

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ,
ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТА РАДІОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри

Роман ОДАРЧЕНКО
“ _____ ” _____ 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА
РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВР

Тема: «Магістральна мережа DWDM»

Виконавець: _____ Нікіта ЗВЕРЕВСЬКИЙ
(підпис)

Керівник: _____ Веніамін АНТОНОВ
(підпис)

Нормоконтролер: _____ Денис БАХТІЯРОВ
(підпис)

Київ 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра телекомунікаційних та радіоелектронних систем

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Телекомунікаційні системи та мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Роман ОДАРЧЕНКО

“ _____ ” _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи

Зверевського Нікити Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові випускника в родовому відмінку)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Магістральна мережа DWDM»

затверджена наказом ректора від «29» березня 2023 р. № 421/ст

2. Термін виконання роботи: з 22.05.2023 р. по 25.06.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: Магістральна лінія Київ-Луцьк

4. Зміст пояснювальної записки: ВСТУП, РОЗДІЛ 1. АРХІТЕКТУРА МЕРЕЖІ DWDM, РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ DWDM, РОЗДІЛ 3. ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ МАГІСТРАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ DWDM, ВИСНОВКИ

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: Устаткування DWDM, Принцип роботи технології DWDM, Маршрутизація довжин хвиль із електронним TDM, Повністю оптична мережа DWDM, Довжини хвиль DWDM та CWDM, Рекомендовані довжини хвиль для CWDM та DWDM Hybrid, ВО універсальний кабель 1x4 E9/125 (SMF-28® Ultra), Проектована лінія зв'язку DWDM, Схема керування режимами посилення сигналів, Типова схема збільшення довжини прольоту за допомогою оптичного посилення

6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Розробити деталізований зміст розділів кваліфікаційної роботи	22.05.2023- 24.05.2023	Виконано
2	Вступ	25.05.2023	Виконано
3	АРХІТЕКТУРА МЕРЕЖІ DWDM	26.05.2023- 29.05.2023	Виконано
4	РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРА- МЕТРІВ СИСТЕМИ DWDM	30.05.2023- 07.06.2023	Виконано
5	ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ МАГІСТ- РАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ DWDM	08.06.2023- 14.06.2023	Виконано
6	Усунення недоліків та захист кваліфі- каційної роботи	15.06.2023- 25.06.2023	Виконано

7. Дата видачі завдання: “19” травня 2023 р.

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис керівника)

Веніамін АНТОНОВ

(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання

(підпис випускника)

Нікіта ЗВЕРЕВСЬКИЙ

(П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота «Магістральна мережа DWDM» містить 62 сторінки, 24 рисунка, 3 таблиці, 16 використаних джерел.

DWDM, OADM, WDM, EDFA, ROADM, MUX, DEMUX, МЕРЕЖА, ВОЛЗ.

Об'єкт дослідження – магістральна мережа DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing).

Предмет дослідження – є магістральна мережа DWDM та всі аспекти, пов'язані з її функціонуванням, розгортанням та управлінням.

Мета кваліфікаційної роботи – є детальне вивчення магістральної мережі DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) із застосуванням оптичного мультиплексування. Робота спрямована на розуміння принципів функціонування, архітектури та основних технологій, що використовуються в мережі DWDM. Вона також має на меті вивчення викликів, з якими стикаються при розгортанні та управлінні мережею DWDM, а також оцінку перспектив її використання в сучасній телекомунікаційній індустрії.

Метод дослідження – Аналіз літературних джерел: використання наукових статей, книг, журналів та інших джерел, що стосуються магістральної мережі DWDM, Емпіричні дослідження: збір та аналіз фактичних даних про реалізацію магістральної мережі DWDM, включаючи характеристики пристроїв, архітектуру мережі, використані технології та ефективність передачі даних.

