

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет
Кафедра комп'ютерної інженерії



**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

на тему Дослідження процесу побудови мережі доступу
та її впровадження
(назва кваліфікаційної роботи згідно наказу ОНТУ)

Здобувачка Милюткіна Д. В.
(прізвище, ініціали)

2 курсу 777 групи

Керівники: к.т.н., доц. Сахарова С. В.
(посада, прізвище та ініціали)

ст. викл. Жирнова Т.М
(посада, прізвище та ініціали)

Консультанти: д.е.н., проф. Басюркіна Н.Й
(посада, прізвище та ініціали)

к.т.н., доц. Ненов О. Л.

(посада, прізвище та ініціали)

ст. викл. Жуковецька С.Л.

(посада, прізвище та ініціали)

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від 30 листопада 2023 р., протокол № 3

Завідувач кафедри комп. інженерії Сергій АРТЕМЕНКО
(назва кафедри) (підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Одеса – 2023 р.

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет	<u>Комп'ютерної інженерії, програмування та кіберзахисту</u>
Кафедра	<u>Комп'ютерної інженерії</u>
Ступінь вищої освіти	<u>магістр</u>
Спеціальність	<u>123 «Комп'ютерна інженерія»</u>
Освітня програма	<u>Комп'ютерні системи та мережі</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри комп'ютерної інженерії

Сергій АРТЕМЕНКО

« 30 » листопада 2023 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Милюткіної Діни Володимирівни

1. Тема роботи Дослідження процесу побудови мережі доступу та її впровадження

Затверджена наказом університету від « 30 » листопада 2022 р., наказ № 884-03

2 Термін здачі здобувачем закінченої роботи 28 листопада 2023 р.

3. Вихідні дані роботи

1. Microsoft Word. 2. Дані про існуючі технології та методи побудови мереж доступу на основі технології PON. 3. Microsoft Power Point.

4. Перелік питань, які потрібно розробити

1. Вступ. 2. Аналіз сучасних пасивних оптичних мереж. 3. Аналіз особливостей пасивних оптичних мереж TDM-PON та WDM-PON 4. Побудова комунікаційної мережі на основі WDM- PON. 5. Економічні розрахунки. 6. Охорона праці. 7. Загальні висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Слайди: 1. Тема; 2. Актуальність роботи, мета, об'єкт, предмет; 3. Завдання роботи;
4. Характеристика понять «мереж доступу», «PON»; 5. Особливості мереж WDM-PON;
6. Порівняння технологій TDM-PON та WDM-PON; 7. Схема переходу з TDM-PON на WDM-
PON 8. Архітектури мереж WDM-PON; 9. Вартісні показники TDM-PON; 10. Вартісні
показники WDM-PON; 11. Порівняння вартості TDM-PON та WDM-PON; 12. Перелік
послуг; 13. Топологія; 14.; 15. Вибір обладнання.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Економіка</i>	<i>д.е.н., проф. Басюркіна Н. Й.</i>		
<i>Охорона праці</i>	<i>к.т.н., доц. Нєнов О. Л</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>ст. викл. Жуковецька С. Л.</i>		

7. Дата видачі завдання 30.11.2022

Керівники Світлана САХАРОВА
Тетяна ЖИРНОВА
 Завдання прийняв до виконання Діна МИЛЮТКІНА

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Обґрунтування актуальності теми проєкту, постановка завдання та мети проєкту</i>	<i>29.02.2023</i>	
2.	<i>Формування об'єкту та предмету проєкту</i>	<i>02.08.2023</i>	
3.	<i>Аналіз сучасних пасивних оптичних мереж</i>	<i>10.09.2023</i>	
4.	<i>Аналіз особливостей пасивних оптичних мереж TDM-PON та WDM-PON</i>	<i>19.10.2023</i>	
5.	<i>Побудова комунікаційної мережі на основі WDM-PON</i>	<i>31.10.2023</i>	
6.	<i>Порівняльний аналіз технологій TDM-PON та WDM-PON</i>	<i>03.11.2023</i>	
7.	<i>Економічні розрахунки</i>	<i>07.11.2023</i>	
8.	<i>Остаточне оформлення пояснювальної записки</i>	<i>15.11.2023</i>	
9.	<i>Підготовка графічного матеріалу</i>	<i>28.11.2023</i>	

Здобувачка - дипломник Діна МИЛЮТКІНА

Керівники роботи Світлана САХАРОВА
Тетяна ЖИРНОВА

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.

Здобувачка - дипломник Діна МИЛЮТКІНА

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота досліджує процес побудови мережі доступу, побудованих за технологією PON. Головною метою кваліфікаційної роботи є оцінка ефективності різних технологій і стратегій побудови мереж доступу для забезпечення якісного та швидкого доступу для користувачів, а також для впровадження нових технологій

У першому розділі було розглядалися сучасні пасивні оптичні мережі доступу, розглянуто особливості досліджуваної мережі та обладнання мереж *PON*. У другому розділі розглядалися технології *TDM-PON* та *WDM-PON*, а також розглянуті параметри пристроїв *WDM-PON*. У третьому розділі розглянуто область застосування *WDM-PON*, актуальність технології та доступні сервіси, перелічені типові архітектури *WDM-PON*, проведено порівняльний аналіз технологій *TDM-PON* та *WDM-PON*, сформовано структурну схему проєктованої мережі доступу, обрано обладнання. У четвертому розділі проведено експертну оцінку ефективності проєкту, розроблено бізнес-план побудови комунікаційної мережі у багатоповерховому будинку на основі мережі *WDM-PON*. У п'ятому розділі розглянуті основні положення техніки безпеки та основні аспекти охорони праці у сфері мереж доступу.

Результатом роботи є розраховані під час аналізу показники вартості технологій *TDM-PON* та *WDM-PON*, розроблені рекомендації щодо можливого підвищення пропускної здатності мереж *WDM-PON*. Згідно з розрахунками та рекомендаціями виконаного проєкту пропускна здатність мереж *WDM-PON* може бути підвищена, шляхом збільшення кількості довжин хвиль, використання більш ефективних протоколів передачі даних або впровадження нових технологій.

Ключові слова: мережа доступу, пасивні оптичні мережі (*PON*), абонентський термінал (*ONT*), спектральне ущільнення каналів (*WDM*), часове ущільнення каналів (*TDM*).

ABSTRACT

The qualification work explores the process of building access networks based on PON (Passive Optical Network) technology. The main goal of the qualification work is to assess the efficiency of various technologies and strategies for constructing access networks to provide quality and high-speed access for users, as well as to implement new technologies.

The first chapter discusses modern passive optical access networks, examines the features of the studied network, and reviews PON equipment. The second chapter explores TDM-PON and WDM-PON technologies, along with the parameters of WDM-PON devices. The third chapter examines the application area of WDM-PON, the relevance of the technology, available services, typical architectures of WDM-PON, conducts a comparative analysis of TDM-PON and WDM-PON technologies, forms a structural scheme of the designed access network, and selects equipment.

In the fourth chapter, an expert evaluation of the project's efficiency is conducted, and a business plan for building a communication network in a multi-story building based on WDM-PON is developed. The fifth chapter covers the basic principles of safety and main aspects of occupational safety in the field of access networks.

The results of the work include calculated indicators of the cost of TDM-PON and WDM-PON technologies during the analysis, recommendations for possible increases in the throughput of WDM-PON networks. According to the calculations and recommendations of the completed project, the throughput of WDM-PON networks can be increased by increasing the number of wavelengths, using more efficient data transmission protocols, or implementing new technologies.

Keywords: *access network, passive optical networks (PON), optical network terminal (ONT), wavelength division multiplexing (WDM), time division multiplexing (TDM).*

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

<i>PON</i>	Пасивні оптичні мережі
<i>OLT</i>	Оптичний лінійний термінал
<i>CO</i>	Станційне обладнання
<i>ONU</i>	Блоки оптичної мережі
<i>WDM</i>	Спектральне ущільнення каналів передачі, або ущільнення за довжинами хвиль
<i>TDM</i>	Мультиплексування з поділом за часом, часове ущільнення
<i>CWDM</i>	Технологія грубого хвильового мультиплексування каналів
<i>DWDM</i>	Технологія щільного хвильового мультиплексування каналів
<i>AWG</i>	Хвильові селективні фільтри
<i>ISP</i>	Постачальники послуг Інтернету
<i>DSL</i>	Цифрова абонентська лінія
<i>TCP</i>	Протокол управління передачею
<i>ITU</i>	Міжнародний Союз Електрозв'язку
<i>CATV</i>	Кабельне телебачення
<i>EDFA</i>	Ербієвий волоконний підсилювач
<i>DFB</i>	Розподілений зворотний зв'язок
<i>DBR</i>	Розподілений рефлектор Брегга
<i>VCSEL</i>	Діод з лазерним випромінюванням з вертикальною порожниною
<i>LD</i>	Лазерний діод
<i>TEO</i>	Термоелектричний охолоджувач
<i>FSR_c</i>	Вільний спектральний діапазон
<i>ASE</i>	Посилене спонтанне випромінювання

<i>SOA</i>	Напівпровідниковий оптичний підсилювач
<i>ASK</i>	Амплітудна маніпуляція
<i>LARNET</i>	Локальна мережа маршрутизатора доступу
<i>RITENET</i>	<i>PON</i> з віддаленим опитуванням термінальної мережі

РОЗДІЛ 4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	82
4.1 Економічні розрахунки проєкту	82
4.2 Порівняння оптичних мереж <i>TDM-PON</i> та <i>WDM-PON</i>	87
4.3 Побудова комунікаційної мережі у багатоповерховому будинку на основі мережі <i>WDM-PON</i>	90
4.3.1 Аналіз доходів та витрат	92
4.3.2 Аналіз конкурентів	93
Висновок до четвертого розділу.....	94
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	95
5.1 Основні положення техніки безпеки	96
5.2 Основні аспекти охорони праці у сфері мереж доступу	97
5.3 Пожежна профілактика	98
5.4 Виробнича санітарія	100
Висновок до п'ятого розділу	101
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	102
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	103
ДОДАТКИ	106
Додаток А Графічний матеріал	106

					<i>КРМ.КІ.1.884-03.3.4</i>	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наукова новизна. Запропоновано алгоритм побудови мережі доступу на основі технології *PON* та її впровадження.

Практичне значення роботи запропоновано та розроблено проєкт мережі на основі технології *WDM-PON*.

					<i>KPM.KI.1.884-03.3.4</i>	<i>Арк.</i>
						11
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПАСИВНИХ ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ

1.1 Визначення понять мереж доступу та аналіз особливостей *PON*

Мережа доступу, також відома як мережа першої милі, підключається постачальником послуг, яким користуються підприємства та абоненти. Цю мережу в літературі також називають мережею доступу абонентів або абонентської лінії. Попит на пропускну здатність мережі доступу за останні кілька років стрімко зростає. Постійні абоненти обирають рішення доступу першої милі, які мають високу пропускну здатність і пропонують різні послуги, мультимедіа. Крім того, корпоративним користувачам потрібен широкосмуговий доступ інфраструктури, за допомогою якої вони можуть підключатися до своїх локальних мереж - мережі Інтернет.

Пасивні оптичні мережі (*PON*) використовуються для надання великої пропускну здатності в мережах доступу. *PON* – це архітектура, що використовує оптичне волокно передачі сигналів між оптичним лінійним терміналом (*OLT*) і багатьма оптичними мережевими одиницями (*ONU*), підключеними до кінцевим користувачам.

Мережа між *OLT* та *ONU* пасивна, тобто не потребує живлення. Звичайні *PON* використовують одну довжину хвилі в кожному з двох напрямків – прямий потік (від *CO* до кінцевих користувачів) та зворотний потік (від кінцевих користувачів до *CO*) – і довжини хвиль мультиплексується на те саме волокно через грубий *WDM* (*CWDM*). Наприклад, в Ethernet *PON* (*EPON*) використовується довжина хвилі 1490 нм для низхідного потоку та довжина хвилі 1310 нм для висхідного потоку.

Таким чином, пропускну здатність, доступна на одній довжині хвилі, розподіляється між усіма кінцевими користувачами. Таке рішення

					КРМ.КІ.1.884-03.3.4	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

WDM-PON – це технологія мережі доступу, яка може змінити інфраструктуру операторів зв'язку. *WDM-PON* створює логічну архітектуру «точка-точка» на основі довжини хвилі на основі фізичної волоконної оптики топологія точка-багато точка. Він використовує технологію *WDM* мультиплексування / демуплексування, щоб гарантувати, що сигнали даних можна розділити на окремі вихідні сигнали, до яких підключаються будівлі або будинки.

Такий розподіл трафіку на основі апаратного забезпечення забезпечує переваги для клієнтів захищена та масштабована лінія зв'язку «точка-точка» на довжині хвилі, але дозволяє оператору підтримувати дуже невелику кількість волокон, що значно знижує експлуатаційні витрати. Для сучасної мережі *WDM-PON* є важливою технологією для будівництва мереж *5G*, оскільки *5G* вимагає великої пропускної здатності та ефективного забезпечення передачі даних високої швидкості.

Концепція *WDM-PON* з використанням хвильової сітки *DWDM* для розміщення багатьох паралельних високошвидкісних каналів поверх однієї інфраструктури *PON* відображає тенденції у майбутнє розвитку оптоволоконних мереж доступу. *WDM* пропонує альтернативу схемі передачі на основі поділу часу. У *WDM*, *ONT* передає та приймає дані на певній довжині хвилі.

У мережі передається загальний потік, а по кожному абонентському терміналі має оптичний фільтр для вибору довжини хвилі. Технічно можна забезпечити продуктивність системи зі швидкостями для кожного каналу близько 4-10 Гбіт / с. Типова архітектура *WDM-PON* буде замінювати пасивні сплітери на хвильові селективні фільтри.

Основні переваги *WDM-PON*:

- виділена смуга для кожного користувача;
- фізична ізоляція абонентських сигналів;
- ефективне використання волокна (до 64 абонентів на одному волокні);
- збільшення дальності зв'язку (до 80 км проти 20 км у до звичайного *PON*).

					<i>KPM.KI.1.884-03.3.4</i>	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Враховуючи ці переваги, *WDM-PON* може стати привабливою архітектурною опцією для мереж доступу, особливо у випадках, коли потрібна велика пропускна здатність та ефективне використання ресурсів.

Основна проблема, яка часто виникає при впровадженні нових технологій це висока вартість. Для *WDM-PON* потрібні вузькосмугові передавачі, що випромінюють на заданій довжині хвилі. Цей показник особливо критичний для абонентських пристроїв *ONT*, оскільки їх вартість безпосередньо впливає на вартість абонентської лінії.

Впровадження стандартів та уніфікація технологій може допомогти знизити вартість обладнання. Якщо індустрія прийме стандарти для вузькосмугових передавачів у *WDM-PON*, це може сприяти створенню конкурентоспроможного ринку та зменшити вартість обладнання через масштабування та консолідацію.

WDM-PON забезпечує масштабованість, оскільки підтримує кілька довжин хвиль уздовж одного волокна. Прямий підхід до створення *WDM-PON* полягає у використанні окремої довжини хвилі в каналі від *OLT* до кожного *ONU*, для кожного вгору та вниз.

Такий підхід створює індивідуальне точкове з'єднання між кожним абонентським пристроєм (*ONU*) та центральним офісом (*OLT*), яке дозволяє кожному *ONU* працювати на своїй унікальній довжині хвилі. Оскільки кожен *ONU* має свою власну довжину хвилі, що відрізняє його від інших, це робить кожне підключення індивідуальним, створюючи окремий канал зв'язку між *OLT* і кожним абонентським підключенням.

Ця технологія дозволяє *ONU* працювати на великій швидкості, а також підтримує можливість використання різних довжин хвиль для різних швидкостей передачі, що робить його гнучким і можливим для підтримки різних видів послуг в межах однієї мережі.

Простий підхід до побудови *WDM-PON*. В основі *WDM-PON* лежить ідея використання різних довжин хвиль для створення окремих каналів зв'язку від

					<i>KPM.KI.1.884-03.3.4</i>	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

AWG є пасивним оптичним пристроєм, який використовується для мультиплексування та демультимплексування каналів довжини хвилі. Основна його властивість полягає в тому, що різні спектральні порядки направляються на один і той же вихідний порт з вхідного порту. Це забезпечує просторову використаність різних каналів довжини хвилі.

1.3 Обладнання мережі *PON*

Багатохвильове джерело на *OLT* використовує багатохвильове джерело для передачі різних довжин хвиль до різних *ONU*. Кожна довжина хвиль відповідає конкретному *ONU*. Для висхідного напрямку *OLT* використовує демультимплексор *WDM* для розділення різних довжин хвиль, а приймальна матриця приймає вихідні сигнали.

У цьому прикладі передачі по низхідних та висхідних потоках відбуваються у вікнах з різною довжиною хвиль, використовується грубе *WDM* (*CWDM*), а в кожному вікні довжини хвиль подальше розділяються за допомогою щільного *WDM* (*DWDM*).

Одна з ключових вимог *WDM-PON* – це масштабованість як у пропускній здатності, так і в кількості користувачів. Це означає, що мережа може легко розширюватися для високої кількості користувачів та забезпечувати високу швидкість передачі даних. Оптичні пристрої, такі як *WDM*-перемикачі, демультимплексори та матриці, повинні бути економічно доцільними, щоб забезпечити ефективність мережі та знизити вартість.

Майбутнє покоління мереж *PON*, як очікується, буде спрямоване на подальше збільшення оптичної пропускної здатності та розширення можливостей для задоволення зростаючих потреб у високошвидкісному доступі до Інтернету та інших послуг. Це може включати в себе розвиток нових технологій або поєднання існуючих підходів, таких як *TDM* та *WDM*.

Також буде оцінене порівняння вартості обладнання між *TDM* та *WDM* буде важливим аспектом вирішення, які технології використовувати.

					<i>KPM.KI.1.884-03.3.4</i>	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Моделювання витрат на обладнання на користь кожного з підходів допоможе знайти оптимальну точку безбитковості вартості.

Дослідження масштабованості та пропускної здатності WDM порівняно з TDM приблизно на 600 Мбіт/с для кожного користувача буде важливим етапом для визначення ефективності та вибору оптимальної технології. Ці результати можуть вплинути на прийняття рішення при розгляді архітектур мереж доступу.

