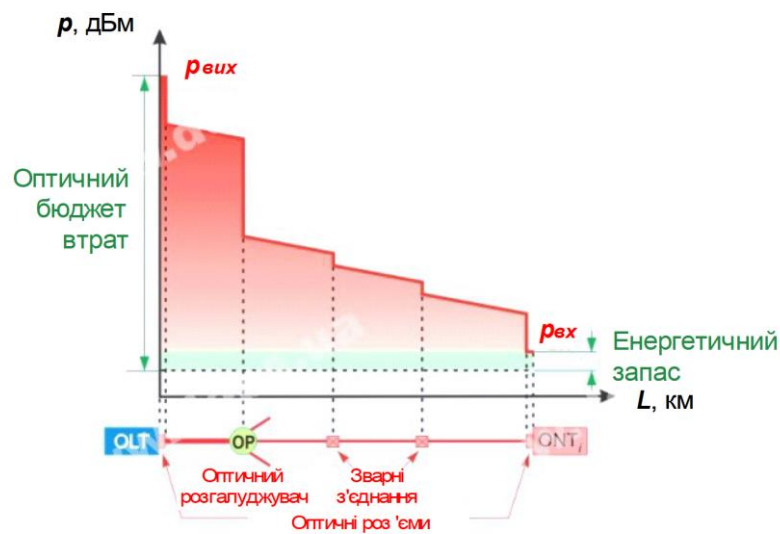


Рис. 3.13. Аналіз нових подій на рефлектограмі

За допомогою рефлектометра ми провели моніторинг мережі PON на наявність проблеми. Для цього необхідно регулярно (наприклад, раз на тиждень) знімати рефлектограму мережі та порівнювати її з опорною рефлектограмою. З появою будь-яких відхилень і більше нових подій на рефлектограмі необхідно аналізувати їх можливі причини і за необхідності проводити адекватні профілактичні заходи.

3.6. Розрахунок параметрів мережі

Для того, щоб грамотно побудувати дерево PON, необхідно враховувати, у першу чергу, оптичні втрати, що привносяться пасивним устаткуванням. На основі аналізу основних характеристик сучасних дільників потужності і експериментальних досліджень можна отримати вирази для розрахунку

внесених втрат оптичних симетричних і несиметричних дільників потужності з довільними коефіцієнтами ділення N в другому вікні прозорості для двох класів точності, клас А ($\Delta\lambda \pm 20$ нм) і клас В ($\Delta\lambda \pm 40$ нм) [17].

Для наведеної у додатку В, мережі зробимо розрахунок за умови, що мережа збалансована.

Так, емпіричне вираження для симетричного розподільника має такий вигляд:

$$\alpha_{\text{внос}} = 10 * \lg N + \beta * \lg[N(N - 1)] \text{ Дб}, \quad (3.10)$$

Залежно від виду розподільника поправочний коефіцієнт β має різні числові значення, які визначені відповідно до результатів експериментів, аналізом паспортних даних, а також з роботами інших авторів [19]. Експериментальні дослідження планарних симетричних дільників потужності 1x2, 1x3, 1x16, 1x32 були проведені у другому вікні прозорості. Параметри коефіцієнта β представлені у табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Значення коефіцієнту β

β	Дільник	1x2	1x3	1x4	1x8	1x12	1x16	1x24	1x32	1x64
	Клас А		0,15	0,25	0,25	0,3	0,35	0,35	0,15	0,4
Клас В		0,2	0,35	0,4	0,55	0,65	0,7	0,85	0,85	0,8

З даної таблиці ми бачимо, що чим більш багатокаскадний розподільник, тим вище чисельне значення поправочного коефіцієнта і внесених втрат, через так звану інтерференцію в структурі самого розподільника.

Далі ми визначимо показник внесених втрат симетричного розподільника в залежності від числа вихідних портів відповідно до табл.3.4. Результати розрахунків представлені у табл. 3.5.

Різниця чисельних значень внесених втрат, виміряних експериментально і розрахованих відповідно до (3.4.) становить 0,05-0,2 дБ.

Вираз для несиметричного розподільник потужності з кількістю вихідних портів N:

$$\alpha_{\text{внос}} = 10 * \lg \frac{100}{P} + \beta * \lg \left[\frac{100}{P} (N - 1) \right] \text{ Дб}, \quad (3.11)$$

де β - коефіцієнт для класу А дорівнює 0,15, а для класу В - 0,25; P - відсоток потужності, виведеної в даний порт у %.