Матеріали кваліфікаційної роботи рекомендується використовувати при побудові магістральної мережі DWDM і мають значний практичний вплив і наступне практичне значення: Покращення ефективності телекомунікаційної інфраструктури, Підвищення швидкості передачі даних, Забезпечення надійності та стійкості мережі, Розвиток нових послуг та застосувань.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	6
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. АРХІТЕКТУРА МЕРЕЖІ DWDM	12
1.1. Принципи побудови мережі DWDM	12
1.2. Робота компонентів системи у мережі DWDM	18
1.3. Повний аналіз і принцип роботи технології DWDM	19
1.4. Магістральні мережеві структури DWDM	21
1.4.1. Простий двоточковий канал DWDM	21
1.4.2. Маршрутизація довжин хвиль із електронним TDM	22
1.4.3. Повністю оптична мережа DWDM	23
1.5. Розгортання DWDM через мережу CWDM	24
1.6. Практичні аспекти розгортання мережі DWDM	27
1.7. Історична еволюція та майбутні тенденції технології DWDM	27
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ DWDM	30
2.1. Розрахунок ВОЛЗ і вибір кабелю для лінії зв'язку	30
2.2. Визначення траси для прокладання кабелю	33
2.3. Розрахунок необхідної кількості та пропускної спроможності системи	35
2.4. Розрахунок параметрів ділянок лінії зв'язку	38
2.5. Розрахунок надійності ВОЛЗ	40
2.6. Розрахунок лінії зв'язку із загасання сигналу	42
2.7. Розробка схеми організації зв'язку	47
РОЗДІЛ 3. ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ МАГІСТРАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ DWDM	50
3.1. Основні критерії для вибору виробника обладнання	50
3.2. Вибір обладнання для мережі DWDM	51
3.3 Технічні характеристики системи DWDM	55
ВИСНОВКИ	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	61

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- DWDM - Dense Wavelength Division Multiplexing (густа багатовікова мультиплексування за довжиною хвилі)
- OADM - Optical Add-Drop Multiplexer (оптичний мультиплексор з можливістю включення/виключення сигналу)
- WDM - Wavelength Division Multiplexing (мультиплексування за довжиною хвилі)
- SONET - Synchronous Optical Networking (синхронна оптична мережа)
- SDH - Synchronous Digital Hierarchy (синхронна цифрова ієрархія)
- BER - Bit Error Rate (рівень помилок на біт)
- FEC - Forward Error Correction (передбачувана корекція помилок)
- EDF - Erbium-Doped Fiber (волоконно-оптичний пігментований волоконний пігментований)
- EDFA - Erbium-Doped Fiber Amplifier (підсилювач на волоконно-оптичному пігментованому волокні)
- ROADM - Reconfigurable Optical Add-Drop Multiplexer (перепрограмований оптичний мультиплексор з можливістю включення/виключення сигналу)
- OSNR - Optical Signal-to-Noise Ratio (оптичне співвідношення сигнал/шум)
- C-Band - Conventional Band (конвенційний діапазон хвиль)
- L-Band - Long Wavelength Band (довгий діапазон хвиль)
- OTN - Optical Transport Network (оптична транспортна мережа)
- OXC - Optical Cross-Connect (оптичний крос-коннект)
- OTDR - Optical Time Domain Reflectometer (оптичний рефлектометр часового домену)
- RAMAN - Raman Amplification (усилення Рамана)
- DCM - Dispersion Compensation Module (модуль компенсації дисперсії)
- MUX - Multiplexer (мультиплексор)
- DEMUX - Demultiplexer (демультиплексор)

ВСТУП

Актуальність теми. У розрізі сучасного цифрового віку передача великого обсягу даних стає необхідністю в різних сферах життя, починаючи від телекомунікацій і закінчуючи бізнес-сегментом. Забезпечення швидкого, безперебійного та ефективного обміну інформацією є вирішальним фактором для сучасного суспільства, що залежить від надійних та потужних мереж передачі даних. В цьому контексті магістральна мережа DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) виступає як ключовий елемент інфраструктури зв'язку, забезпечуючи високошвидкісну передачу даних на великі відстані.

Магістральна мережа DWDM використовує принципи оптичного мультиплексування, що дозволяє одночасно передавати багато сигналів по одному оптичному волокну. Це досягається шляхом використання різних довжин хвиль світла, які незалежно передаються через волокно. DWDM дозволяє використовувати сотні і навіть тисячі каналів передачі даних одночасно, що суттєво підвищує пропускну здатність мережі і дозволяє передавати великі обсяги інформації зі швидкістю, яка раніше була неможлива.