Сьогодні багато постачальників послуг Інтернету (ISP) надають доступ абонентам з пасивними оптичними мережами (PON), особливо в столичних районах. Хоча багато сучасних систем PON використовують технологію часового розподілу каналу (TDM-PON), де різні абоненти отримують доступ до мережі у різний час. З ростом обсягу даних користувача, WDM-PON може стати більш економічно ефективним, оскільки дозволяє передавати більше даних на тому ж оптичному волокні, зменшуючи при цьому витрати на інфраструктуру.

Спершу розглянемо PON з грубим спектральним ущільненням каналів. У випадку CWDM-PON, інтервал довжин хвиль зазвичай складає 20 нм. З врахуванням інтервалу 20 нм та повного діапазону довжин хвиль від 1271 до 1611 нм, доступно 18 каналів CWDM для використання.

Однією з переваг CWDM-PON є те, що для неї не потрібна точна настройка довжин хвиль для кожного каналу. Це робить її менш витратною у порівнянні з DWDM-PON, де вимагається більша точність. У зв'язку з меншою потребою у точності та спрощеними вимогами до налаштування, CWDM-PON може бути значно дешевше у встановленні та обслуговуванні порівняно з DWDM-PON. Зазначене зниження вартості системи (40%) може бути важливим фактором при виборі технології.

Одним із головних обмежень CWDM є обмежена кількість доступних каналів через широкий інтервал довжин хвиль. У випадку CWDM-PON, де потрібно обслуговувати велику кількість абонентів, це може стати фактором нестачі масштабованості.

					КРМ.КІ.1.884-03.3.4	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поділяючи часові інтервали. Це дозволяє ефективно використовувати обмежену пропускну здатність і робити *PON* ефективною для передачі даних в мережах доступу.

Висновок до першого розділу

1. Розглянуто існуючі технології мережі *PON*, які використовуються для передачі даних в оптичних мережах з використанням пасивної оптичної технології.

2. Проаналізовано більш сучасний підхід *WDM-PON*, який забезпечує більшу пропускну здатність та ефективне використання волокна.

3. Розглянуто основні переваги та недоліки технології *WDM-PON*, які свідчать про її перспективність для мереж доступу, але також і про необхідність додаткових досліджень та розробок для зниження вартості обладнання та спрощення налаштування.

					<i>KPM.KI.1.884-03.3.4</i>	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2
АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПАСИВНИХ ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ
TDM-PON* та *WDM-PON

2.1 Характеристики та параметри пристроїв *WDM-PON*

Розробник *WDM-PON* повинен визначитися з відповідними довжинами хвиль та їх інтервалом, що може зробити вибір пристроїв суттєво різним. Є два основних варіанти довжини хвилі – грубий *WDM (CWDM) PON* і щільний *WDM (DWDM) PON*. *OLT* та *ONU* мають оптичні передавачі, приймачі, мультиплексори та демультимплексори.

Відстань між довжинами хвиль більше 20 нм зазвичай називають грубим *WDM (CWDM)*. Оптичні інтерфейси, стандартизовані для *CWDM*, можна знайти в *ITU G.695*, а спектральна сітка для *CWDM* визначена *ITU G.694.2*. Якщо повний діапазон довжин хвиль від 1271 до 1611 нм, як визначено в *ITU G.694.2*, використовується з інтервалом 20 нм, всього є 18 каналів *CWDM*. Для такого широкого спектру передачі можна використовувати волокно з низьким піковим значенням, визначене *ITU G.652 C&D*, що усуває згасання потужності в діапазоні 1370-1410 нм, що спостерігається в звичайному одномодовому волокні. Параметр дисперсії вказує на поширення сигналу, і цей коефіцієнт може обмежити відстань передачі, коли швидкість передачі стає вищою. Оскільки *CWDM-PON* не вимагає точного налаштування довжин хвиль, йому не потрібний елемент регулювання температури, який називається термоелектричним охолоджувачем (TEC), що робить його дешевше, ніж *DWDM-PON*. Крім того, для *CWDM* можна легко реалізувати мультиплексор довжин хвиль із низькими міжканальними перешкодами. Стверджується, що загальна вартість системи на 40% дешевша для *CWDM-PON*.

Одним з основних недоліків *CWDM* є обмежена кількість доступних каналів через широкий інтервал між довжинами хвиль. Це може обмежувати

					<i>KPM.KI.1.884-03.3.4</i>	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оптичному волокні. Це стає можливим завдяки вузьким інтервалам довжин хвиль і використанню ербієвих волоконних підсилювачів (*EDFA*), які можуть підсилити сигнали в діапазоні довжин хвиль, який використовується у *DWDM*.

Очікується, що *DWDM-PON* буде дуже корисним для надання високої пропускної здатності та масштабованості для багатьох абонентів, і він розглядається як остаточно система *PON*. *ITU G.692* визначає лазерну сітку для систем *WDM* «точка-точка» на основі інтервалу довжини хвилі 100 ГГц з центральною довжиною хвилі 193,1 ТГц (1553,52 нм) у частотній області від 196,1 ТГц (1528,77 нм) до 191,7 ТГц (1563,86 нм). Цей інтервал 100 ГГц був застосований до багатьох систем *DWDM*. Сьогодні лазерні діоди та фільтри з інтервалом 50 ГГц є комерційно доступними. Це дозволяє збільшити кількість каналів на одному волокні, що розширює пропускну здатність системи. Крім того, використання довжин хвиль до 1600 нм дозволяє використовувати циклічні властивості *AWG* для демультимплексування та мультимплексування у *DWDM-PON*. Це спрощує систему і може зменшити складність обладнання. У *DWDM-PON* дуже важливий контроль довжини хвилі кожного оптичного джерела та центральної довжини хвилі фільтра *WDM*. Це необхідно для уникнення перехресних перешкод між сусідніми каналами. Таким чином, Вказано, що *DWDM-PON* може бути дорожчим у розгортанні порівняно з *CWDM-PON* через потребу в налаштованих пристроях на довжину хвилі та контролю температури.

2.2 Варіанти передавача

Оптичні джерела поділяються на чотири групи в залежності від способу генерування довжин хвиль:

- джерело, задане довжиною хвилі (використовується в *OLT*);
- багатохвильове джерело;
- джерело без вибору довжини хвилі;
- спільне джерел (використовується як для *OLT*, так і для *ONU*).

1. Джерело, задане довжиною хвилі.

					<i>KPM.KI.1.884-03.3.4</i>	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Це оптичне джерело випромінює світло на фіксованій довжині хвилі для кожного компонента. Для налаштування джерела на певну довжину хвилі, як правило, використовується система моніторингу та контролю для кожного компонента. До цієї категорії входять лазери з розподіленим зворотнім зв'язком (*DFB*) / розподіленим рефлектором Брегга (*DBR*), діоди з лазерним випромінюванням із вертикальною порожниною (*VCSEL*) та регульовані лазерні діоди.

Лазерний діод (*LD*) з розподіленим зворотнім зв'язком (*DFB*) є широко використовуваною схемою для отримання єдиної оптичної поздовжньої моди. У цій схемі розподілені бреггівські решітки витравлюються всередині порожнини *DFB LD*, що дозволяє генерувати решітки, спрямовані лише на певну довжину хвилі. Якщо решітка розташована за межами порожнини, такий лазер називається лазерним діодом з розподіленим рефлектором Брегга (*DBR LD*).

Оскільки може відбуватися зсув довжини хвилі на $0,1 \text{ нм}/^\circ \text{C}$, для забезпечення стабільної роботи *DFB LD* часто використовується термоелектричний охолоджувач (*TEO*). Додатково, для точного фіксування довжини хвилі *LD* вимагає фіксатор довжини хвилі.

DFB LD може бути прямо модульований, що робить його популярним для впровадження в системи *WDM-PON*, де відстань часто не перевищує 20 км. Він також відзначається високою швидкісною модуляцією завдяки вузькій ширині лінії, яка зазвичай становить кілька МГц.

Незважаючи на всі переваги, *DFB LD* вважається витратним впровадженням в *WDM-PON*, оскільки потребує окремого керування для кожного *DFB LD*, і це може бути витратним заходом.

Поверхнево-випромінювальні лазери з вертикальною порожниною (*VCSEL*): діоди *VCSEL* мають потенціал для дешевого масового виробництва, оскільки всю порожнину можна виростити за допомогою одноетапної епітаксії на підкладці *GaAs*, що полегшує виготовлення та тестування. *VCSEL* з довжиною хвилі 850 нм і 1310 нм є комерційно доступними і широко використовуються для локальних мереж. Але *VCSEL* на довжині хвилі 1550 нм знаходиться на ранній

					<i>KPM.KI.1.884-03.3.4</i>	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стадії розвитку через погані оптичні та теплові властивості лазерного матеріалу. Хоча сьогодні він не може використовуватися як джерело *WDM-PON*, його можна прийняти як вихідне джерело у композитному *PON (CPON)*. Якщо це джерело в діапазоні 1550 нм *DWDM* стане стабільним і дешевим, це стане сильним кандидатом для потенційної інтеграції з іншою електронікою.

Навіть якщо на сьогоднішній день *VCSEL* на 1550 нм не може бути використаний як джерело для *WDM-PON* через його обмежені характеристики, його можна розглядати як потенційне вихідне джерело у системі композитного *PON (CPON)*. У разі стабільності та зниження вартості *VCSEL* у діапазоні 1550 нм він може стати ефективним кандидатом для інтеграції з іншою електронікою, особливо у контексті систем *DWDM*.

Лазери, що налаштовуються, представляють собою важливий компонент систем *WDM-PON*, де потрібно мати в асортименті лазери з різною довжиною хвилі для кожного каналу. Однак встановлення різних лазерів в кожному домі є дорогим та неефективним методом обслуговування. У цьому контексті вибір налаштовуваних лазерів може бути обґрунтованим, особливо якщо їх можна використовувати для кількох каналів *WDM*.

Лазери, що налаштовуються, представляють собою важливий компонент систем *WDM-PON*, де потрібно мати в асортименті лазери з різною довжиною хвилі для кожного каналу. Однак встановлення різних лазерів в кожному домі є дорогим та неефективним методом обслуговування. У цьому контексті вибір налаштовуваних лазерів може бути обґрунтованим, особливо якщо їх можна використовувати для кількох каналів *WDM*.

Терморегульований *DFB (DFB з терморегулюванням)* використовує властивість зсуву довжини хвилі *DFB LD* за допомогою температурного впливу. З оптимізованою тепловою конструкцією та регулюванням температури в широкому діапазоні, терморегульований *DFB* може досягати зміни довжини хвилі до 4 нм. Час налаштування цього *LD* може бути великим, до декількох секунд, що робить його менш придатним для архітектур, де необхідна швидка

					<i>KPM.KI.1.884-03.3.4</i>	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

комутація. Однак такий *LD* може бути корисним для передавачів *WDM PON* з фіксованою довжиною хвилі.

На основі цієї архітектури з'явилися комерційні продукти, які можуть бути налаштовані для восьми сусідніх каналів *ITU DWDM*. Це усуває необхідність у зберіганні різних довжин хвиль для кожного передавача *WDM-PON*. Час налаштування *DFB/DBR LD* ефективно зменшується за рахунок регулювання струму накачування в одну або кілька секцій порожнини *LD*. Інжектвані носії змінюють ефективний показник заломлення всередині оптичної порожнини, що призводить до зміни довжини хвилі. Час налаштування має порядок наносекунд, що є найшвидшим серед відомих методів. З максимальною зміною індексу приблизно 1%, максимальний діапазон налаштування в області довжин хвиль, що цікавить нас, становить приблизно 10–15 нм. Недоліком цього лазера є його вразливість до перемикання режимів та конкуренції між режимами через наявність множинних електродів на лазерній порожнині, які необхідні для введення струму, що може погіршити продуктивність передачі.

2. Джерело з кількома хвилями (рис. 2.1 [7]).

Одиночні джерела, зорієнтовані на фіксовану довжину хвилі, виявляються непрактичними для застосування в *OLT WDM-PON*, оскільки вони потребують багатьох оптичних джерел, спеціально налаштованих на власні довжини хвиль. У випадку, коли компонент генерує кілька довжин хвиль одночасно, це стає дуже корисним для *OLT*. Декілька каналів *WDM*, інтегрованих в компактний пристрій, можна налаштовувати одночасно. Нижче розглянуті три типи таких багаточисельних джерел.

Багаточастотний лазер (*MFL*): У цьому пристрої інтегровані решітки *AWG* та підсилювачі для вибору та посилення довжини хвилі відповідно, як показано на рисунку. Дзеркала на скошених гранях визначають оптичну порожнину лазерно-діодних модулів. Якщо *AWG* налаштований, він змінює цільові довжини вихідних хвиль. Ця схема була використана для створення пристрою, який інтегрує 18 каналів *WDM*. Такий пристрій також може

					<i>KPM.KI.1.884-03.3.4</i>	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Джерело з нарізаним спектром досягає унікальної довжини хвилі для кожного каналу *WDM* шляхом використання ширококутового оптичного джерела та вузькосмугового оптичного фільтра. Тестувалися різні комбінації ширококутових оптичних джерел, таких як світлодіоди із суперлюмінесцентним ефектом (*LED*), ербієвий волоконний підсилювач (*EDFA*) та лазерний діод із розподіленим зворотнім зв'язком (*FP LD*), в поєднанні з оптичними фільтрами типу *AWG* та *FP*.

Оскільки використовується лише вузькочастотна частина вихідного спектра, це джерело зазвичай не вимагає використання оптичного підсилювача. Проте цей метод має свої обмеження, зокрема щодо швидкості модуляції, через наявність різноманітних джерел шуму, таких як шум розділу режимів, шум інтенсивності та шум оптичного биття. Ці явища є невід'ємними властивостями багатомодових або ширококутових джерел.

Лазер із блокуванням ін'єкцій, такий як *FP LD*, демонструє властивість збудження лише одного режиму, коли отримує добре налаштований зовнішній оптичний сигнал. Для ефективного блокування необхідний точний контроль параметрів, таких як індекс модуляції, струм лазерного зсуву та потужність зовнішнього оптичного збудження. Лазерні діоди *FP*, зафіксовані на зовнішньо впорскуваних ширококутових джерелах світла з нарізаним спектром (*BLS*), були піддані випробуванням у реальних умовах для подальшого комерційного використання.

4. Спільне джерело (або джерело петлі) для *ONU*.

Дослідники дослідили можливість усунення оптичних джерел в оптичних мережних блоках (*ONU*) через пов'язані з цим ризики та витрати, пов'язані з дозволом кожному *ONU* контролювати свою довжину хвилі передачі. Проблема полягає в тому, що якщо один *ONU* відхиляється від призначеної довжини хвилі, це не тільки погіршує його власний канал, але й впливає на сусідні канали. Пропоноване рішення полягає в централізації всіх оптичних джерел на терміналі оптичної лінії (*OLT*), при цьому *ONU* просто модулює надане немодульоване оптичне джерело.

					<i>KPM.KI.1.884-03.3.4</i>	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У деяких випадках канал однієї довжини хвилі можна використовувати двонаправлено, що призводить до рішення зі спільним джерелом. У цьому сценарії лише часткова часова область модулюється для низхідної передачі, залишаючи решту часової області немодульованою для висхідної передачі. Для цього використовуються два типи модуляторів: зовнішній модулятор і напівпровідниковий оптичний підсилювач (*SOA*).

Наприклад, коли вихідний оптичний сигнал розділяється на *ONU*, його частина спрямовується на зовнішній модулятор. Це дозволяє здійснювати високошвидкісну модуляцію сигналу для передачі вгору. Інша пропозиція передбачає використання регульованого лазера на *OLT*, який може по черзі досягати кожного *ONU* шляхом зміни довжини хвилі лазерного діода (*LD*). Цей підхід присвячує половину часу поточковій передачі даних, тоді як інша половина використовується для передачі даних за допомогою зовнішнього модулятора.

Коли *ONU* працює таким чином, деякі міркування стають вирішальними, включаючи запас потужності та поляризації. У звичайному оптичному волокні необхідно враховувати поляризацію, що представляє напрямок електричного поля, яке випадково змінюється, оскільки загальне джерело зазнає втрат сигналу в обидві сторони. Крім того, вихід зовнішнього модулятора зазвичай змінюється в залежності від поляризації вхідного сигналу.

Водночас вартість модулятора в кожному *ONU* може стати проблемою для практичного впровадження. Щоб вирішити ці проблеми, як загальне джерело було запропоновано напівпровідниковий оптичний підсилювач відбиваючого типу (*SOA*). Цей *SOA* здатний компенсувати втрату сигналу в обох напрямках. Джерело неполяризованого посиленого спонтанного випромінювання (*ASE*) зі спектральною частотою, наданою *ONU*, посилюється та модулюється *SOA*, а потім відбивається назад до терміналу оптичної лінії (*OLT*). Однак важливо зазначити, що вартість *SOA* залишається невирішеною проблемою, яка потребує уваги, перш ніж можна буде досягти комерціалізації.

					<i>KPM.KI.1.884-03.3.4</i>	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновок до другого розділу

1. Розглянуто варіанти довжини хвилі *WDM-PON*, які мають важливий вплив на вибір обладнання для мережі. *CWDM* вимагає менш складного обладнання, ніж *DWDM*. *DWDM* забезпечує більшу пропускну здатність, ніж *CWDM*.

2. Виявлено, що основним недоліком *CWDM* є обмеженість кількості каналів; отже, *CWDM-PON* не має масштабованості, особливо при використанні звичайного одномодового волокна. Іншим недоліком є те, що канали з більш короткою довжиною хвилі зазнають великих втрат, тим самим обмежуючи відстань передачі або коефіцієнт поділу.

3. Проаналізований щільний *WDM (DWDM)*, який має значно менші інтервали між довжинами хвиль, ніж *CWDM*. Зазвичай, вони становлять близько 0,8 нм або навіть менше. Це дозволяє *DWDM* переносити більше даних в одному оптичному волокні, ніж *CWDM*. Однак, *DWDM* також є більш складною технологією, оскільки вона вимагає використання підсилювача з ербієвим волокном (*EDFA*). Очікується, що *DWDM-PON* буде корисним для забезпечення достатньої пропускну спроможності для багатьох абонентів і вважається ідеальною системою *PON*.

					<i>KPM.KI.1.884-03.3.4</i>	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

ПОБУДОВА КОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ WDM-PON

3.1 Область застосування WDM-PON, актуальність технології, доступні сервіси

Пасивна оптична мережа (PON) – це технологія, яка використовує оптичні волокна для доставки широкосмугового інтернету в будинки та підприємства. PON уже була розгорнута в багатьох країнах по всьому світу, щоб задовольнити величезний попит на пропускну здатність широкосмугових послуг.