Таблиця 3.5

Втрати симетричного розподільника

Число вихідних портів N	Втрати для симетричного розподільника, що вносяться, Дб	
	Для класу А	Для класу В
2	3,485	3,762
3	5,718	6,097
4	6,968	7,536
6	8,918	9,486
8	10,167	11,115
16	13,368	14,693
32	16,567	18,272

Як показують дані розрахунки представлені у таблиці 3.5., різниця чисельних значень внесених втрат, виміряних експериментально і розрахованих становить 0,05-0,2дБ і (2) - максимально 0,3дБ.

Отримані вирази дозволяють розрахувати величину втрат, що вносяться з похибкою не більше 5% (табл.3.6.).

Таблиця 3.6

Втрати, що вносяться несиметричним розподільником потужності

Процент потужності, що виводиться на кожен порт, %	Втрати, що вносяться, Дб			
	Клас А,	$\beta = 0,15$	Клас В,	$\beta = 0,25$
40/60	4,039	2,252	4,079	2,274
30/70	5,307	1,572	5,36	1,588
20/80	7,095	0,984	7,164	0,993
10/90	10,15	0,464	10,25	0,469

Проведемо розрахунок працездатності мережі PON для конкретного

випадку.

Теоретичний радіус мережі PON становить 20км. Практично – все залежить від бюджету втрат на конкретній гілці дерева.

Для розрахунків необхідно обирати самі гірші показники згасань, чутливості й потужності випромінювання передавачів.

Стандартно при розрахунках використовують таблиці згасань для сплітерів, приймають: 0,05 дБм згасання на зварюванні; 0,36 дБм/км згасання у волокні на довжині хвилі 1310 нм (для 1550 нм згасання у волокні дорівнює 0,22 дБм/км), згасання на механічному з'єднанні приймають рівним 0,5 дБм, згасання при перегині варіюється від 0,15 дБм до 7 дБм і більше (визначається приладом на місці).

Далі, необхідно врахувати й підсумувати всі місця, у яких є елементи, що привносять згасання в лінію між головною станцією OLT та абонентським комплектом ONT. До отриманого значення додають згасання на волокні по всій довжині лінії від самого далекого абонента до OLT. Таким чином, можна вирахувати бюджет втрат в PON.

Наступний крок - розрахунок оптичного бюджету потужності, але його частіше за все приймають рівним 30 дБм (гарантія від виробника обладнання, оптичний бюджет потужності, рівний 30 дБм). Усе, що понад 30 дБм - необхідно тестувати.

Дерево буде гарантовано працездатне, якщо бюджет втрат нижче бюджету потужності.

Окремо слід враховувати передачу CATV та зварені розподільники, тут телевізійний сигнал має потужність від 7 дБм (найгірший варіант) до 24 дБм (дорогі передавачі або EDFA підсилювачі), а на телевізійний приймач (окремий або в складі ONU) цей сигнал повинен прийти з мінімальною потужністю -12 дБм. Тому, при використанні зварених розподільників, варто бути гранично обережним і щораз перед новим підключенням перераховувати дерево PON для того, щоб переконатися, що у кожного абонента сигнал однаковий і не виходить за межі чутливості телевізійного приймача.

Вихідні дані для розрахунку:

Максимальна відстань від OLT до ONT у дереві = 250 м;

Вихідна потужність: SFP OLT модуля: «SFP TX PWR» = +5 дБ, ONT SFP В+ TX = +2 дБ;

Чутливість приймача: ONU: «ONU RX SENS» = -28 дБ, OLT SFP C+ + RX = -32 дБ;

Відповідно оптичний бюджет лінії буде дорівнювати

$$\text{OLT} \rightarrow \text{ONT}: (P=+ 5-5-(-28)) = 33 \text{ дБ};$$

$$\text{ONT} \rightarrow \text{OLT}: (P=+ 2-2-(-32)) = 34 \text{ дБ};$$

Втрати на роз'ємних з'єднаннях (конектори) = 0,15 (0,3) дБ;

Втрати на нероз'ємних з'єднаннях (зварювання) = 0,05 (0,15) дБ;

Згасання в стандартному волокні G.652.D на кілометр на довжині хвилі 1310 = 0,36 дБ/км;

Згасання в стандартному волокні G.652.D на кілометр на довжині хвилі 1550 = 0,22 дБ/км;

Експлуатаційний запас = 3 дБ.