Одним з найважливіших аспектів магістральної мережі DWDM є забезпечення надійності та стабільності передачі даних. За допомогою спеціальних пристроїв, таких як ретранслятори та оптичні регенератори, сигнали можуть бути послані на значні відстані без втрати якості. Крім того, мережа DWDM підтримує функцію автоматичного виявлення та виправлення помилок передачі, що дозволяє забезпечувати стійкість і неперервність зв'язку.

Окрім високої швидкості та надійності, магістральна мережа DWDM відкриває нові можливості для розширення і розвитку телекомунікаційних мереж. Її гнучкість і масштабованість дозволяють легко додавати нові канали та розширювати пропускну здатність, що важливо для зростаючих потреб у передачі даних. Багатоканальність та велика пропускну здатність мережі DWDM роблять її незамінною у таких галузях, як хмарні обчислення, потокове відео, фінансові та наукові дослідження.

Ця кваліфікаційна робота має на меті детальне вивчення магістральної мережі DWDM, включаючи її принципи роботи, архітектуру, пристрої та технології, що використовуються. Будуть досліджені основні виклики та перспективи, пов'язані з розгортанням та управлінням мережею DWDM, а також вивчені сучасні тенденції та інновації в цій області. Результати дослідження дозволять зрозуміти потенціал магістральної мережі DWDM і її вплив на сучасну телекомунікаційну інфраструктуру.

Зрештою, розуміння та використання магістральної мережі DWDM стає все важливішим у контексті зростаючих потреб у передачі даних. Ця кваліфікаційна робота пропонує глибоке дослідження та аналіз магістральної мережі DWDM, що сприятиме покращенню розуміння цієї технології та сприяє її подальшому впровадженню і розвитку в сучасних телекомунікаційних мережах.

Мета і завдання дослідження. Основною метою даної кваліфікаційної роботи є детальне вивчення магістральної мережі DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) із застосуванням оптичного мультиплексування. Робота спрямована на розуміння принципів функціонування, архітектури та основних технологій, що використовуються в мережі DWDM. Вона також має на меті вивчення викликів, з якими стикаються при розгортанні та управлінні мережею DWDM, а також оцінку перспектив її використання в сучасній телекомунікаційній індустрії.

Для досягнення поставленої мети вирішуються такі наукові завдання:

1. Вивчити теоретичні основи оптичного мультиплексування та принципи роботи магістральної мережі DWDM.
2. Проаналізувати архітектуру мережі DWDM, включаючи ролі та функції різних компонентів системи.
3. Дослідити технології, використовувані в мережі DWDM, зокрема передавання сигналів на різних довжинах хвиль, ретрансляцію сигналів та виявлення помилок передачі.
4. Вивчити виклики та проблеми, пов'язані з розгортанням та управлінням мережею DWDM, включаючи аспекти щодо надійності, пропускнуої здатності та безпеки.

5. Проаналізувати сучасні тенденції та інновації в галузі магістральних мереж DWDM та їх вплив на розвиток телекомунікаційного сектору.

6. Здійснити оцінку потенціалу та перспектив використання мережі DWDM у сучасній індустрії та інших сферах, таких як хмарні обчислення, потокове відео та VoIP.

Об'єктом дослідження даної кваліфікаційної роботи є магістральна мережа DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing). Дослідження спрямоване на вивчення принципів, архітектури, технологій та викликів, пов'язаних з цією мережею. Об'єктом дослідження є сама мережа DWDM як комплексна система передачі даних, яка використовує оптичне мультиплексування для передачі багатьох каналів одночасно через одне оптичне волокно. Дослідження охоплює як теоретичний аспект, так і аналіз практичного застосування магістральної мережі DWDM в сучасній телекомунікаційній інфраструктурі.

Предметом дослідження даної кваліфікаційної роботи є магістральна мережа DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) та всі аспекти, пов'язані з її функціонуванням, розгортанням та управлінням. Дослідження охоплює вивчення теоретичних основ оптичного мультиплексування, архітектури мережі DWDM, технологій та пристроїв, що використовуються в цій мережі, а також викликів, з якими стикаються при розгортанні та експлуатації DWDM-мережі. Предметом дослідження є також аналіз перспектив та можливостей використання магістральної мережі DWDM в різних галузях, включаючи телекомунікації, хмарні обчислення, потокове відео та наукові дослідження. Дослідження дозволить отримати глибше розуміння та оцінку потенціалу DWDM-мережі, її переваг та викликів у сучасному інформаційному суспільстві.