Існує схема переходу з TDM-PON на WDM-PON (рис. 3.1 [13]), яка дозволяє операторам зв'язку підвищити пропускну здатність своїх мереж без необхідності заміни волоконної інфраструктури. У цій схемі ONU оснащуються оптичними фільтрами, які дозволяють їм приймати сигнали на різних довжинах хвиль.

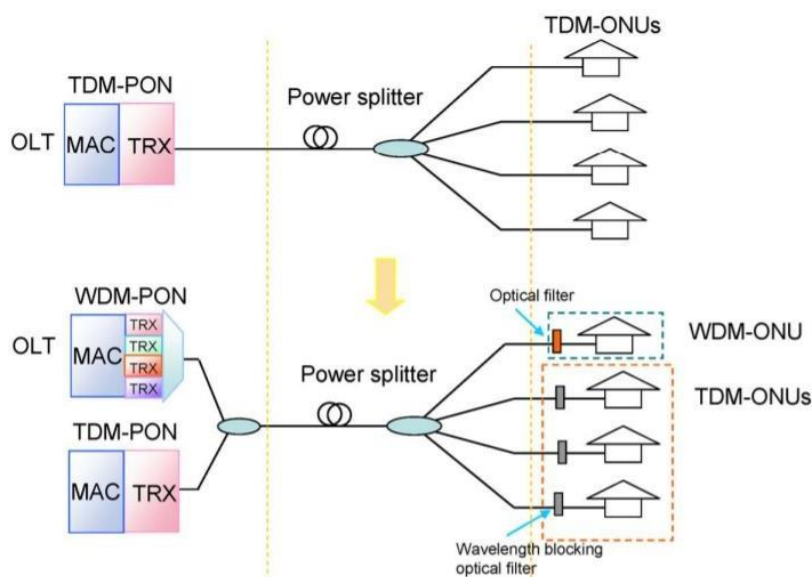


Рис. 3.1 – Концепція переходу з TDM-PON на WDM-PON

					KPM.KI.1.884-03.3.4	Арк. 32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На діаграмі показано, як можна перейти від існуючої мережі *TDM-PON* до мережі *WDM-PON* без зміни оптоволоконної інфраструктури.

В існуючій мережі *TDM-PON OLT* використовує один канал на одній довжині хвилі для передачі даних до *ONU*. *ONU* приймає сигнал і демультіплексує його в кілька потоків даних, які потім передаються користувачеві.

У схемі переходу *TDM-PON* до *WDM-PON OLT* використовує *MUX/DEMUX* для поділу сигналу на кілька каналів на різних довжинах хвиль. Кожен канал використовується для передачі даних одному користувачеві. *ONU* оснащені оптичними фільтрами, які дозволяють їм приймати сигнали на певній довжині хвилі. Це дозволяє *ONU* отримувати сигнали від *OLT* і передавати їх користувачеві.

Щоб перейти від *TDM-PON* до *WDM-PON*, оператор зв'язку повинен оснастити лише *OLT MUX/DEMUX* і *ONU* оптичними фільтрами. Оптоволоконна інфраструктура може залишитися без змін.

Цей шлях міграції дозволяє телекомунікаційним операторам збільшити пропускну здатність своїх мереж без заміни дорогого активного обладнання.

Ця модель переходу дозволить операторам зв'язку пропонувати своїм клієнтам широкий спектр варіантів пропускну здатності. Клієнти, яким не потрібні високі швидкості передачі даних, можуть використовувати *TDM-PON* за нижчою ціною. Клієнти, яким потрібна висока швидкість передачі даних, можуть використовувати *WDM-PON* за вищою ціною.

Цей підхід може принести користь операторам зв'язку, оскільки він дозволяє їм задовольняти потреби різних користувачів і отримувати більший дохід.

3.2 Архітектури *WDM-PON*

Традиційні *PON* обмежені пропускну здатністю та масштабованістю. Для вирішення цих проблем було запропоновано кілька архітектур *WDM-PON*.

					<i>KPM.KI.1.884-03.3.4</i>	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Одним із простих підходів є виділення окремого каналу довжини хвилі для кожного користувача. Це забезпечує високу пропускну здатність, але це дорого, оскільки вимагає вузькосмугових передавачів для кожної довжини хвилі. Крім того, цей підхід є неефективним, оскільки ресурси залишаються невикористаними, коли користувачі неактивні. У цьому розділі ми розглядаємо деякі типові архітектури *WDM-PON*, запропоновані в літературі:

Типові архітектури *WDM-PON*:

- композитний *PON* (*CPON*) (рис. 3.2 [14]);
- архітектура *LARNET* (рис. 3.3 [15]);
- архітектура *RITENET* (рис. 3.4 [16]);
- багатоступенева архітектура *WDM-PON* на основі *AWG* (рис. 3.5 [17]);
- архітектура *DWDM Super-PON* (рис. 3.6 [18]);
- архітектура *SUCCESS-DWAPON* (рис. 3.7 [19]).

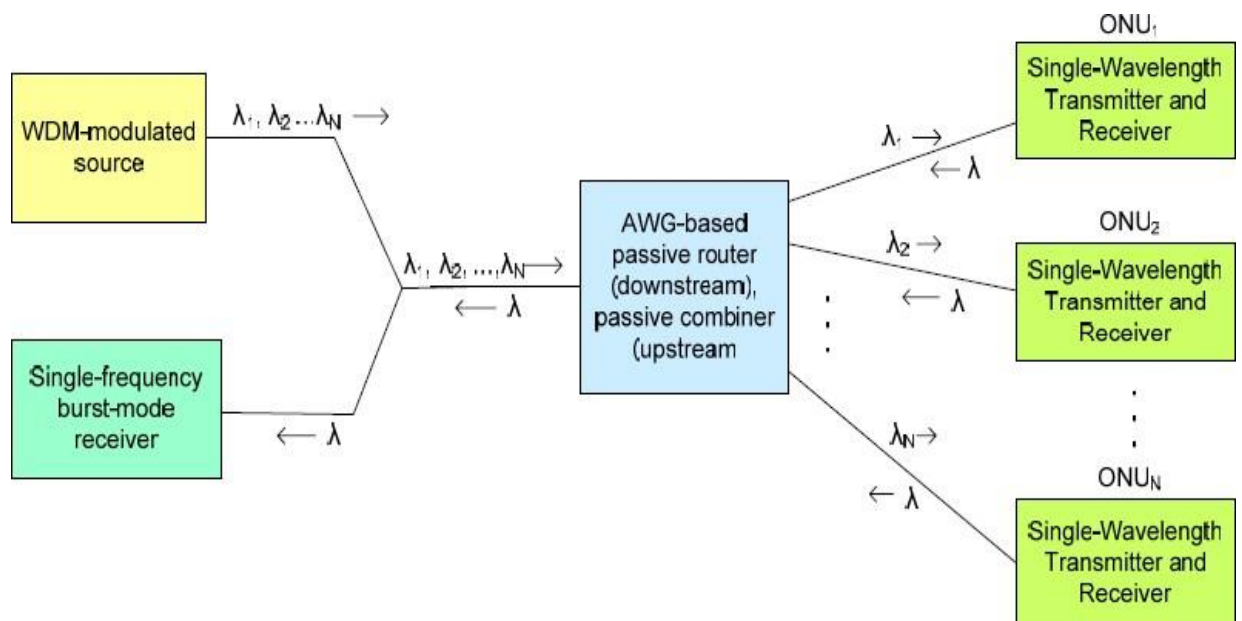


Рис. 3.2 – Архітектура *CPON*

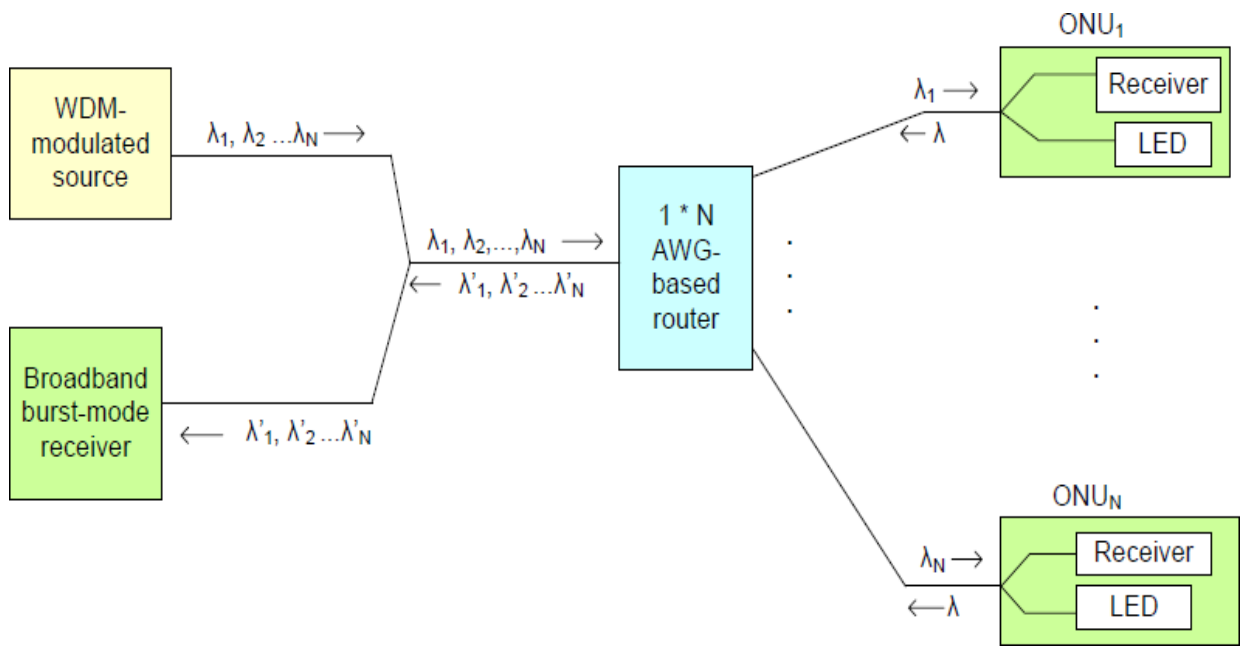


Рис. 3.3 – Архітектура *LARNET*

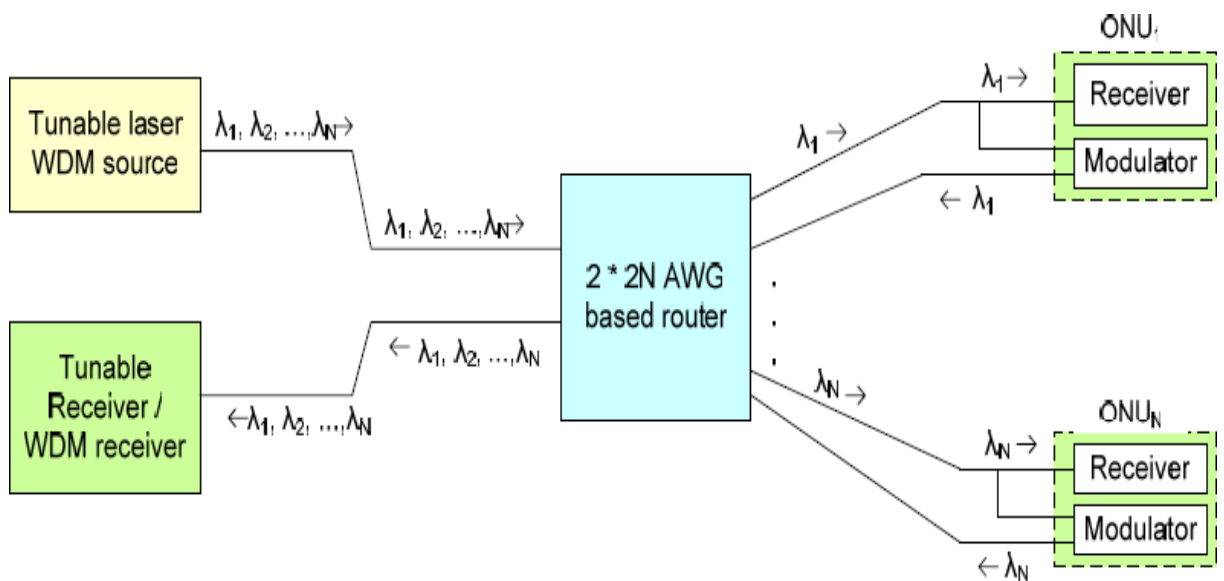


Рис. 3.4 – Архітектура *RITENET*

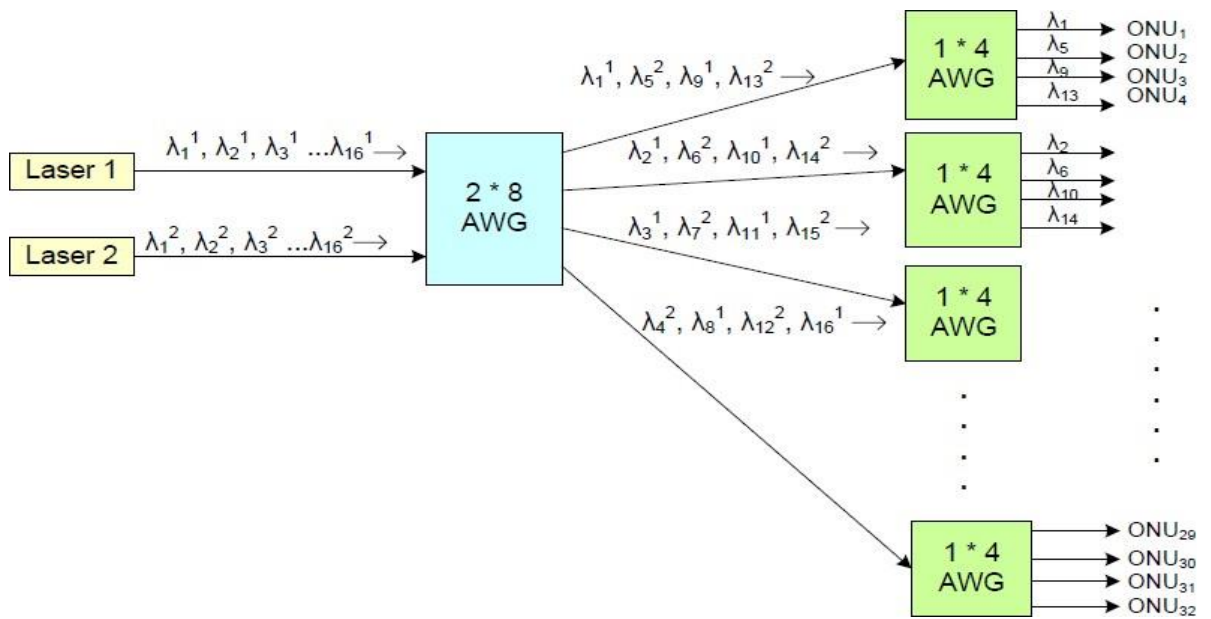


Рис. 3.5 – Багатоступенева архітектура WDM-PON на основі AWG

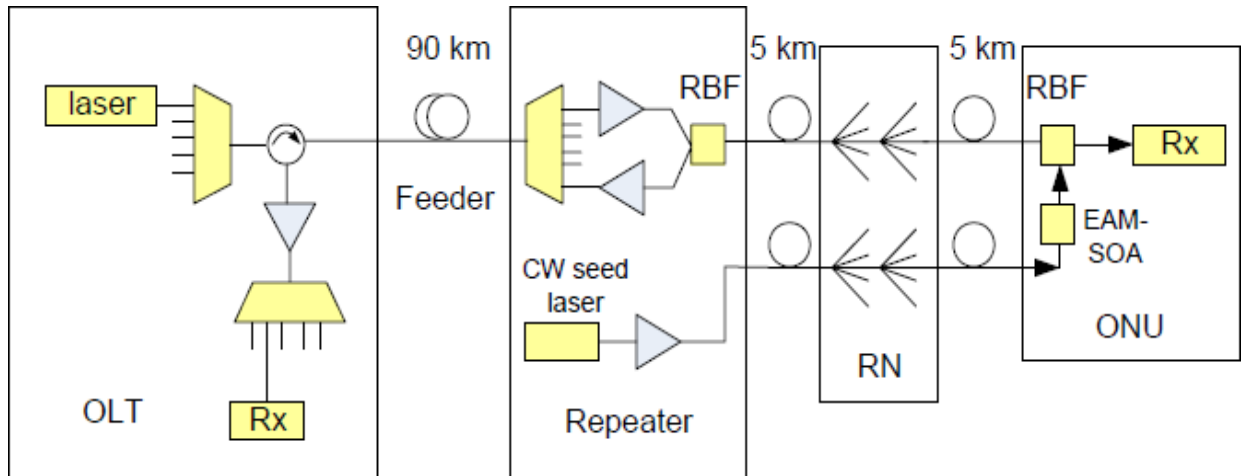


Рис. 3.6 – Архітектура DWDM Super-PON

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

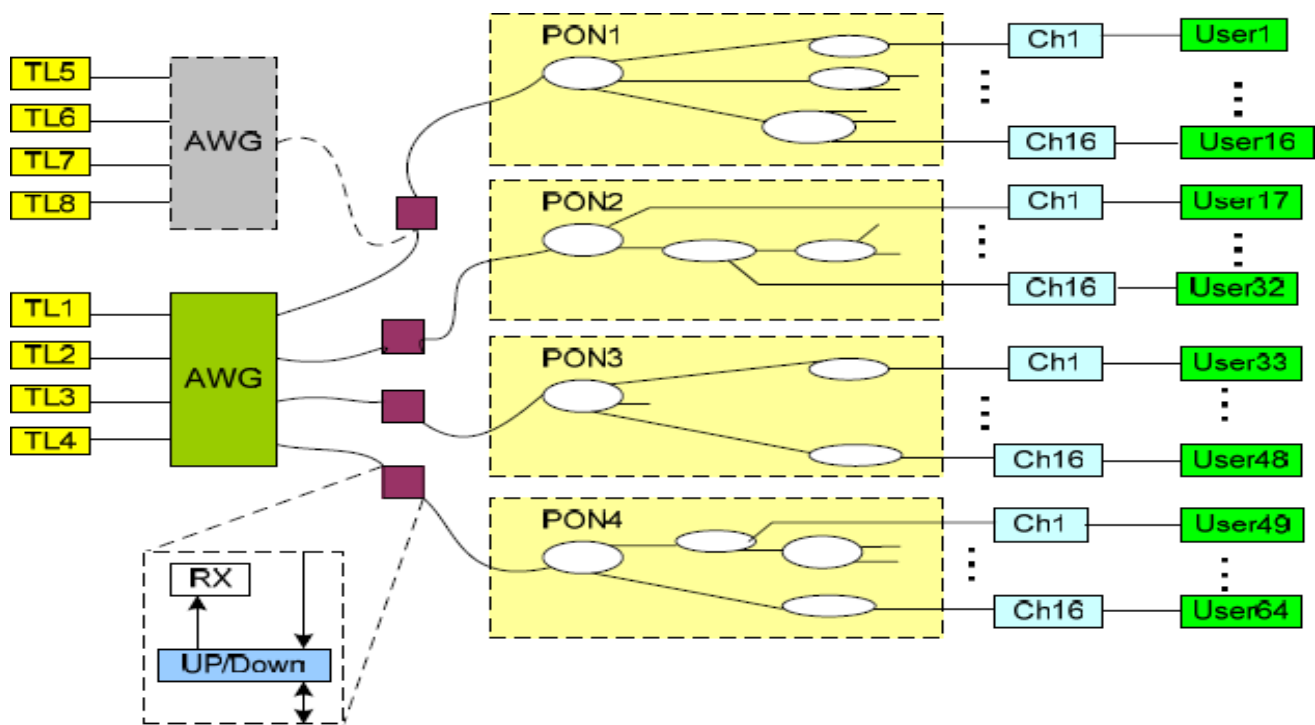


Рис. 3.7 – Архітектура *SUCCESS-DWAPON*

Важливі особливості вищевказаних архітектур порівняємо в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Порівняння різних архітектур *WDM-PON*