У табл. 3.7., наведені показники згасань для оптичних спліттерів з рівномірним розподілом.

Таблиця 3.7

Згасання оптичних спліттерів рівномірним розподілом (без урахування конекторів)

Дільник їх	Згасання на кожному виході, Дб
РБС 1x2	3.4
РБС 1x4	7.0
РБС 1x8	10.3
РБС 1x16	14.1
РБС 1x32	16.9

Наступним кроком дослідження є, розрахунок максимального можливого згасання в дереві при використанні спліттерів по схемі:

$$\text{OLT} \rightarrow 1x8 \rightarrow 1x8 \rightarrow \text{ONT}$$

Визначимо працездатність лінії:

$$33 - 24,175 = 8,825 \text{ дБ.}$$

У цьому випадку використовуються 2 конекторних з'єднання, 4 зварені з'єднання, 2 спліттера 1x8 та лінія довжиною 250 м.

Максимально можливе згасання складе: -0,15 (конектор OLT) - 0,05 (зварювання) - 10,3 (загасання спліттера) - 0,05 (зварювання) - 0,05 (зварювання) - 10,3 (загасання спліттера) - 0,05 (зварювання) - 0,15 (конектор ONT) - 0,075 (втрати в кабелі на 250 м) - 3(експлуатаційний запас) = -24,175 дБ.

Проектована мережа PON представлена на рисунку 3.4, з якого видно, що найдовша гілка OLT-ONT13 становить 9 км, а найкоротша гілку OLT-ONT1 – 2 км. Кількість ONT дорівнює 18.

Для наведеної у додатку В, мережі зробимо розрахунок за умови, що мережа збалансована.

Розрахунок мережі будемо виробляти від низу до верху, тобто від ONT до OLT. Так як напрямок потоку висхідний, то передача сигналу проходить на довжині хвилі 1310 нм, для якої загасання одно 0,35 дБ/км.

Для визначення параметрів оптичних розгалужувачів і подальшого розрахунку мережі необхідно визначити, які втрати характерні для проектованої мережі. Найбільш типовими є втрати в роз'ємних з'єднаннях, які становлять 0,3 дБ, а також втрати в зварних з'єднаннях – 0,05 дБ.

Отже, всі проведені розрахунки показують, що дані параметри задовольняють нормам, дерево PON робоче й має запас в 8,825 дБ.

ВИСНОВКИ

На основі проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Технологія PON з'явилася як альтернатива топології «точка-точка» для побудови мережі FTTH, забезпечуючи економію кабелю та портів у точці присутності, а також можливість розміщення аналогового відеосигналу.

2. Основні елементи PON - оптичний лінійний термінал (OLT), оптичний розгалужувач (ODN) та оптичний модем (ONT) - забезпечують передачу сигналів між провайдером та абонентом за допомогою оптичного волокна.

3. Дослідження архітектури та принципу дії технології PON дозволило організувати архітектурні рішення для побудови мережі FTTH на базі PON.

4. Обґрунтування та розрахунок параметрів оптичної частини мережі є важливою складовою побудови мережі FTTH на базі PON, після чого вони виконують якість передачі сигналу та швидкість мережі.

5. Побудова розподільної мережі GPON та налагодження оптичної мережі за допомогою цієї технології дозволили побудувати мережу FTTH на базі PON та забезпечити якісну передачу сигналу.

6. Тестування мережі та розрахунок параметрів мережі допомогли перевірити правильність побудови мережі та встановити її основні параметри.

7. Було обґрунтовано параметри оптичної частини мережі, розроблено алгоритм розрахунку цих параметрів, а також побудовано розподільну мережу GPON. Для налагодження мережі було проведено тестування та розрахунок її параметрів.

8. Також було проведено аналіз роботи мережі PON, визначено методи дослідження ефективності та показники її роботи. Результати досліджень дозволили зробити висновки про ефективність використання технології PON для побудови доступу до мережі.