Для досягнення поставлених цілей дипломної роботи будуть використовуватись наступні **методи дослідження**:

- Аналіз літературних джерел: використання наукових статей, книг, журналів та інших джерел, що стосуються магістральної мережі DWDM, для здобуття теоретичних знань, ознайомлення зі сучасними дослідженнями та практичними аспектами її використання.

- Емпіричні дослідження: збір та аналіз фактичних даних про реалізацію магістральної мережі DWDM, включаючи характеристики пристроїв, архітектуру мережі, використані технології та ефективність передачі даних.
- Моделювання та симуляція: використання спеціалізованого програмного забезпечення для моделювання та симуляції роботи магістральної мережі DWDM з метою вивчення її характеристик, ефективності та оптимізації параметрів.
- Статистичний аналіз: застосування статистичних методів для обробки та аналізу отриманих даних, оцінки ефективності та надійності магістральної мережі DWDM.
- Дослідження реальних випадків застосування: аналіз існуючих магістральних мереж DWDM, їх реалізації та використання в різних галузях, зокрема телекомунікаціях, бізнесі та наукових дослідженнях.

Комбінація цих методів дослідження дозволить отримати комплексне розуміння магістральної мережі DWDM, її принципів роботи, ефективності та потенціалу в сучасних телекомунікаційних системах.

Отримані результати дослідження магістральної мережі DWDM мають значний практичний вплив і наступне практичне значення:

- Покращення ефективності телекомунікаційної інфраструктури: Розуміння принципів та технологій магістральної мережі DWDM дозволяє розробляти та впроваджувати більш ефективні телекомунікаційні системи. Застосування DWDM дозволяє передавати більше даних на одному оптичному волокні, забезпечуючи високу пропускну здатність та ефективне використання існуючої інфраструктури.
- Підвищення швидкості передачі даних: Використання DWDM дозволяє комбінувати багато каналів на різних довжинах хвиль, що дозволяє значно збільшити швидкість передачі даних. Це особливо актуально в контексті зростаючих потреб у високошвидкісному Інтернеті, потоковому відео та хмарних обчисленнях.
- Забезпечення надійності та стійкості мережі: DWDM мережі володіють високою резервуванням та стійкістю до перешкод, так як їх працездатність не залежить від джерел сигналу та оптичних волокон. Це дозволяє підвищити надійність та стійкість мережі, зменшуючи ризик відмов та перерв у передачі даних.

- Розвиток нових послуг та застосувань: Магістральна мережа DWDM відкриває нові можливості для розвитку телекомунікаційних послуг та застосувань. Це створює потенціал для розширення хмарних обчислень, розвитку Інтернету речей (IoT), високоякісного потокового відео та VoIP.

Апробація отриманих результатів. Основні положення роботи доповідалися та обговорювалися на таких конференціях:

- Науково-практична конференція «Проблеми експлуатації та захисту інформаційно-комунікаційних систем», м. Київ, 2023 р.

РОЗДІЛ 1

АРХІТЕКТУРА МЕРЕЖІ DWDM

1.1. Принципи побудови мережі DWDM

DWDM (щільне мультиплексування з розподілом по довжині хвилі) - це метод, який дозволяє додати більше однієї довжини хвилі до одномодового волокна, тим самим збільшуючи пропускну здатність цього шляху передачі на коефіцієнт, що дорівнює кількості доданих довжин хвиль. Оскільки оператори зв'язку стикаються з необхідністю різкого збільшення пропускну здатності мережі, технологія DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) стає важливим інструментом для вирішення цього завдання. DWDM дозволяє одночасно передавати багато незалежних каналів на одному оптичному волокні шляхом розділення сигналів по різних хвильових довжинах. [2]

Завдяки DWDM оператори зв'язку можуть значно збільшити пропускну спроможність своїх мереж, не прокладаючи нові оптичні волокна. Замість цього, вони використовують унікальні хвильові довжини для кожного каналу, що передається по волокну. Кожен канал може мати свою власну хвильову довжину і незалежно передавати дані зі своєю власною швидкістю.