	<i>CPON</i>	<i>LARNET</i>	<i>RITENET</i>	<i>Multi-Stage</i>	<i>Super-PON</i>	<i>Success-DWA</i>
Основна мета архітектури	Основна система на основі <i>AWG</i>	Зменшити вартість <i>ONU</i>	Зменшити вартість <i>ONU</i>	Масштабований глобальний сервіс <i>PON</i>	Служба міжміського сполучення	Масштабований приріст пропускної спроможності <i>PON</i>

Продовження таблиці 3.1

		<i>CPON</i>	<i>LARNET</i>	<i>RITENET</i>	<i>Multi-Stage</i>	<i>Super-PON</i>	<i>Success-DWA</i>
Спільне використання волокна		Висхідний /низхідний спільно або окремо	Висхідний /низхідний спільно	Висхідний /низхідний окремо	Залежить від варіанту висхідного потоку	Висхідний /низхідний спільно	Висхідний /низхідний спільно
Спільне використання довжини хвилі	низхідний	1λ/ONU	1λ/ONU	Висхідний /низхідний спільно (TDMA, спільне розміщення)	Залежить від варіанту висхідного потоку	Спільно (TDMA)	-Спільний між ONU
	висхідний	Спільно (TDMA)	Спільно (TDMA, CSMA/CD)			Спільно (TDMA)	Спільно (TDMA, спільне розміщення)
Масштабованість		низький	низький	низький	добрий	добрий	відмінний
Вартість терміналу користувача (ONU)		низька (DFB LD)	нормальна (LED)	нормальна	Залежить від варіанту висхідного потоку	низька	низька
Вартість розгортання		нормальна	нормальна	низька	дуже низька	нормальна	низька
Відстань (OLT-ONU)		середня	низька	дуже низька	середня	відмінна (~100 км)	середня

Послуги з WDM-PON.

В таблиці 3.2 показано, як з часом розвивалися ширококутні мультисервісні мережі. Спочатку ці мережі були розроблені для надання лише одного виду послуг, наприклад Інтернету. Потім вони були розширені для надання додаткових послуг, таких як VoIP і VPN. Останнім часом, завдяки розвитку технологій WDM-PON, ці мережі стали здатними до конвергенції голосу, даних і відео.

					<i>KPM.KI.1.884-03.3.4</i>	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відгуку, надійність і безпеку, а також якість обслуговування. Іншою важливою вимогою є *SLA* для налаштованого *QoS* і безпеки.

До недавнього часу ці вимоги в основному ставилися до магістральних мережах. Проте з появою справжньої конвергенції вони стають все більш актуальними для мереж доступу. *WDM-PON* є, мабуть, найбільш конкурентоспроможною технологією доступу, яка відповідає цим вимогам.

Таблиця 3.2

Порівняння технологій бездротового доступу до Інтернету

Технологія	Рік впровадження	Пропускна здатність	Гнучкість	Застосування
<i>DSL</i>	1990-ті роки	1,5 Мбіт/с	Обмежена	Інтернет
<i>Wi-Fi</i>	1990-ті роки	10-54 Мбіт/с	Обмежена	Інтернет
<i>WiMAX</i>	2000-ні роки	10-420 Мбіт/с	Обмежена	Інтернет
<i>4G/LTE</i>	2010-ні роки	100-1000 Мбіт/с	Обмежена	Інтернет
<i>5G</i>	2020-ні роки	1-10000 Мбіт/с	Повна	Інтернет, потокове відео, хмарна обробка, Інтернет речей (<i>IoT</i>)

У таблиці 3.3 наведено приклад вимог до широкосмугового доступу для типового клієнта *WDM-PON*. Такий клієнт може мати в середньому три пристрої для відтворення відео та чотирьох членів сім'ї. Мережа може бути сильно завантажена в певний час доби, наприклад, між 20 і 22 годинами.

Для середньостатистичної квартири потрібна мінімальна пропускна здатність низхідної мережі доступу 70 Мбіт/с. Потужність верхнього потоку повинна становити приблизно 30% вихідного. Крім того, для мультимедійних послуг повинні бути гарантовані такі функції *QoS*, як низька затримка, відсутність тремтіння та відсутність втрат. Також потрібна доступність мережі від 99,95 до 99,999%.

										Арк.
										40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

3.3. Порівняння вартості технологій *TDM-PON* та *WDM-PON*

Для розрахунку вартості мережі були використані моделі великих, відносно однорідних зон обслуговування. Ці моделі були оптимізовані для різних параметрів мережі, таких як кількість користувачів, пропускна спроможність на користувача та шаблони трафіку доступу.

У *TDM-PON* усі користувачі використовують одну довжину хвилі для передачі даних. Неактивні користувачі можуть передавати дані на частоті, яка в цей час вільна. Цей ефект множення пропускної здатності слід враховувати при порівнянні *TDM-PON* з іншими технологіями. Хоча для обох технологій використовується одне і те ж оптичне волокно, інші апаратні компоненти відрізняються. Для *TDM-PON* і *WDM-PON* були розроблені окремі моделі витрат, які ґрунтуються на основних фізичних властивостях оптичних пристроїв. Використовуючи ці моделі, ми проаналізували апаратні витрати на коротко- та середньострокову перспективу, враховуючи очікуване збільшення попиту на пропускну здатність.

Оператори мережі хочуть заощаджувати гроші, використовуючи статистичне мультиплексування. Це означає, що вони можуть використовувати пропускну здатність неактивних користувачів для обслуговування активних користувачів. Розвиток оптичних мереж і зміна звичок використання Інтернету роблять це особливо актуальним. Тому потрібний новий метод мультиплексування трафіку:

1. Нерівномірність трафіку: невелика кількість користувачів генерує основну частину трафіку. Це підтверджує відому поведінку користувачів Інтернету, подібну до розподілу Парето.

2. Невикористання пропускної здатності: користувачі рідко використовують максимальну пропускну здатність, яку пропонує їх оператор. Це пов'язано з використанням пристроїв 802.11 та обмеженнями TSP.

3. Низька середня пропускна здатність: за великі часові шкали середня пропускна здатність одного користувача дуже низька. У цій моделі

					<i>KPM.KI.1.884-03.3.4</i>	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$COST_{WDM}^{ONT} = k_{WDM}^{ONT} * users * \sqrt{totalbw} * e^{\frac{totalbw}{k_{OLT}}} \quad (3.5)$$

Вартість *WDM ONU* подібна до вартості *TDM ONU*. Однак у мережах *WDM* передавачі та приймачі не повинні підтримувати пропускну здатність, яка перевищує пропускну здатність користувача:

$$COST_{TDM}^{SPLITTER} = k_{TDM}^{SPLITTER} * n \quad (3.6)$$

Після отримання моделей витрат на мережеві пристрої *PON* їх необхідно порівняти з моделями вартості наявних пристроїв. Для цього в моделі витрат додають вагові коефіцієнти, які коригують їх відповідно до фактичних даних про вартість. Ці коефіцієнти встановлюються шляхом мінімізації суми квадратів помилок між моделями витрат та фактичними даними про вартість. Замінивши ці коефіцієнти в моделях, отримують перевірені моделі вартості існуючих мережевих пристроїв *PON*.

1. Функції витрат *TDM-PON*.

Ціна за користувача залежить від двох факторів: кількості користувачів і максимальної пропускну здатності на користувача. Чим більше користувачів і пропускну здатності, тим вища ціна за користувача. Це можна побачити на контурній діаграмі, де мінімальні значення ціни за користувача знаходяться на кривій, що з'єднує різні комбінації кількості користувачів і пропускну здатності. Оптимальна кількість користувачів становить близько 10, але зменшується з більшими значеннями пропускну здатності на користувача.

Очікується, що ціна за користувача продовжить зростати в найближчі роки. Це пояснюється тим, що попит на дані зростатиме, а витрати на зберігання та обробку даних залишатимуться високими.

2. Функції витрат *WDM-PON*.

Побудова мережі *WDM-PON* лише для кількох користувачів є неефективною з економічної точки зору. У реальних умовах оператори повинні віддавати перевагу побудові мереж «точка-точка» для кількох користувачів. Це

					<i>KPM.KI.1.884-03.3.4</i>	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

простіше і дешевше, оскільки дозволяє заощадити на деяких пристроях. Також було складено криву мінімальної вартості/користувача *WDM-PON*, яка підтверджує ці висновки.

Порівняння *TDM-PON* та *WDM-PON*.

На основі представлених моделей витрат можна порівняти вартість мереж *TDM* і *WDM*. *TDM-PON* є більш економічно доцільним варіантом для невеликої кількості користувачів з низькою пропускнуою здатністю. Для більшої кількості користувачів або з більш високою пропускнуою здатністю більш економічно доцільним варіантом є *WDM-PON*.

Найважливіший загальний висновок: *TDM-PON* має нижчу початкову вартість, але більш високу кінцеву вартість. Це видно на кривій, яка показує, що *TDM-PON* є більш економічно доцільним варіантом для невеликої кількості користувачів, а *WDM-PON* – для більшої кількості користувачів.

На рисунку 3.1 [24] показано криві витрат для *TDM-PON* та *WDM-PON*. Крива витрат для *TDM-PON* має більш крутий нахил, що означає, що початкова вартість *TDM-PON* вища, ніж *WDM-PON*. Крива витрат для *WDM-PON* має більш пологий нахил, що означає, що кінцева вартість *WDM-PON* нижча, ніж у *TDM-PON*.

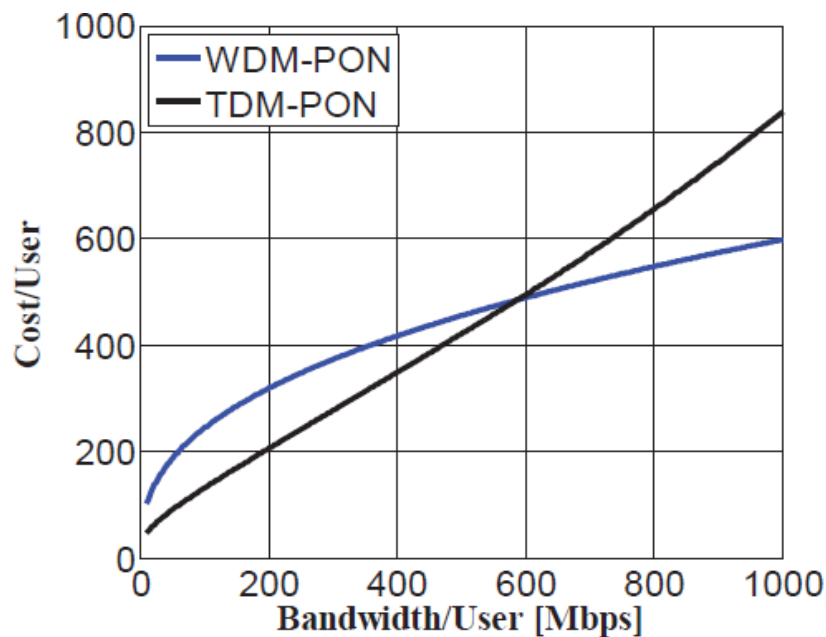


Рис. 3.8 – Порівняння *TDM-PON* та *WDM-PON*

Вартість *WGR* зростає зі збільшенням його розміру. Це пов'язано з тим, що більші пристрої мають нижчу продуктивність виготовлення і їх складніше термічно стабілізувати. Однак зростання вартості не є лінійним: вартість порту трохи зменшується з розміром. У цьому дослідженні було розглянуто вартість наявних на даний момент комерційно доступних пристроїв.

Варто очікувати зниження вартості виробництва *WGR* в майбутньому, оскільки обсяги виробництва цих пристроїв будуть зростати. Це пов'язано з тим, що збільшення обсягів виробництва призведе до зниження собівартості одиниці продукції.

Друга функція вартості враховує вартість кабелів і їх монтажу. Вважається, що всі волокна, які живлять рівень *WGR*, знаходяться в одному кабелі. Вартість кабелю для простоти вважається незалежною від кількості волокон, які він може містити. Вартість монтажу, зазначена в таблиці, включає вартість кабелю та витрати на копання траншеї. Також не враховується той факт, що частково використані кабелі можуть містити волокна інших паралельних *WDM-PON*. Це означає, що наша оцінка вартості завищує фактичні витрати, якщо проєкт глобальної мережі з більшою кількістю *PON* повинен бути виконаний.

Щоб оцінити загальну вартість багатоступінчастого *WDM-PON*, необхідно знати вартість з'єднання за кілометр і довжину всіх кабельних зв'язків у мережі. Цю інформацію важко отримати, оскільки досі не існує комерційних установок багатоступінчастих *WDM-PON*.

Для оцінки довжини міжетапних зв'язків у мережах з більше ніж двома рівнями було використано фізичні архітектури мережі доступу нинішніх установок *POTS* на основі міді. Припускається, що *WGR* багатоступінчастого *WDM-PON* можуть бути встановлені в місцях, де зараз розміщені точки поділу кабелів.

					<i>KPM.KI.1.884-03.3.4</i>	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.4 Проектування мережі на основі технології WDM-PON

Згідно з заданим переліком послуг, потрібно використовувати тільки пакетний режим переносу інформації та міткове мультиплексування. Визначення інтенсивності навантаження, яка створюється у результаті надання користувачам ІКП_{ММх}. Виконують для кожної групи користувачів з врахуванням вихідних даних в залежності від категорії абонентів.

Всі розрахунки виконуються у годину найбільшого навантаження – ГНН: визначення параметрів ІКП_{ММх}.

Для кожної заданої ІКП_{ММх} та кожної групи користувачів проектованої мережі доступу, користуючись даними таблиці 3.4 визначаються наступні параметри:

- середнє питоме число заявок у ГНН – $c - c_i$;
- середня тривалість сеансу у ГНН, $c - \tau_i$.

Таблиця 3.4

Параметри навантаження ІКП (за даними КСТ 1.6.001-2016)

Послуги	Клас послуг k	Висхідна / спадна швидкість передачі, (кбіт / с)	Середня тривалість сеансу в ГНН, (с)		Середнє питоме сумарне число заявок в ГНН (вик/с)	
			діловий сектор	кварт. сектор	діловий сектор	кварт. сектор
Відео спостереження	В	64/64				
Дистанційне навчання	В	9,6...33,6/ 9,6...33,6	0,008	0,008	3	0,1
Інтернет радіо онлайн 64 Кбіт/с	А	64 / 64	0,014	0,018	0,014	0,011
Інтернет радіо онлайн 256Кбіт/с	А	256/ 256	0,027	0,038	5,5	4,3
Серфінг по <i>Internet</i>	В	14,4...128 /64...10000	0,15	0,15	1,3	0,86

Продовження таблиці 3.5

№ послуги	Назва послуги	Категорія користувачів							
		Квартирні, (Кбіт)				Адміністративні, (Кбіт)			
		$V_{i\text{низ}}$	$V_{i\text{вис}}$	$V_{\text{ЛД}i\text{низ}}$	$V_{\text{ЛД}i\text{вис}}$	$V_{i\text{низ}}$	$V_{i\text{вис}}$	$V_{\text{ЛД}i\text{низ}}$	$V_{\text{ЛД}i\text{вис}}$
6	IP-телефонія	1,8	1,8	2,67	2,67	1,8	1,8	6,22	6,22
7	Доступ до IP TV	768	6000	230,4	1800	-	-	-	-
8	Потокова передача відео	55,5	55,5	11,1	11,1	55,5	55,5	22,2	22,2
9	Відео конференція	3333	3333	30	30	416,6	416,6	41,6	41,6
10	Переносна електроніка	64	64	51,2	51,2	-	-	-	-
11	Купівля парфумів	12,8	12,8	1,28	1,28	-	-	-	-
12	Онлайн-ігри	12,8	12,8	15,36	15,36	-	-	-	-
13	Телебачення стандартної якості	17,7	213,3	8,8	106,6	17,7	213,3	3,55	42,6
14	Доступ до відео хостингу <i>YouTube</i>	213,3	213,3	426,6	42,6	213,3	213,3	21,3	21,3
15	Доступ до соціальних мереж	213,3	213,3	42,6	42,6	-	-	-	-
16	Передача сигналів телебачення високої якості	64	6000	12,8	1200	-	-	-	-
17	Відео конференція на базі кодека <i>HD</i>	1500	1500	450	450	625	625	62,5	62,5

3. Виконую розрахунок сумарної інтенсивності питомого навантаження локального сегменту лінії доступу, з урахуванням усіх ІКП_{ММх}, окремо для

					<i>KPM.KI.1.884-03.3.4</i>	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

низхідного та висхідного потоку даних. Розрахунок проводиться окремо для кожного сектору мережі.