Отже, можна стверджувати, що технологія PON є високоефективним рішенням для побудови доступу до мережі з урахуванням економічних ресурсів та забезпечення високої якості обслуговування користувачів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Chowdhury, B., & Reaz, MBI. PON наступного покоління для майбутньої мережі широкосмугового доступу: можливості та проблеми. *Journal of Network and Computer Applications*, 2015. № 49, p. 75-86.
2. Introduction to Networks Companion Guide (CCNAv7). *1st Edition*. Amsterdam: Cisco Press, 2020. 1030 p.
3. Kani, J., Aziz, ABA, & Fisal, N. Оцінка продуктивності пасивних оптичних мереж нового покоління. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 2015. № 126(24), p. 5301-5306.
4. Partha Pratim Sahu. Fundamentals of Optical Networks and Components. First edition. 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300, Boca Raton, FL: CRC Press, 2021. 389 p.
5. Scott Prieto. CompTIA A+ 220-901. Study guide. PowerCert, 2017. 203 p.
6. Scott Prieto. CompTIA Network+ N10-006. Study guide. PowerCert, 2017. 187 p.
7. Zhang, X., Xu, Z., Xu, Y., & Liu, Y. Огляд WDM-PON для волоконно-оптичної мережі доступу. *Журнал світлохвильової технології*, 2014. № 32(4), С. 694-703.
8. Васильєв В. Оптичні технології доступу. Технологія PON. М.: Гаряча лінія Телеком, 2007. 352 с.
9. Галка А. Перспективи розвитку PON-технологій. *Телекомунікації*. 2008. № 5. С. 58-61.
10. Гао Ю., Се Ю. та Ван Ю. Еволюція мережі доступу: від пасивної оптичної мережі Gigabit Ethernet (GEPON) до 10G-EPON. *Журнал оптичних комунікацій та мереж*, 2017. № 9(4), С. 35-С44.
11. Гельфанд С., Жуков А. Широкополосні технології оптичного доступу. *Радіотехніка*. 2007. № 5. С. 68-73.
12. Каур Дж., Сінгх Х. Порівняльний аналіз технологій GPON та EPON для майбутньої мережі. У 2020 році IEEE International Conference on Computing,

Power and Communication *Technologies* (GUCON). 2020. С. 1-6. IEEE.

13. Пацілінакос А., Захаропулос А. Вплив технології наступного покоління PON на комунікації Smart Grid. У 2017 році на Міжнародній енергетичній конференції IEEE (ENERGYCON). 2017. С. 1-6. IEEE.

14. Портнов А. Оптичні лінії зв'язку. *Теорія і практика*. СПб.: Пітер, 2005. 400 с.

15. Сайт mounblan.com.ua. Обладнання для мереж PON. URL: <https://mounblan.com.ua/pon-ua/optovolokonnij-kabel-ua/pidvisnij-optichnij-adss-kabel-okps2t-04-okps15t-01-ua> (дата звернення: 07.04.2023).

16. Фернандес Ф.А., Теран Ж.С. Проектування та впровадження мережі FTTH за технологією GPON. *Журнал фізики: Серія конференцій*, 2018. № 1032(1), 012010.

17. Чжан Ю., Гуо Ю., Чжан Ю., Сю Х. та Сян Ю. Нова архітектура мережі доступу на основі NG-PON і SDN для послуг 5G. *IEEE Access*, 2019. 7, 129195-129204.

18. Чжен, Дж., і Пун, КП. Пасивні оптичні мережі FTTH наступного покоління: дослідження щодо необмеженого доступу до смуги пропускання. *IEEE Communications Magazine*, 2007. 45(5), 44-50.