Таблиця 3.6

Розрахунок сумарної інтенсивності питомого навантаження для сектору А:

№ Послу ги	Послуги групи А	$V_{\text{ЛДіниз}}$, (Кбіт/с)	$V_{\text{ЛДівис}}$, (Кбіт/с)
1	Інтернет радіо онлайн 64 Кбіт/с	0,1	0,1
2	Доступ до відео хостингу <i>YouTube</i>	42,7	42,7
3	<i>IP</i> -телефонія	2,7	2,7
4	Відео конференція на базі кодека <i>HD</i>	450	450
5	Онлайн-ігри	15,4	15,4
6	Електрона пошта	2,2	2,2
7	Серфінг по <i>Internet</i>	16,5	129
8	Телебачення стандартної якості	8,9	106,7
Сума		547	749
		Сумарна інтенсивність навантаження: (1296 Кбіт/с)	

Таблиця 3.7

Розрахунок сумарної інтенсивності питомого навантаження для сектору Х:

№ Послу ги	Послуги групи Х	$V_{\text{ЛДіниз}}$, (Кбіт/с)	$V_{\text{ЛДівис}}$, (Кбіт/с)
1	<i>IP</i> -телефонія	2,7	2,7
2	Відео конференція на базі кодека <i>HD</i>	450	450
3	Електрона пошта	2,1	2,1

№ Послу ги	Послуги групи X	$V_{ЛДіниз}$, (Кбіт/с)	$V_{ЛДівис}$, (Кбіт/с)
4	Серфінг по <i>Internet</i>	16,5	129
Сума		471,3	583,8
		Сумарна інтенсивність навантаження: (1054 Кбіт/с)	

Інтенсивність навантаження та пропускної спроможності залежить:

1. Від топології (структури) мережі доступу на транспортному сегменті.
2. Від переліку ІКП.
3. Від параметрів ІКП.

Кожний користувач по ЛД_{ЛС} отримує m послуг. Для отримання цих послуг ВД з'єднується необхідною кількістю ВНО.

1. Розрахунок сумарного інтенсивного навантаження на виході ВД у напрямку конкретних ВНО, розраховується за наступною формулою:

$$V_{ВД-ВНО\text{ нисх.}} = N_{ТП\text{ сект.}} * V_{ЛД\text{ інісх.}} \quad (3.9)$$

де: $N_{ТП\text{ сект.}}$ – кількість точок підключення у секторі;

$V_{ЛД\text{ і нисх.}}$ – сумарна інтенсивність питомого навантаження сегменту лінії доступу для низхідного потоку даних.

Виконаю розрахунок сумарного інтенсивного навантаження на виході ВД у напрямку конкретних ВНО:

$$V_{ВД1-ВНО1\text{ нисх.}} = 1297 \times 59,3 = 77 \text{ (Мбіт/с)}$$

$$V_{ВД1-ВНО1\text{ висх.}} = 1297 \times 171,8 = 223 \text{ (Мбіт/с)}$$

										Арк.
										55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРМ.КІ.1.884-03.3.4					

Сумарна інтенсивність навантаження на виході ВД у напрямку конкретних ВНО

ВНО \ ВД	ВНО1, (Кбіт/с)		ВНО2, (Кбіт/с)		ВНО3, (Кбіт/с)		ВНО4, (Кбіт/с)		ВНО5, (Кбіт/с)	
	нисх.	висх.	нисх.	висх.	нисх.	висх.	нисх.	висх.	нисх.	висх.
ВД1	77	223	356	2392	68	195	657	2197	90	90
ВД2	374	1083	1728	11621	332	949	3193	10676	435	435
ВД3	46	133	-	-	41	117	-	-	54	54
ВД4	42	155	46	46	-	-	42	42	21	21
ВД5	62	226	44	44	-	-	62	62	31	31

Знаходжу дисперсію мультисервісного навантаження однієї лінії доступу транспортного сегменту за наступною формулою:

$$D_{\text{нисх. ВД-ВНО}} = (V_{\text{ВД-ВНО нисх.}})^2 \times (K_{\text{пач.}} - 1) \quad (3.10)$$

де: $V_{\text{ВД-ВНО нисх.}}$ - сумарна інтенсивність навантаження на виході ВД у напрямку конкретних ВНО;

$K_{\text{пач.}}$ - коефіцієнт панічності, який розраховується за наступною формулою:

$$K_{\text{пач.}} = R_{\text{max}} / R_{\text{ср i}} \quad (3.11)$$

де: R_{max} - максимальна швидкість передачі;

$R_{\text{ср i}}$ - середня швидкість передачі, яка розраховується за наступною формулою:

$$R_{\text{ср i}} = (R_{\text{низ.}} + R_{\text{виз.}}) / 2 \quad (3.12)$$

Розраховую дисперсію мультисервісного навантаження транспортного сегменту для ВД1-ВНОі. Середньоквадратичне відхилення дисперсії для низхідного та висхідного потоків розраховується за наступними формулами:

$$\delta_{\text{нисх.}} = \sqrt{D_{\text{нисх.}}} \quad (3.13)$$

$$\delta_{\text{висх.}} = \sqrt{D_{\text{висх.}}} \quad (3.14)$$

Таблиця 3.10

Розрахунок дисперсії мультисервісного навантаження транспортного сегменту для ВД1-ВНОі:

Параметри навантаження	$V_{\text{ВД1-ВНОі}}_{\text{нисх.}}$ (Кбіт/с)	$V_{\text{ВД1-ВНОі}}_{\text{восх.}}$ (Кбіт/с)	$D_{\text{нисх. ВД1-ВНОі}}$ (Кбіт/с)	$D_{\text{восх. ВД1-ВНОі}}$ (Кбіт/с)	$\delta_{\text{нисх}}$ (Кбіт/с)	$\delta_{\text{висх}}$ (Кбіт/с)
ВНО1	77	223	4565	38291	67,6	195,7
ВНО2	356	2392	106458	4806197	326,3	2192,3
ВНО3	68	195	4393	36124	66,3	190,7
ВНО4	657	2197	362585	4054519	602,2	2013,7
ВНО5	90	90	7695	7695	87,7	87,7

2. Пропускна спроможність тракту між ВД та ВНО.

При даному розрахунку необхідно враховувати:

- 1) Мережа доступу надає послуги у відповідності *QoS*.
- 2) Пакети послуг класу А повинні обслуговуватися у першу чергу та з мінімальними втратами при перенавантаженні, тому доля загальної пропускної спроможності призначена для обслуговування класу А.

3) Нерівномірність мультисервісного трафіку може бути врахована шляхом збільшення реального значення інтенсивності навантаження на величину, яка характеризує степінь нерівномірності.

2.2 Розрахунок пікового значення мультисервісного навантаження для послуг класу А з урахування пріоритетності їх обслуговування.

					КРМ.КІ.1.884-03.3.4	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2.2 Дисперсія мультисервісного навантаження ВД1 для класу А розраховується за наступною формулою:

$$D_{\text{нисх.}}^A = (V_{\text{ВДі-ВНОі}}^A - \text{ВНОі}_{\text{нисх.}})^2 \times (K_{\text{пач.}} - 1) \quad (3.16)$$

Таблиця 3.13

Розрахунок дисперсії мультисервісного навантаження ВД1 для класу А:

ВНО _і	Послуги	V _{ВДі-ВНОі} ^A , (Кбіт/с)		K _{пач.}	D ^A , (Кбіт/с)	
		нисх.	висх.		нисх.	висх.
ВНО1	Інтернет радіо онлайн 64 Кбіт/с	129,7	129,7	1,77	12953	12953
ВНО2	IP-телефонія	587152	587152	1,84	289587875727	2895875727
	Відео конференція					
ВНО3	Телебачення стандартної якості	11543	138390	1,95	126578806	18194202495

Таблиця 3.14

Розрахунок дисперсії мультисервісного навантаження ВД2 для класу В:

ВНО _і	Послуги	V _{ВДі-ВНОі} ^A , (Кбіт/с)		K _{пач.}	D ^A , (Кбіт/с)	
		нисх.	висх.		нисх.	висх.
ВНО1	Інтернет радіо онлайн 64 Кбіт/с	630,2	630,2	1,77	305807	305807
ВНО2	IP-телефонія	1538948	11430567	1,84	1989423200	109752777000
	Доступ до IP TV					
	Потокова передача відео					

ВНО _i	Послуги	V _{ВДi-ВНОi} ^A , (Кбіт/с)		K _{пач.}	D ^A , (Кбіт/с)	
		нисх.	висх.		нисх.	висх.
ВНО3	Телебачення стандартної якості	56088	672423	1,95	2988570556	429545056382
ВНО4	Відео конференція на базі кодека HD	2835900	2835900	1,84	675555562000	675555562000

2.2.3 Визначення пікового значення мультисервісного навантаження:

$$V_{ВДi-ВНОi}^{A \text{ пік нисх.}} = V_{ВДi-ВНОi}^{A \text{ нисх.}} + 2\delta_{\text{нисх.}}^A \quad (3.17)$$

Таблиця 3.15

Розрахунок пікового значення мультисервісного навантаження для ВД1
для групи А:

ВНО _i	V _{ВД1-ВНОi} ^A , (Кбіт/с)		$\sqrt{D^A}$, (Кбіт/с)		V _{ВД1-ВНОi} ^A пік, (Кбіт/с)	
	нисх.	висх.	нисх.	висх.	нисх.	висх.
ВНО1	129,7	129,7	113,8	113,8	357,3	357,3
ВНО2	587152	587152	538133	538133	1663418	1663418
ВНО3	11543	138390	11250	134885	34034	408160

Таблиця 3.16

Розрахунок пікового значення мультисервісного навантаження для ВД2
для групи В:

ВНО _i	V _{ВД2-ВНОi} ^A , (Кбіт/с)		$\sqrt{D^A}$, (Кбіт/с)		V _{ВД2-ВНОi} ^A пік, (Кбіт/с)	
	нисх.	висх.	нисх.	висх.	нисх.	висх.
ВНО1	630,2	630,2	552	552	1734,2	1734,2
ВНО2	1538948	11430567	44602	331289	1628152	12093145

ВНО _i	$V_{ВД2-ВНОi}^A$, (Кбіт/с)		$\sqrt{D^A}$, (Кбіт/с)		$V_{ВД2-ВНОi}^A$ пік, (Кбіт/с)	
	нисх.	висх.	нисх.	висх.	нисх.	висх.
ВНО3	56088	672423	54667	655396	165422	1983215
ВНО4	2835900	2835900	821921	821921	4479472	4479472

3. Сумарна пропускна здатність тракту між ВД та ВНО розраховується за наступною формулою:

$$W_{\text{тракту ВД1-ВНОi}} = V_{ВДi-ВНОi}^{\text{нисх.}} + V_{ВДi-ВНОi}^{\text{висх.}} + \delta_{\text{висх.}} + \delta_{\text{нисх.}} + V_{ВДi-ВНОi}^{\text{пікнисх.}} + V_{ВДi-ВНОi}^{\text{піквисх.}} \quad (3.18)$$

Таблиця 3.17

Розрахунок сумарної пропускної здатності тракту між ВД1 та ВНО_i
для сектору А:

ВНО _i	$V_{ВД1-ВНОi}$, (Кбіт/с)		δ , (Кбіт/с)		$V_{ВД1-ВНОi}^A$ пік, (Кбіт/с)		$W_{\text{тракту ВД1-ВНОi}}$ (Кбіт/с)
	нисх.	висх.	нисх.	висх.	нисх.	висх.	
ВНО1	77	223	67,6	195,7	357,3	357,3	1277,9
ВНО2	356	2392	326,3	2192,3	1663418	1663418	3332102
ВНО3	68	195	66,3	190,7	34034	408160	442714
ВНО4	657	2197	602,2	2013,7	0	0	5469,9
ВНО5	90	90	87,7	87,7	0	0	355,4

Розрахунок сумарної пропускної здатності тракту між ВД2 та ВНОі
для сектору В:

ВНОі	$V_{ВД2-ВНОі}$, (Кбіт/с)		δ , (Кбіт/с)		$V_{ВД2-ВНОі}^A$ пік, (Кбіт/с)		$W_{\text{тракту ВД2-ВНОі}}$, (Кбіт/с)
	нисх.	висх.	нисх.	висх.	нисх.	висх.	
ВНО1	374	1083	328,9	950,3	1734,2	1734,2	6204,6
ВНО2	1728	11621	1583,7	10650	1628152	12093145	13746834
ВНО3	332	949	323,6	924	165422	1983215	2151165
ВНО4	3193	10676	2926,4	9784	4479472	4479472	8985523
ВНО5	435	435	424	424	0	0	1718

Розраховані значення пропускної спроможності групових трактів транспортного сегменту необхідно враховувати при виборі обладнання та розробці функціональної схеми.

3.4.2 Оцінка пропускної спроможності вузлів доступу

Пропускна спроможність вузла доступу залежить від кількості точок підключення, та пропускної спроможності лінії доступу локального сегменту у секторі і визначаються за формулою:

$$\omega_{вд} = \omega_{лдлс} \times N_{тпвдр}, \quad (3.19)$$

де: $\omega_{лдлс}$ – пропускна спроможність лінії доступу локального сегменту;

$N_{тпвдр}$ – розрахункове значення кількості точок підключення до конкретного вузла доступу;

$$N_{тпвдр} = (N_1 + N_2) \times \chi \quad (3.20)$$

									Арк.
									63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРМ.КІ.1.884-03.3.4				

N_1 – кількість точок підключення термінального обладнання користувачів всіх категорій, включених в цей ВД;

N_2 – кількість пунктів колективного доступу організованих у даному секторі;

γ - коефіцієнт який враховує експлуатаційний запас на сегменті локального доступу (15%).

$$N_2 = (0,03 - 0,05) \times N_1$$

Проводжу розрахунки пропускної спроможності вузла доступу для сектору А:

$$N_2 = (0,03) \times 1297 = 39$$

$$N_{\text{ТПВДР}} = (1297 + 39) \times 0,15 = 200$$

$$\omega_{\text{ВД}} = 129 \times 200 = 25800 \text{ (Мбіт/с)}$$

Проводжу розрахунки пропускної спроможності вузла доступу для сектору В:

$$N_2 = (0,03) \times 6302 = 190$$

$$N_{\text{ТПВДР}} = (6302 + 190) \times 0,15 = 974$$

$$\omega_{\text{ВД}} = 334 \times 974 = (0,33 \text{ Гбіт/с})$$

Проводжу розрахунки пропускної спроможності вузла доступу для сектору С:

$$N_2 = (0,03) \times 776 = 24$$

$$N_{\text{ТПВДР}} = (776 + 24) \times 0,15 = 120$$

$$\omega_{\text{ВД}} = 113 \times 120 = 13560 \text{ (Мбіт/с)}$$

Проводжу розрахунки пропускної спроможності вузла доступу для сектору Х:

$$N_2 = (0,03) \times 660 = 20$$

$$N_{\text{ТПВДР}} = (660 + 20) \times 0,15 = 102$$

					<i>KPM.KI.1.884-03.3.4</i>	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\omega_{вд}=105 \times 102 = 10710 \text{ (Мбіт/с)}$$

Проводжу розрахунки пропускної спроможності вузла доступу для сектору У:

$$N_2 = (0,03) \times 965 = 29$$

$$N_{тпвдр} = (965 + 29) \times 0,15 = 149$$

$$\omega_{вд} = 114 \times 149 = 16986 \text{ (Мбіт/с)}$$

3.5 Формування структурної схеми мережі доступу

Структурна схема проєктованої мережі доступу формується згідно з структурними параметрами, які було розраховано, тобто для побудови мережі доступу необхідно врахувати наступні характеристики мережі :

- кількість секторів мережі;
- кількість ВВП;
- кількість вузлів доступу мережі дорівнює кількості секторів так як для побудови проєктованої мережі обрано структура підключення користувачів до вузлів надання послуг однорівнева, яка передбачає наявність одного вузлу в одному секторі;
- кількість точок підключення кожного сектору у тому числі з урахування резерву;

Для побудови структурної схеми необхідно виконати наступне:

1. Визначимо взаємозв'язок між вузлами доступу та вузлами надання послуг, для цього проведемо розподіл послуг по ВВП. Згідно завдання проєктована мережа буде надавати 20 послуг, при цьому кожний ВВП надає свій перелік послуг. Перелік послуг які надає кожний ВВП наведемо у таблиці 3.19

					<i>КРМ.КІ.1.884-03.3.4</i>	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перелік послуг які надає кожний ВНП

Назва ВНП	Перелік послуг
ВНП 1	Дистанційне навчання В Інтернет радіо онлайн 64 Кбіт/с А Інтернет радіо онлайн 256 Кбіт/с А Серфінг по <i>Internet</i> В
ВНП 2	<i>IP</i> -телефонія А Доступ до <i>IP TV</i> А Потокова передача відео А Відео конференція А
ВНП 3	Купівля парфумів В Телебачення стандартної якості А Доступ до відео хостингу <i>YouTube</i> В Послуга візуального контролю віддалених об'єктів В
ВНП 4	Передача сигналів телебачення високої якості А Відео конференція на базі кодека <i>HD</i> А Доступ до соціальних мереж В Купівля в інтернет магазині В
ВНП 5	Послуга переносної електроніки В Послуга візуального контролю віддалених об'єктів В Онлайн-ігри В Електронна пошта В

Проаналізувавши таблицю 3.19 можна зробити висновок що конкретний вузол доступу має зв'язок з ВНП тільки тоді коли користувачі потребують у надані послуг даного ВНП.

										Арк.
										66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРМ.КІ.1.884-03.3.4					

2. Необхідно обрати топологію транспортного сегмента тобто взаємозв'язок між кожним ВД і ВВП. Розглянемо переваги та недоліки базових топологій, що використовуються у мережах доступу.

1. Топологія «Загальна шина». У цьому випадку підключення й обмін даними виконується через загальний канал зв'язку, названий загальною шиною:

Загальна шина є дуже розповсюдженою топологією для мереж. Передана інформація може поширюватися в обидва боки. Застосування загальної шини знижує вартість проводки й уніфікує підключення різних модулів. Основними перевагами такої схеми є дешевизна й простота розведення кабелю по приміщеннях. Самий серйозний недолік загальної шини полягає в її низькій надійності: будь-який дефект кабелю або якого-небудь із численних рознімачів повністю паралізує всю мережу. Іншим недоліком загальної шини є її невисока продуктивність, тому що при такому способі підключення в кожний момент часу тільки один комп'ютер може передавати дані в мережу. Тому пропускна здатність каналу зв'язку завжди ділиться між всіма вузлами мережі.

2. Топологія «Радіальна». У цьому випадку кожний вузол підключається окремим кабелем до загального пристрою, названому концентратором, що перебуває в центрі мережі:

У функції концентратора входить напрямок переданої комп'ютером інформації одному або всім іншим комп'ютерам мережі. Головна перевага цієї топології перед загальною шиною – більша надійність. Будь-які неприємності з кабелем стосуються лише того комп'ютера, до якого цей кабель приєднаний, і тільки несправність концентратора може вивести з ладу всю мережу. Крім того, концентратор може відігравати роль інтелектуального фільтра інформації, що надходять від вузлів у мережу, і при необхідності блокувати заборонені адміністратором передачі.

До недоліків топології типу радіальна ставиться більше висока вартість мережного устаткування через необхідність придбання концентратора. Крім того, можливості по нарощуванню кількості вузлів у мережі обмежується кількістю портів концентратора. У цей час радіальна топологія є

					<i>KPM.KI.1.884-03.3.4</i>	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

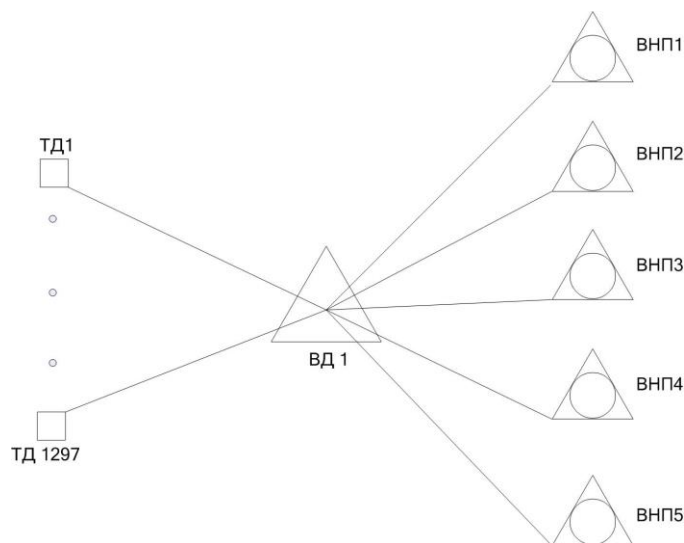
найпоширенішим типом топології зв'язків як у локальних, так і глобальних мережах.

3. Змішана топологія. У той час як невеликі мережі, як правило, мають типову топологію – зірка, кільце, або загальна шина, для великих мереж характерна наявність довільних зв'язків між вузлами. У таких мережах можна виділити окремі довільно під мережі, що мають типову топологію, тому їх називають мережами зі змішаною топологією.

Мережева топологія «дерево» з чисто топологічної точки зору схожа на зіркову, в якій окремі периферійні мережеві пристрої можуть передавати до або приймати від тільки одного іншого мережевого пристрою в напрямку до центрального мережевого пристрою. Як і в класичній зірковій топології, окремі мережеві пристрої можуть бути ізольовані від мережі внаслідок ліквідації одного зв'язку (гілки), наприклад, внаслідок аварії на лінії. У мережі з топологією дерева існує один виділений мережевий пристрій, який є коренем дерева.

Проаналізувавши існуючі топології мереж я обрала, для побудови свого транспортного сегменту топологію зірку, так як вона буде найоптимальнішим варіантом для реалізації моєї мережі.

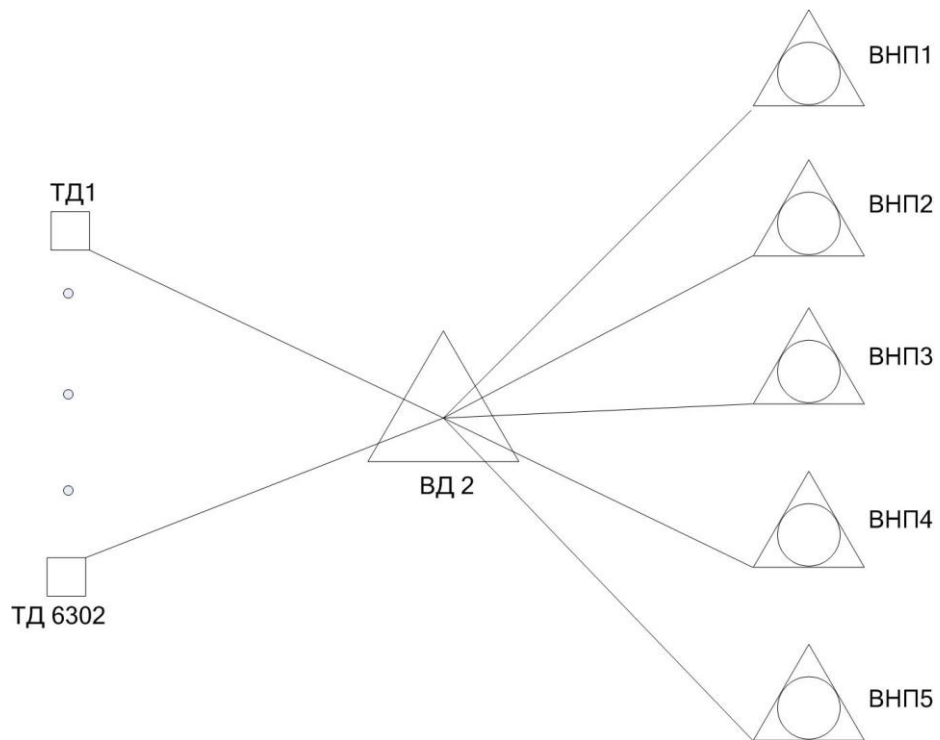
3. За результатами пунктів 1 та 2 наведемо окремо схеми з'єднання кожного ВД з конкретними ВНП.



$$N_1=1297; N_2=39; l_{ЛСЛС A}=460 \text{ м}; \omega_{ВД A}=(25800 \text{ Мбіт/с})$$

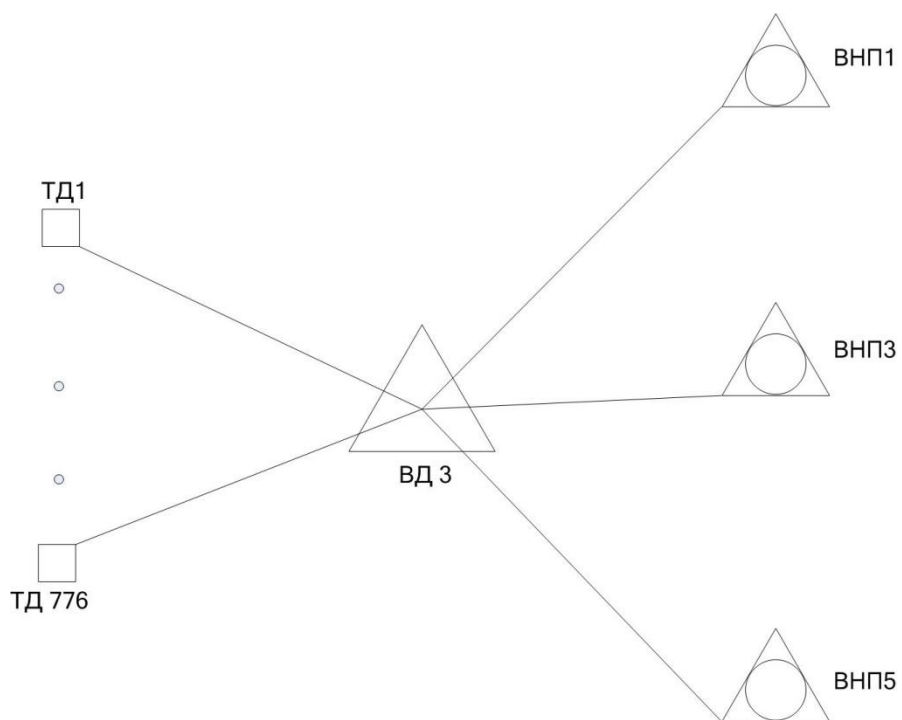
Рис. 3.9 – Схема підключення ВД до ВНП для сектору А

					<i>KPM.KI.1.884-03.3.4</i>	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$N_1=6302; N_2=190; l_{\text{ЛСЛС А}}=900\text{м}; \omega_{\text{ВД А}}=(0,33\text{Гбіт/с})$

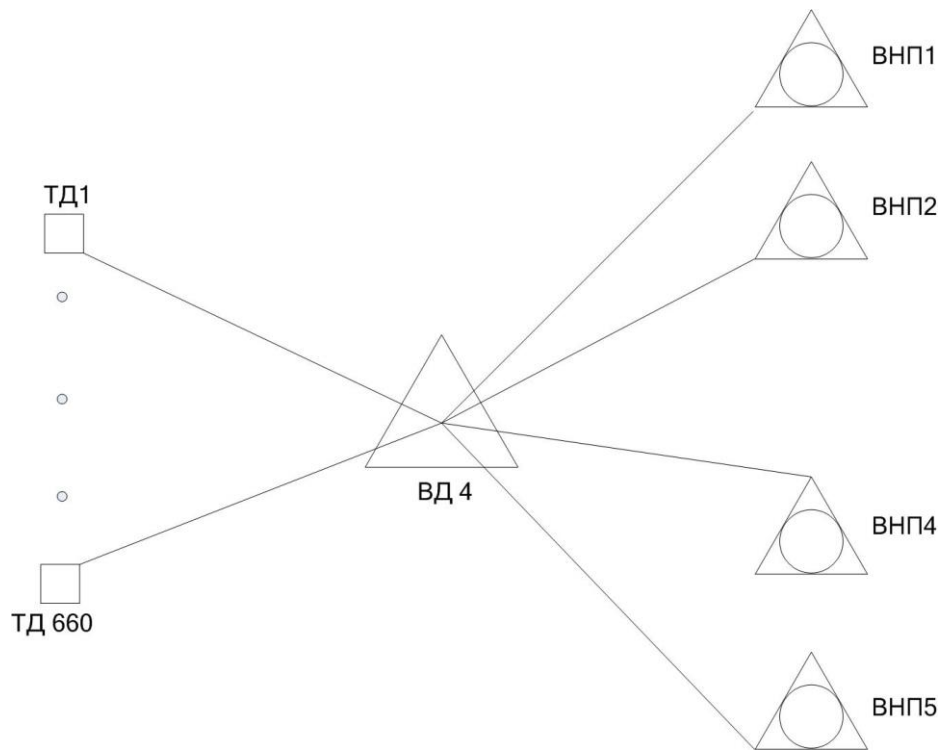
Рис. 3.10 – Схема підключення ВД до ВНП для сектору В



$N_1=776; N_2=24; l_{\text{ЛСЛС А}}=470\text{м}; \omega_{\text{ВД А}}=(13560\text{ Мбіт/с})$

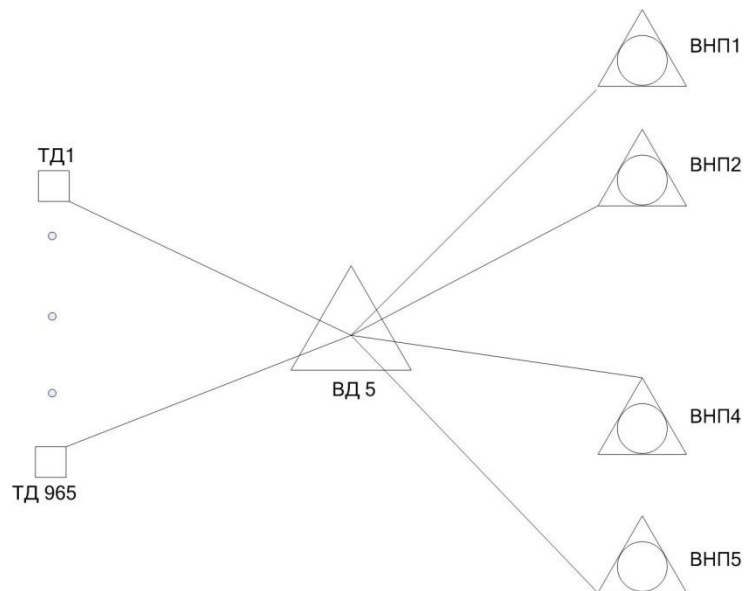
Рис. 3.11 – Схема підключення ВД до ВНП для сектору С

					<i>КРМ.КІ.1.884-03.3.4</i>	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$N_1=660; N_2=20; l_{\text{ЛСЛС А}}=377\text{м}; \omega_{\text{ВД А}}=(10710 \text{ Мбіт/с})$$

Рис.3.12 – Схема підключення ВД до ВНП для сектору X



$$N_1=965; N_2=29; l_{\text{ЛСЛС А}}=355\text{м}; \omega_{\text{ВД А}}=(16986 \text{ Мбіт/с})$$

Рис. 3.13 – Схема підключення ВД до ВНП для сектору У

					<i>КРМ.КІ.1.884-03.3.4</i>	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– елементи, які вносять додаткове загасання.

До першої категорії відносяться оптичні трансивери і підсилювачі сигналу. Важливими параметрами трансиверів (приймачів) є вихідна потужність передавача і чутливість приймача – це паспортні величини. Чутливість приймача – величина, що характеризує мінімальний рівень сигналу на його вході, який приймач ще може приймати. Вихідна потужність – величина, що характеризує рівень вихідного сигналу передавача.

Рівень сигналу, що передається передавачем по оптичній лінії, згасає з відстанню, тому, коли він досягає приймача, його рівень стає менше (на величину сумарного загасання в лінії). Якщо цей рівень не менше чутливості приймача, то приймач зможе прийняти такий сигнал, інакше система працювати не буде. Різниця цих показників дає оптичний запас, який забезпечується трансивером: оптичний запас (енергетичний потенціал) – різниця між оптичною потужністю передавача і чутливістю приймача, виражена в *dB*.

Оптичний запас трансивера характеризує максимально-можливе загасання в лінії, в якій він може використовуватися (загасання в лінії має не перевищувати величину запасу).

До другої категорії відносяться елементи, які вносять в лінію додаткові втрати. При цьому загасання в оптичному кабелі залежить не тільки від його довжини, але також і від несучої. Залежність загасання від довжини хвилі в оптичному кабелі виражається наступними чином: чим більша довжина хвилі, тим менше загасання в лінію вносить оптичний кабель. При розрахунках оптичної системи необхідно враховувати наступні джерела загасання.

1. Загасання в оптичному кабелі:

- в мультимодовому кабелі (850нм) – 2.7 *dB*/км;
- в мультимодовому кабелі (1310нм) – 0.75 *dB*/км;
- в одномодовому кабелі (1310–1450нм) – 0.35 *dB*/км;
- в одномодовому кабелі (1470–1610нм) – 0.25 *dB*/км.

2. Точки з'єднання:

- коннектори, *ММ* – 0.5*dB*;

					<i>КРМ.КІ.1.884-03.3.4</i>	<i>Арк.</i>
						72
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

- коннектори, $SM - 0.3dB$;
 - на зварюванні – $0.1dB$.
3. Загасання, які вносить сплітер.

Таблиця 3.20

Загасання, які вносить *PLC* сплітер

Дільник	Загасання, <i>dB</i>
1x2	4.3
1x3	6.2
1x4	7.4
1x6	9.5
1x8	10.7
1x12	12.5
1x16	13.9
1x24	16.0
1x32	17.2
1x64	21.5

Таблиця 3.21

Загасання, які вносить *FBT* сплітер

Дільник	Загасання на довжині хвилі 1310 нм, <i>dB</i>	Загасання на довжині хвилі 1550 нм, <i>dB</i>
50/50	3.17/3.19	3.12/3.17
45/55	3.73/2.71	3.73/2.72
40/60	4.01/2.34	3.92/2.32
35/65	4.56/1.93	4.69/1.96
30/70	9.39/1.56	9.53/1.57
25/75	6.29/1.42	6.28/1.28

Дільник	Загасання на довжині хвилі 1310 нм, <i>dB</i>	Загасання на довжині хвилі 1550 нм, <i>dB</i>
20/80	7.11/1.06	7.21/1.06
15/85	8.16/0.76	8.17/0.82
10/90	10.08/0.49	10.21/0.60
5/95	13.70/0,32	12.83/0.35

Для розрахунку оптичного сумарного загасання використовується наступна формула:

$$A_{\Sigma} = \alpha \times L_{\Sigma} + A_W \times N_W + A_C \times N_C + A_S \quad (3.21)$$

де: A_{Σ} – сумарне загасання сигналу;

α – загасання сигналу на 1 км оптоволокна на довжині хвилі 1310нм;

L_{Σ} – сумарна довжина опловолокна від *OLT* до *ONU*;

A_W – загасання сигналу на зварному з'єднанні;

N_W – кількість зварних з'єднань на шляху проходження сигналу від *OLT* до *ONT*;

A_C – загасання сигналу на механічному поєднанні;

N_C – кількість механічних з'єднань на шляху проходження сигналу від *OLT* до *ONT*;

A_S – сумарне загасання сигналу на каскаді сплітерів.

Для усіх підрахунків загасання сигналу на зварному з'єднанні складає 0.1 *dB*, загасання сигналу на механічному поєднанні – 0.5 *dB* та сумарне загасання сигналу на каскаді сплітерів. Для правильного функціонування проектованої мережі загасання, що вноситься обраної структурою, не повинно перевищувати 27*dB*.

Проведу розрахунок оптичного сумарного загасання для підключення користувача який матиме найбільше значення загасання для групи «А»

					КРМ.КІ.1.884-03.3.4	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(використовую 9 *PLC* 1x2, 26 *PLC* 1x64, 8 *FBT*):

$$A_{\Sigma}=0,35 \times 1,2 + 0,1 \times 3 + 0,3 \times 3 + 21,5 = 23,12 \text{ (дБ)}$$

Різниця між втратами та оптичним бюджетом системи складає:

$$30 - 23,12 = 6,88 \text{ дБ;}$$

Стандартний запас оптичного бюджету «на всякий випадок»: 3 дБ;

Остаточний оптичний бюджет:

$$6,88 - 3 = 5,88 \text{ дБ;}$$

Розрахувавши відстань до найвіддаленіших точок підключення (4.5 км), та порівнявши її з розрахунковою, з впевненістю можна зробити висновок що мережа буде працювати, та користувачі отримають доступ до своїх послуг.