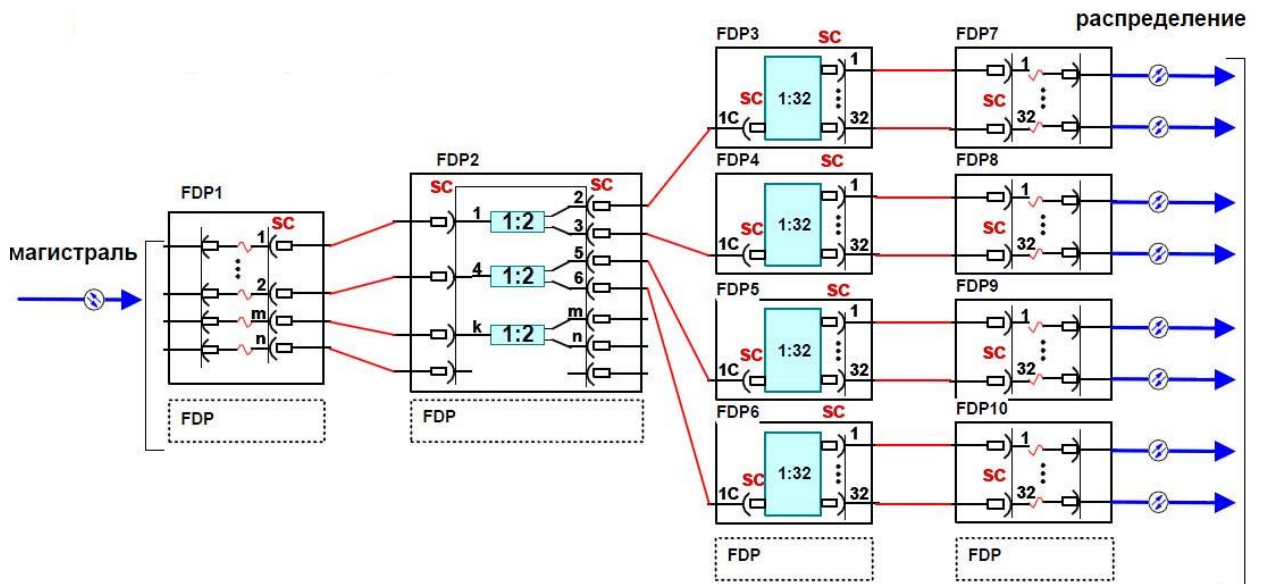
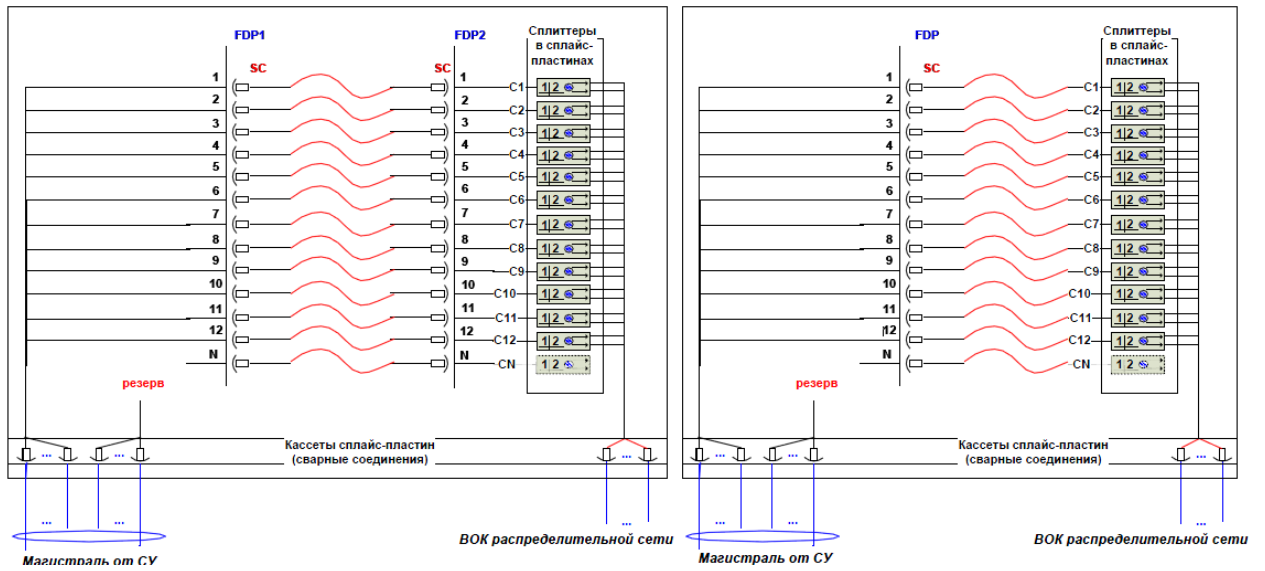
19. Шейх Ф.К., Кумар С. Вплив технологій наступного покоління PON на комунікації розумних мереж. *International Journal of Computer Applications*, 2016. № 140(9), 9-12.

ДОДАТКИ

Варіанти типового розподілу волокон, роз'ємів та оптичних розгалужувачів 1:2 в ОРШ середньої та великої ємності (ОРШ-С, ОРШ-Б)

Б)

ОРШ Средней и Большой емкости (ОРШ-С, ОРШ-Б)



Проектowana мережа PON