Проведу розрахунок оптичного сумарного загасання для підключення користувача який матиме найбільше значення загасання для групи «В» (використовую 1 *PLC* 1x6, 114 *PLC* 1x64):

$$A_{\Sigma}=0,35 \times 1,1 + 0,1 \times 6 + 21,5 = 22,5 \text{ (дБ)}$$

Різниця між втратами та оптичним бюджетом системи складає:

$$30 - 22,5 = 7,5 \text{ дБ;}$$

Стандартний запас оптичного бюджету «на всякий випадок»: 3 дБ;

Остаточний оптичний бюджет:

$$7,5 - 3 = 4,5 \text{ дБ;}$$

Розрахувавши відстань до найвіддаленіших точок підключення (1,2 км), та порівнявши її з розрахунковою, з впевненістю можна зробити висновок що мережа буде працювати, та користувачі отримають доступ до своїх послуг.

Проведу розрахунок оптичного сумарного загасання для підключення користувача який матиме найбільше значення загасання для групи «С» (використовую 16 *PLC* 1x64, 1 *PLC* 1x8):

$$A_{\Sigma}=0,35 \times 0,65 + 0,1 \times 3 + 0,3 \times 3 + 21,5 = 23 \text{ (дБ)}$$

Різниця між втратами та оптичним бюджетом системи складає:

$$30 - 23 = 7 \text{ дБ;}$$

Стандартний запас оптичного бюджету «на всякий випадок»: 3 дБ;

Остаточний оптичний бюджет:

					<i>KPM.KI.1.884-03.3.4</i>	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.7 Вибір обладнання для реалізації мережі доступу

Для реалізації мережі використовують наступне обладнання Raisecom *ONU NR1101* – гігабітний абонентський термінал технології *GEPON* на чіп сеті *Realtek*, розроблений для застосування в рішеннях *FTTH/FTTB*. Відповідність стандартам *IEEE802.3ah/CTC 2.1* дозволяє використовувати дане устаткування в мережах, побудованих із застосуванням обладнання *GEPON* різних світових виробників. Характеристики: Інтерфейси 1 інтерфейс *GEPON*, *SC* 1 інтерфейс *Ethernet 10/100 / 1000Base-T, RJ-45*. Кнопки *RST (reset)*, вмикання / вимикання. Індикатори *SYS, LINK, REG, LOS, POWER*. Робоча температура, °C 0 °C - + 45 °C Зовнішній блок живлення *DC 12V / 0.5A*. Потужність $\leq 3W$.

Сплітер *Uplink - PLCSC / UPC*. Планарні сплітери (*Planar Lightwave Circuit Splitters*), або *PLC* спліттера - основний пасивний компонент *PON*. Планарні подільники працюють в широкому діапазоні хвиль 1260нм-1650нм і мають кращі показники загасання на порт щодо зварних. Подільники мають як *SC / UPC*, так і *SC / APC* конектори.

Характеристики:

- висота, мм 230;
- ширина, мм 200;
- глибина, мм 60;
- кількість портів введення магістрального кабелю 3;
- кількість введів абонентського кабелю 2-64 шт;
- кріплення для гільз 24 шт;
- місця для адаптерів 2-64 шт;
- діаметр провайдерських кабель-введів, мм 15;
- діаметр абонентських кабель-введів, мм 5.

Для реалізації ВД обрано обладнання *Raisecom GEPON OLT ISCOM5508-GP*- компактний оптичний лінійний термінал *GEPON*, який відповідає рекомендаціям *ITU-TG.984*. Пристрій підтримує до 8 інтерфейсів *GEPON*, до 12 інтерфейсів *GigabitEthernet* і два інтерфейси *10 GigabitEthernet*.

					<i>KPM.KI.1.884-03.3.4</i>	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Модульний дизайн дозволяє оптимізувати витрати шляхом поетапного нарощування ємності системи.

Основні особливості:

- коефіцієнт поділу до 1:128, відстань до 20 км, 1024 *ONU* на шасі;
- довжини хвиль: передача 1490 нм, прийом 1310 нм;
- підтримка *VLAN, QinQ, QoS, DBA* і *SLA*.

Таблиця 3.22

Додаткові модулі

<i>ISCOM5508-GP4A</i>	модуль з чотирма портами <i>SFP GEPON</i>
<i>ISCOM5508-GE4B</i>	модуль з чотирма портами <i>SFP GigabitEthernet</i>
<i>RPA1101-SI-220S12-Fn</i>	блок живлення змінної напруги (гаряча заміна)
<i>RPD1101-48S12-Fn</i>	блок живлення постійної напруги (гаряча заміна)
<i>FANS306</i>	модуль вентиляторів (гаряча заміна)

У якості приймально-передавального обладнання використано – *SFP* трансивер класу *C +* для роботи в пасивних мережах *PON* в парі з комутатором *OLT*. Здатний працювати в двох режимах *EPON* і *GEPON* зі швидкістю передачі даних в режимі *GEPON* прийом і передача дорівнює 1250 Мбіт/с, а в режимі *GPON* прийом 1244 Мбіт/с, а передача 2488 Мбіт/с на відстані до 20 км. Потужність оптичного передавача коливається в діапазоні + 3 ~ + 7 дБм, а чутливість досягає – 30 *dBm*. Даний трансивер є одно волоконним за рахунок чого передача і прийом інформації здійснюється по одному і тому ж оптичному волокну, а саме передача даних здійснюється на частоті 1490 нм зі швидкістю 2.48 Гбіт, а прийом на частоті 1310 нм зі швидкістю 1.24 Гбіт. Його рекомендований діапазон робочих температур від –5 до +70 °С градусів, а також рекомендований діапазон напруги від 3.135 до 3.465 Вольт.

Вузол надання послуг реалізовано на базі Summit X480– спеціалізований стієчний комутатор верхнього рівня для серверної віртуалізації і агрегації 10 *Gigabit* завдяки використанню новітньої модульної операційної системи *Extreme*

					<i>KPM.KI.1.884-03.3.4</i>	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Комутація L2	<i>IEEE 802.D, IEEE 802.1W, IEEE 802.1S, EAPsv2, ESRP</i>
Маршрутизація L3	<i>Static, RIPv1, RIPv2, OSPFv2, OSPFv3, IS-IS, BGP4, MPLS/H-VPLS</i>
VLANs	4094 <i>MAC-based</i> або <i>Port-based VLAN</i> , з підтримкою тегів 802.1Q
Широкомовна маршрутизація	<i>IP-Multicast</i> <i>PIM-DM, PIM-SM, PIM-SSM, Multicast Source Discovery Protocol (MSDP) IGMP v1/v2/v3, IGMP v1/v2/v3 Snooping, IGMP Proxy ICMPv6, ND, NDsnooping, MLDv1/v2, MLDv1/v2 snooping</i>
Списки контролю доступу (ACLs)	Підтримка <i>egress/ingress ACL</i> на швидкості порта
Якість обслуговування (QoS)	8 вихідних черг на порт, 802.1p, <i>Diffserv</i> , на основі <i>ACL, StrictPriority</i> и <i>WFQ</i> с min/max управлінням полоси пропускання
Стекування	<i>Summit Stack (40 Gbps), SummitStack128 (128 Gbps)</i>

Канали передачі інформації реалізовано із використанням оптичного кабелю з центральним оптичним модулем. В оптичний кабель закладається оптичне волокно *FujikuraFutureGuide – LWP*. Кількість волокон – 6 шт. Діаметр оптичного модуля, мм – 3,0. Діаметр сталевого дроту, мм – 1,2. Товщина зовнішньої оболонки, мм – 2,7. Діаметр кабелю, мм – 9,7. Усереднена маса кабелю, кг / км – 103. Мінімальний радіус вигину постійний/динамічний, мм – 10/20 діаметрів кабелю.

При виборі обладнання ключовими вимогами була кількість портів підключення та пропускна здатність обладнання, також важливим параметром було підібрати обладнання одного виробника, щоб воно взаємодіяло між собою без проблем.

					<i>KPM.KI.1.884-03.3.4</i>	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновок до третього розділу

1. Розглянуто та порівняно деякі типові архітектури *WDM-PON*, запропоновані в літературі.

2. Наведено приклад вимог до широкосмугового доступу для типового клієнта *WDM-PON*.

3. Порівняно вартість технологій *TDM-PON* та *WDM-PON* за такими критеріями: пропускна здатність, довжина хвиль. На основі розглянутих критеріях *TDM-PON* є більш економічно доцільним варіантом для невеликої кількості користувачів з низькою пропускною здатністю. Для більшої кількості користувачів або з більш високою пропускною здатністю більш економічно доцільним варіантом є *WDM-PON*.

4. Запропоновано алгоритм процесу побудови мережі доступу.

5. Наведено та обрано обладнання для реалізації мережі доступу. Вибране обладнання відповідає зазначеним вимогам і забезпечує високу надійність та продуктивність мережі.

					<i>KPM.KI.1.884-03.3.4</i>	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Економічні розрахунки проєкту

В умовах відкритої ринкової економіки розширюється діапазон оцінки ефективності науково-технічних розробок, а отже, збільшується кількість основних видів ефективності НДДКР, які необхідно визначити з метою цієї оцінки. До них належать:

1. Науково-технічний ефект, який проявляється у впровадженні інновацій, вдосконалення технологій та створення умов для продуктивної діяльності в процесі побудови мереж доступу. Інвестиції в дослідження та розробку нових технологій, які можуть покращити мережі доступу;

2. Економічний ефект полягає в забезпеченні ефективних і швидких мереж доступу для підвищення продуктивності різних секторів економіки, що призведе до загального зростання ВВП. Побудова мереж доступу сприяє зменшенню регіональних відмінностей, оскільки регіони отримують рівний доступ до сучасних технологій та Інтернет-ресурсів. Підприємства отримують доступ до передових технологій та інноваційних можливостей завдяки розвитку мереж доступу;

3. Соціальний ефект, що відображає зміни в отриманні доступу до інформації людині, інформацію можливо отримати будь-де і в будь-якому місці. Впровадження мереж доступу дозволить використовувати віддаленні та гнучні форми роботи. Мережі доступу допоможуть розвивати свої навички за допомогою онлайн-ресурсів, можуть надати можливість проконсультуватися з лікарем через Інтернет, полегшуючи доступ до медичних послуг, особливо у віддалених районах;

4. Маркетинговий ефект, при впровадженні сучасних оптичних мереж підвищиться швидкість передачі даних та пропускна здатність при зростаючих

					<i>КРМ.КІ.1.884-03.3.4</i>	Арк.
						82
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Продовження таблиці 4.1

№	Групи показників	Характеристика показників	Інтервал рейтингового числа	Коефіцієнт значущості показників
		Нижче кращих світових аналогів	5 – 6	
		Перевищує кращі вітчизняні аналоги	3 – 4	
		Відповідає вітчизняному рівню	1 – 2	
		Нижче вітчизняного рівня	0	
	Перспективність	Першочергова значущість	8 – 10	0,35
		Значущий	5 – 7	
		Корисний	1 – 4	
3	Потенційний масштаб практичного використання	Світовий ринок	10	0,2
		Галузі національної економіки	7 – 9	
		Галузь (регіон)	3 – 6	
		Окремі підприємства (об'єднання)	1 – 2	
4	Ступінь вірогідності досягнення позитивних результатів	Великий	10	0,1
		Середній	5 – 9	
		Малий	1 – 4	

Проведення оцінки

Визначають $K^{\Phi}_{НТЕ}$ на основі експертної оцінки науково-технічного рівня розробки.

З цією метою:

- розроблюють перелік специфічних показників, необхідних для виміру науково-технічного рівня розробки;

					КРМ.КІ.1.884-03.3.4	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- формують групу аналогів, які реалізовані на світовому івітчизняному ринках;
- здійснюють відповідні розрахунки для співставлення показників і визначення балів по табл. 4.1.

До числа специфічних показників відносять:

- для нової техніки: продуктивність, споживання інженерних ресурсів на виробітку одиниці продукції, потреба в робочих, які обслуговують обладнання, експлуатаційні витрати на одиницю продукції;
- для нових матеріалів і речовин: матеріали та речовини, що використовуються в мережі доступу з використанням супутникових технологій, відіграють важливу роль у забезпеченні надійного та ефективного зв'язку. Оптимальний вибір матеріалів та речовин допомагає забезпечити стабільну та швидку передачу даних у мережі доступу з використанням супутникових технологій;
- для нових технологій: якість виробленої продукції, енергоємність і трудомісткість продукції, собівартість одиниці продукції.

З метою спрощення визначення $K_{НТЕ}^Ф$ у табл. 4.2 не введено показника витрат на одиницю продукції.

Таблиця 4.2

Порівняльні показники для виконання оцінки НТЕ

Показники	Варіанти технології	
	розробленої	співвідносної (аналога)
Рівень новізни	світовий	-
Якість продукції	найвища	вища
Споживання на 1 т продукції		
– тепла, Гкал	5,14	6,85
– електроенергії, кВт·годину	46,72	54,36
– води, м ³	4,13	3,12

Показники	Варіанти технології	
	розробленої	співвідносної (аналога)
Трудомісткість виробництва, людино-годин/ тонну	17,5	6,17

На основі співставлення даних таблиці встановлюють бали по характеристиках чотирьох груп і на цій основі розраховують значення інтегрального показника НТЕ:

$$НТЕ = \sum B_i \times K_i^3, \quad (4.2)$$

де $i = 1 \div 4$,

B_i – бали (рейтингове число),

K – коефіцієнт значущості показників.

Рівень науково-технічної ефективності НДДКР розраховано на основі наведених даних прикладу (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

Експертна оцінка і розрахунок величини інтегрального показника НТЕ

№	Групи показників	Рейтинг експертів			Середня за експертними оцінками	НТЕ
		1	2	3		
1	Науково-технічний рівень	9	8	7	8	2,8 (8 x 0,35)
2	Перспективність	6	5	5	5,33	1,87 (5,33 x 0,35)
3	Потенційний масштаб практичного використання	7	8	8	7,67	1,53 (7,67 x 0,2)
4	Ступінь вірогідності досягнення позитивних результатів	8	8	8	8	0,8 (8 x 0,1)
В С Ь О Г О						7

									Арк.
									86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРМ.КІ.1.884-03.3.4				

$$HTE = 8 \cdot 0,35 + 5,33 \cdot 0,35 + 7,67 \cdot 0,20 + 8 \cdot 0,10 = 2,8 + 1,87 + 1,53 + 0,8 = 7$$

Отриманий результат слід порівняти з максимально можливим значенням, яке дорівнює 10 балам ($10 \cdot 0,35 + 10 \cdot 0,35 + 10 \cdot 0,2 + 10 \cdot 0,1$).

Отже, оцінка рівня HTE може бути зроблена за допомогою інтегрального коефіцієнта оцінки HTE (K_{HTE}):

$$K_{HTE} = \frac{HTE}{10} \cdot 100 \% \quad (4.3)$$

На основі даних табл. 4.3 можна дійти до висновку, що K_{HTE} відповідає 70 %, тобто:

$$K_{HTE} = \frac{7}{10} \cdot 100 = 70$$

В тому випадку, коли значення K_{HTE} перевищує середнє значення, яке дорівнює 5,0, має бути зроблено висновок про достатній рівень HTE:

- цілком достатній 5,0 – 6,0;
- достатній 6,1 – 8,0;
- достатньо високий 8,1 – 9,0;
- високий 9,1 – 10.

Таким чином, рівень HTE технології можна визнати достатнім. Отже, розроблену технологію пропонується впроваджувати у виробництво.

4.2 Порівняння оптичних мереж TDM-PON та WDM-PON

Time Division Multiplexing Passive Optical Network (TDM-PON) і *Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network (WDM-PON)* є двома різними технологіями, які використовуються в області передачі даних по оптичних мережах. Порівняємо їх з точки зору економічної ефективності (табл. 4.4, табл. 4.5):

					КРМ.КІ.1.884-03.3.4	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Порівняння технологій *TDM-PON* та *WDM-PON*

	<i>TDM-PON</i>	<i>WDM-PON</i>
<i>Архітектура</i>	Використовує часовий мультиплексування для розділення широкосмугового оптичного сигналу між різними користувачами.	Використовує довільне кількість хвильоводів для передачі незалежних сигналів до різних користувачів.
<i>Пропускна здатність</i>	Може бути обмеженою пропускною здатністю, оскільки користувачі діляться часовими інтервалами.	Забезпечує вищу пропускну здатність, оскільки різні хвильоводи можуть працювати паралельно, не конфліктуючи між собою.
<i>Вартість обладнання</i>	Зазвичай менше вартісна за обладнання, оскільки використовує менше складних оптичних елементів.	Може бути дорожчим, оскільки вимагає використання <i>WDM</i> -компонентів, таких як відсікати і комутатори.
<i>Довжина волоконної лінії</i>	Може бути більш витратною з точки зору енергоспоживання на великі відстані через збільшення втрат сигналу на волоконних лініях	Зазвичай більш підходить для великих довжин ліній через зменшення втрат сигналу завдяки використанню різних хвильоводів.
<i>Масштабованість</i>	Менш гнучкий в плані масштабованості, особливо при збільшенні кількості користувачів.	Зазвичай має кращі можливості для масштабування через можливість додавання нових

Для підвищення ефективності проекту необхідно вжити наступні заходи:

- оптимізація витрат на обладнання: розгляд можливостей закупівлі обладнання від дистриб'юторів або виробників для зниження витрат;
- збільшення клієнтської бази проведення активної маркетингової кампанії та пропозиція конкурентоспроможних цін для збільшення кількості клієнтів;
- розширення спектру послуг: введення додаткових послуг, таких як зберігання даних, хмарні сервіси і т.д., для розширення споживчої бази.

Ці заходи спрямовані на зменшення терміну окупності проекту та збільшення його прибутковості.

4.3.2 Аналіз конкурентів

Одним із найсильнішим конкурентом при впровадженні нашого проекту можете стати компанія *BRIZ*. Вона є одним із провідних операторів фіксованого зв'язку в Україні. Компанія пропонує послуги з побудови комунікаційної мережі у багатоповерхових будинках на основі мережі *WDM-PON*.

Компанія «*BRIZ*» пропонує наступні пакети послуг:

1. Пакет «*BRIZ WDM-PON*» – включає обладнання, встановлення, обслуговування та забезпечення доступу в інтернет на швидкості до 10 гбіт/с.
2. Пакет «*BRIZ WDM-PON+TV*» – включає обладнання, встановлення, обслуговування, надання доступу до мережі інтернет на швидкості до 10 гбіт/с та кабельного телебачення.
3. Пакет «*BRIZ WDM-PON+TV+Телефонія*» – включає обладнання, встановлення, обслуговування, що забезпечує доступ до інтернету на швидкості до 10 гбіт/с, кабельне телебачення і телефонію.

Щоб замовити послугу з побудови мережі зв'язку в багатоповерховому будинку на базі мережі *WDM-PON* від компанії «*BRIZ*», необхідно звернутися до представника компанії або залишити заявку на сайті.

					<i>KPM.KI.1.884-03.3.4</i>	Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

BRIZ є одним з провідних постачальників послуг з побудови мережі зв'язку в багатоповерхових будинках на базі мережі *WDM-PON*. Компанія має широкий спектр послуг, високошвидкісний доступ до інтернету та конкурентні ціни.

Щоб обійти таких конкурентів необхідно виділити фактори, які враховуються при виборі компанії:

- ціна;
- швидкість доступу до інтернету;
- пакет послуг;
- репутація компанії.

Нажаль в репутації компанії ми поки що програємо. Компанія «*BRIZ*» має більш ніж 20-річний досвід роботи, має позитивні відгуки клієнтів. на даний час компанія є одним з найкращих варіантів інтернет-провайдерів.

Для виходу вперед перед такими конкурентами, як *BRIZ*, важливо представити мешканцям будинку більш вигідні умови, активно рекламувати свої послуги та розширювати спектр наданих послуг.

Висновок до четвертого розділу

1. Розроблено бізнес-план побудови комунікаційної мережі у багатоповерховому будинку на основі мережі *WDM-PON*.

2. Проаналізовано проєкт з точки економічної ефективності. Окупність проєкту очікується за 2,7 року, а чиста теперішня вартість проєкту становить 1,694 млн. грн. Індекс прибутковості (IRR) інвестиційного проєкту також позитивний і дорівнює 10%.

3. Розглянуті заходи що спрямовані на скорочення терміну окупності проєкту та підвищення його прибутковості.

4. Виявлені основні конкуренти проєкту та розроблені заходи щодо їх подолання.

					<i>KPM.KI.1.884-03.3.4</i>	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Основні положення техніки безпеки

Техніка безпеки – це важливий аспект у будь-якій області, особливо в сфері інформаційних технологій. Основні положення техніки безпеки включають в себе різні аспекти, такі як фізична безпека, мережева безпека, безпека даних і багато інших. Тут наведено загальні принципи техніки безпеки:

1. Керівництво та зобов'язання:
 - політика безпеки: розробка, реалізація та підтримка політики безпеки на всіх рівнях організації;
 - відповідальність: визначення та розподіл завдань та обов'язків з питань безпеки між працівниками.
2. Організаційна безпека:
 - тренування та свідомість: навчання персоналу з питань безпеки, в тому числі виявлення соціального інженерінгу та інших загроз;
 - аудит та відгуки: регулярне проведення аудитів безпеки та взаємного обміну відгуками для вдосконалення системи безпеки.
3. Фізична безпека:
 - обмеження доступу: використання контролю доступу до фізичних приміщень, де зберігаються важливі ресурси;
 - відеоспостереження: встановлення систем відеоспостереження для моніторингу та запису подій.
4. Мережева безпека:
 - захист мережевих з'єднань: використання захисту паролів, шифрування трафіку та інших засобів для захисту мережевих з'єднань;

					<i>KPM.KI.1.884-03.3.4</i>	Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- файрвол: використання програмного та/або апаратного файрволу для контролю мережевого трафіку.
5. Безпека даних:
- шифрування даних: захист чутливих даних шляхом їхнього шифрування в спокійному та транзитному стані;
 - резервне копіювання та відновлення: забезпечення регулярного резервного копіювання даних та можливості швидкого відновлення після аварій.
6. Безпека програмного забезпечення:
- оновлення та патчі: регулярне оновлення всього програмного забезпечення та встановлення необхідних патчів безпеки;
 - антивірусні програми: використання антивірусних та анти-мальварних програм для захисту від шкідливого програмного забезпечення.
7. Управління ідентифікацією та доступом:
- система ідентифікації та аутентифікації: використання систем ідентифікації та аутентифікації для контролю доступу;
 - політика керування доступом: регулювання прав доступу користувачів та обмеження їхніх привілеїв.
8. Реагування на інциденти:
- планування та підготовка: розроблення планів реагування на інциденти та тренування персоналу;
 - моніторинг та виявлення інцидентів: впровадження систем моніторингу для виявлення ненормальної активності.
9. Аудит та вдосконалення:
- аудит безпеки: регулярне проведення аудитів безпеки для оцінки ефективності та виявлення можливих вразливостей;
 - вдосконалення процесів: впровадження змін та вдосконалень на основі результатів аудиту та взаємодії з іншими системами безпеки.

					<i>КРМ.КІ.1.884-03.3.4</i>	Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Безпека передачі даних:

- шифрування та захист даних: забезпечення безпеки при передачі чутливих даних у мережах, використовуючи шифрування та інші технічні заходи.

7. Запобігання виникненню пожеж:

- безпека електропроводки: розробка та дотримання правил електробезпеки для запобігання пожежам.

8. Керування санітарно-гігієнічними умовами:

- вентиляція та очищення повітря: забезпечення належних умов щодо вентиляції та якості повітря у приміщеннях, де виконується робота.

9. Планування та реагування на інциденти:

- планування та тренування: розробка планів дій та регулярне тренування персоналу щодо дій у випадку аварій чи інших небезпечних ситуацій.

10. Моніторинг та аналіз безпеки:

- системи моніторингу: впровадження систем моніторингу для виявлення можливих порушень безпеки та аналізу виниклих інцидентів.

Всі ці заходи спрямовані на створення безпечного та здорового робочого середовища для фахівців, які працюють у сфері мереж доступу, і зменшення ризиків виникнення негативних наслідків для їхнього здоров'я та безпеки.

5.3 Пожежна профілактика

Пожежна безпека – це система організаційних та технічних заходів, спрямованих на запобігання пожежам, виявлення їх на ранній стадії, ефективне гасіння та захист людей та майна від наслідків пожежі.

Причини пожеж в електроустановках.

Пожежі можуть виникати з різних причин, які можуть бути технічними, людськими або природними: перегрів апаратного забезпечення, коротке

					<i>КРМ.КІ.1.884-03.3.4</i>	Арк.
						98
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

замикання та електричні несправності, несправні акумулятори та живлення, необережне обслуговування, використання застарілого обладнання та інші.

Засоби пожежогасіння.

До початку експлуатації об'єкти (будинки, споруди, приміщення, технологічні установки) повинні бути забезпечені первинними засобами пожежогасіння (вогнегасники). Первинні засоби пожежогасіння розміщують на спеціальних щитах. Щити встановлюють з таким розрахунком, щоб до далекої будівлі було не більше 100 м, а від сховищ з вогнебезпечними матеріалами – не більше 50 м, або з розрахунку – один щит на 5000 м².

Засоби пожежогасіння фарбують у червоний сигнал, а написи виконують контрастним білим кольором. Місця розміщення засобів пожежогасіння зазначаються у планах евакуації. На стендах або пожежних щитах рекомендується розміщувати інструкцію з правил пожежної безпеки, написи з телефонами пожежної охорони та прізвища посадових осіб, відповідальних за пожежну безпеку.

Запобігання пожежам включає в себе ретельне планування, регулярну перевірку та обслуговування обладнання, дотримання безпечних практик експлуатації та впровадження ефективних систем пожежної безпеки. Одним із таких діячих систем пожежної безпеки є сигналізація.

Також у складі установки пожежогасінні обов'язково мають бути вогнегасники. У вітчизняній практиці пожежної безпеки, кількість вогнегасників, які повинні бути встановлені в приміщенні, визначається відповідно до Державних нормативів і правил охорони праці 0.00-1.3-08 «Правила пожежної безпеки в Україні».

Вуглекислотні вогнегасники є найбільш ефективними для гасіння пожеж, що виникають у зв'язку з електроприладами. Для невеликих приміщень площею до 20 м², де розміщена оргтехніка, встановлюється один переносний вуглекислотний вогнегасник ОУ-3 (ВВК-2). Якщо площа приміщення перевищує 20 м² встановлюється один вуглекислотний вогнегасник ОУ-3 (ВВК-2) на кожних 20 м² площі. Важливо розміщати вогнегасники в приміщенні з

					<i>КРМ.КІ.1.884-03.3.4</i>	Арк.
						99
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

урахуванням доступності для їх використання в будь-який момент. Оптимальна висота розташування вогнегасників – від 1,5 до 1,8 м від підлоги. Для забезпечення безпеки рекомендується проводити регулярні щомісячні огляди вогнегасників для перевірки їх справності.

5.4 Виробнича санітарія

Виробнича санітарія – це комплекс заходів, спрямованих на забезпечення та збереження оптимальних умов для здоров'я та безпеки працівників на виробництві. Основні цілі виробничої санітарії включають в себе попередження захворювань, пов'язаних з трудовою діяльністю, зниження ризиків і створення комфортних умов для працівників.

Вимоги до режимів роботи з *IT*-мережами.

Робота з мережами доступу, також відомими як *IT*-мережі, може вимагати специфічних вимог до режимів роботи та відпочинку. Зважаючи на те, що це може бути динамічна та інтенсивна сфера, де можливі невідкладні ситуації та важливі важливості, важливо враховувати певні аспекти.

Графік роботи. Потрібно забезпечити стабільний графік роботи, який відповідає вимогам проєктів та обслуговування мереж. Розробити період чергувань для забезпечення неперервності обслуговування.

Часові обмеження. Встановити часові обмеження для працівників, які працюють віддалено, для забезпечення балансу між роботою та особистим життям. Введення обмежень під час роботи з обладнанням, зокрема, заходів щодо попередження напруги в очах та проблем, пов'язаних із довготривалою роботою перед екраном.

Час відпочинку. Визначення періодів відпочинку та рекреації для запобігання перевтомі та підвищення ефективності роботи. Рекомендації щодо регулярних перерв при тривалій роботі перед комп'ютером для зниження ризику виникнення проблем зі здоров'ям.

					<i>KPM.KI.1.884-03.3.4</i>	Арк.
						100
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В роботі з мережами можуть виникати фізичні та психологічні чинники ризику. Щоб запобігти нещасним випадкам на роботі та погіршення стану здоров'я співробітників такі як проблеми із зором.

Працівники повинні проходити регулярні медичні огляди для виявлення проблем пов'язаних із зором, фізичних та психологічних аспектах. І так як робота з мережами може бути стресовою через велику кількість задач, малі строки їх виконання, найняти в штаб психолога.

Також частими нещасними випадками при роботі з технікою являються ураження електричним струмом. При запобіганні чому потрібно ознайомлювати співробітників з правилами експлуатації обладнання. Проводження з працівниками правила надання першої медичної допомоги.

Перша медична допомога людині, при ураженій електричним струмом, складається з таких етапів:

1. Якщо це можливо і безпечно, відключіть джерело струму.
2. Викличте медичну допомогу.
3. Оцініть стан потерпілого. Якщо потерпілий не подає ознак життя потрібно зробити штучне дихання та серцево-легеневу реанімацію.
4. Коли прибуде швидка допомога надайте їм всю необхідну інформацію.

Висновок до п'ятого розділу

1. Розглянуті основні положення техніки безпеки, основні аспекти охорони праці у сфері мереж доступу.
2. Описана процедура забезпечення пожежної безпеки.
3. Впроваджені ефективні системи пожежного захисту та правильнее розташовання первинних засобів пожежогасіння.
4. Розроблені заходи для запобігання ураження електричним струмом та надання першої медичної допомоги.
5. Розглянуті вимоги щодо графіку роботи та режиму роботи з ІТ-мережами.

					<i>KPM.KI.1.884-03.3.4</i>	Арк.
						101
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Основними перевагами *WDM-PON* у порівнянні з *TDM-PON* є наступні аспекти:

1. Виділена оптична смуга для кожного користувача: у *WDM-PON* кожному користувачеві надається окрема оптична смуга, що гарантує стабільну індивідуальну передачу даних.

2. Фізична ізоляція сигналів абонентів: сигнали абонентів у *WDM-PON* ізольовані фізично, що запобігає перехрещуванню сигналів та забезпечує конфіденційність даних.

3. Ефективне використання оптичного волокна: *WDM-PON* дозволяє ефективно використовувати оптичне волокно, можливо підключення до 64 абонентів на одне волокно, подібно до стандарту *GPON*.

4. Збільшена дальність зв'язку: *WDM-PON* забезпечує значно більшу дальність передачі даних, до 80 км, що порівняно зі звичайним *PON*, де максимальна дальність обмежена 20 км.

Однак важливо відзначити, що *WDM-PON* має свої недоліки, зокрема високі витрати на початковому етапі розгортання. Для *WDM-PON* потрібні спеціалізовані вузькосмугові передавачі, що випромінюють на конкретних довжинах хвиль. Незалежно від цього, *TDM-PON* має менші початкові витрати, але може виявитися дорожчим на пізніших етапах розвитку.

При будівництві нової мережі доступу оператора важливо враховувати багато параметрів, таких як пропускна здатність мережі, можливість подальшого розширення і загальну вартість. З огляду на проведений аналіз, *WDM-PON* видається більш обґрунтованим вибором, оскільки з усіх вказаних параметрів вона перевершує *TDM-PON*.

					<i>KPM.KI.1.884-03.3.4</i>	Арк.
						102
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ МЕРЕЖ

1. *Brackett C. Dense wavelength division multiplexing networks: principles and applications.* 1990.
2. *Lin Y. K., Spears D. R. Passive optical subscriber loops with multi-access // Journal of Lightwave Technology.* 1989. №7. С. 1769–1777.
3. *Holloway W. T., Keating A. J., Sampson D. D. Multiwavelength source for spectrum-sliced WDM access networks and LANS, // IEEE Photonics Technology Letters.* 1997. №9. С. 1014–1016.
4. *Feldman R. D., Harstead E. E., Jiang S. An evaluation of architectures incorporating wavelength division multiplexing broad-band fiber access, // Journal of Lightwave Technology.* 1998. №16. С. 1546–1558.
5. *Angelopoulos J. D., Lepidas N. I., Fragoulopoulos E. K., Venieris I. S. TDMA multiplexing of ATM cells in a residential access SuperPON.* 1998.
6. *Agrawal G. Fiber-Optic Communication Systems.* Вайлі: 2002.
7. *Kramer G., Mukherjee B., Pesavento G. IPACT: a dynamic protocol for an Ethernet PON (EPON).* 2002.
8. *George J. Designing passive optical networks for cost-effective triple play support.* Флорида: 2004.
9. *Park S. J., Lee C. H., Jeong K. T. Fiber-to-the-home services based on WDM passive optical network // Journal of Lightwave Technology.* 2004. №22. С. 2582–2590.
10. *Hasegawa J., Nara K. Ultra low loss athermal AWG module with a large number of channels.* Фурукава: 2004.
11. *Maier G., Feldmann A., Paxson V., Allman M. On dominant characteristics of residential broadband internet traffic // 9th ACM SIGCOMM Conference on Internet Measurement (IMC '09).* Чикаго, Іллінойс, США: 2009 р.
12. *Hsueh Y., Rogge M., Shaw W., Yamamoto S., Kazovsky L. Quality of service support over SUCCESS-DWA: a highly evolutionary and cost-effective optical*

					КРМ.КІ.1.884-03.3.4	Арк. 103
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

access network. Анахайм, Каліфорнія: 2005.

13. *Megyesi P., Molnár S. Analysis of elephant users in broadband network traffic, Advances in Communication Networking*. 8115 вид. 2013. 37-45 с.
14. *McGarry M., Maier M., Reisslein M. An evolutionary WDM upgrade for EPONs*. Арізона: 2005.
15. *Talli G., Townsend P. D. Feasibility demonstration of 100 km reach DWDM superPON with upstream bit rates of 2.5 Gb/s and 10 Gb/s*. Анахайм, Каліфорнія: 2005.
16. *Passive optical network architecture based on the remote interrogation of terminal equipment, // IEEE.org URL: <http://ieeexplore.ieee.org>* (дата звернення: 03.11.2023).
17. *The Cooperative Association for Internet Data Analysis // Caida URL: https://www.caida.org/catalog/papers/1996_caida/* (дата звернення: 20.09.2023).
18. *Sundaresan S. Broadband internet performance: A view from the gateway // SIGCOMM '11*. Торонто, Онтаріо, Канада: 2011 р.
19. *Wavelength-division-multiplexed passive optical network (WDM-PON) technologies for broadband access // ResearchGate URL: <https://www.researchgate.net/publication/228633882>* (дата звернення: 31.10.2023).
20. *WDM Overlay of APON with EPON — a carrier's perspective // IEEE.org URL: http://grouper.ieee.org/groups/802/3/efm/public/sep01/lam_1_0901.pdf* (дата звернення: 05.11.2023).
21. *Huseh Y., Rogge M., Shaw W. Evolution, challenges, and enabling technologies for future WDM-based optical access networks, // Symposium on Photonics (Networking, and Computing)*. Північна Кароліна: 2003 (дата звернення: 31.10.2023).
22. *Design and Cost Performance of the Multistage WDM-PON Access Networks // IEEEExplore URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/822785>* (дата звернення: 15.10.2023).

					КРМ.КІ.1.884-03.3.4	Арк.
						104
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

23. *Hardware cost and capacity analysis of future TDM- and WDM-PON access networks // IEEEExplore URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6876474> (дата звернення: 19.10.2023).*
24. Вістунов, В. Д., & Гаттуров, В. К. (2021). АНАЛІЗ ПОБУДОВИ МЕРЕЖ ДОСТУПУ НА ОСНОВІ СУЧАСНИХ ШИРОКОСМУГОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ. Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції «ПЕРСПЕКТИВИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ», 38–40. вилучено із <http://conferenc.its.kpi.ua/proc/article/view/229245> (дата звернення: 10.10.2023).
25. Методичні вказівки до оцінки науково-технічної ефективності розробки нової технології, нового обладнання та інших інновацій. Для студентів всіх спеціальностей СВО «бакалавр» і «магістр» денної і заочної форм навчання. Укладачі Басюркіна Н.Й., Свистун Т.В. Одеса: ОНТУ, 2022 р. 18 с.

					<i>КРМ.КІ.1.884-03.3.4</i>	<i>Арк.</i>
						105
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		