Оператори зв'язку можуть використовувати DWDM для мультиплексування сотень і навіть тисяч каналів на одному оптичному волокні. Це дозволяє значно збільшити потужність і пропускну спроможність мережі без потреби в додаткових фізичних інфраструктурних змінах.

Окрім збільшення пропускну здатності, DWDM також дозволяє ефективно використовувати існуючі ресурси мережі. За допомогою цієї технології, оператори зв'язку можуть забезпечити передачу великих обсягів даних на значно більші відстані, зменшуючи витрати на додаткове волокно та обладнання.

Застосування DWDM також сприяє покращенню надійності мережі. Якщо одне оптичне волокно зазнає пошкодження або відмови, інші канали, що працюють на інших хвильових довжинах, продовжують працювати безперебійно. Це забезпечує високу стійкість і надійність мережі в умовах росту обсягів даних та вимог до безперебійної передачі. [4]

Узагалі, технологія DWDM стала ключовим елементом для масштабування і покращення пропускної спроможності оптичних мереж у сучасному світі зростаючих комунікаційних потреб. Вона дозволяє операторам зв'язку використовувати існуючу інфраструктуру більш ефективно, забезпечуючи швидку та надійну передачу великих обсягів даних. Нині існують системи, які підтримують 160 довжин хвиль на волокно.

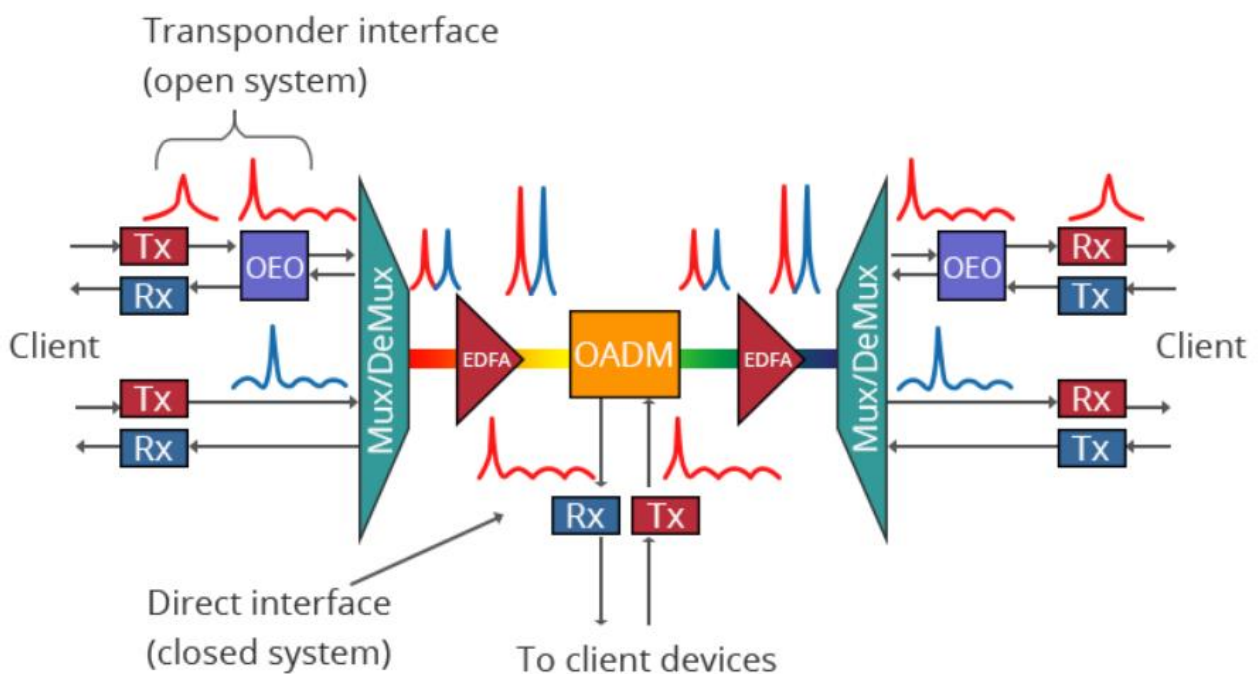


Рисунок 1.1. Устаткування DWDM

Система DWDM зазвичай складається з п'яти, або шести компонентів: оптичних передавачів/приймачів, фільтрів Mux/DeMux DWDM, оптичних мультиплексорів введення/виводу (OADM), оптичних підсилювачів, або регенераторів, транспондерів (перетворювачів довжини хвилі), а також може бути ОХС (Оптичний крос-з'єднувач) [1]:

- Оптичні передавачі / приймачі:** передавачі описуються як компоненти DWDM, оскільки забезпечують сигнали джерела, які потім мультиплексуються. Характеристики оптичних передавачів, що використовуються в системах DWDM, є дуже важливими для проектування системи. Як джерела світла у системі DWDM використовуються кілька оптичних передавачів. Вхідні електричні біти даних (0 або 1) запускають модуляцію світлового потоку (наприклад, спалах світла = 1, відсутність світла = 0). Лазери створюють імпульси світла. Кожен світловий імпульс має точну довжину хвилі (лямбда), виражену у нм. В системі на основі оптичного носія потік цифрової інформації відправляється на пристрій фізичного рівня, вихід якого є джерелом світла (світлодіод або лазер), який взаємодіє з волоконно-оптичним кабелем [1].

- Мультиплексор/демультиплексор DWDM:** об'єднує кілька оптичних сигналів в одне оптичне волокно та розділяє оптичні сигнали. Інакше кажучи, він поділяє оптичні довжини хвиль однією довжиною хвилі на волокно.

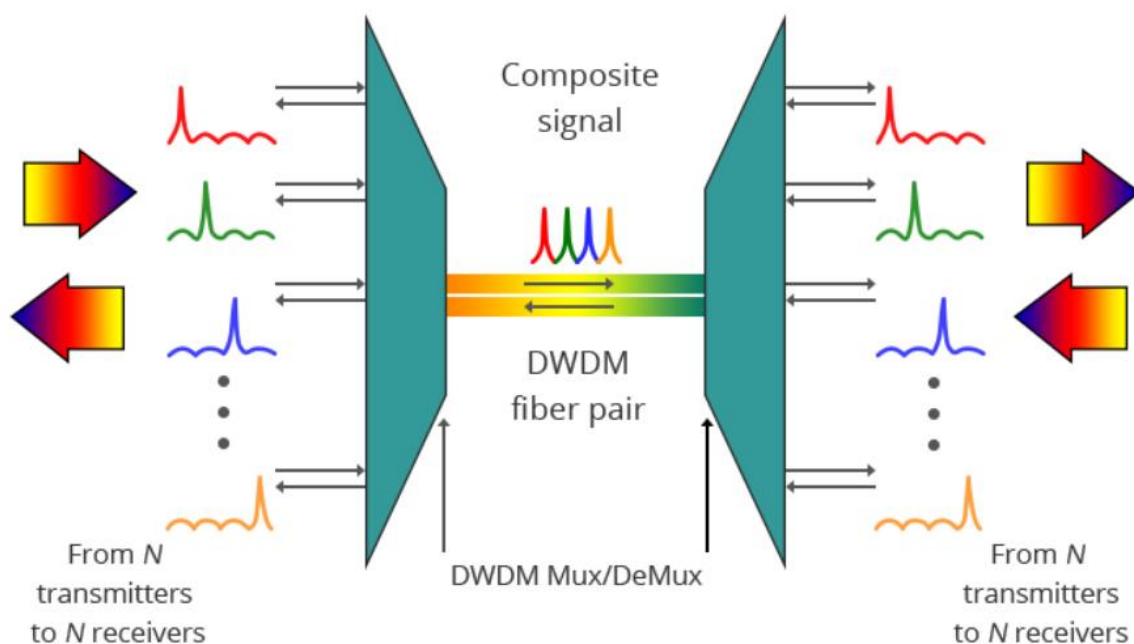


Рисунок 1.2. Устаткування DWDM: Фільтри DWDM Mux / DeMux.

Як правило, компоненти Mux та DeMux (передача та прийом) містяться в одному корпусі. Оптичні пристрої Mux/DeMux можуть бути пасивними. Компонентні сигнали мультиплексуються та демультиплексуються оптично, а не в електронному

вигляді, тому зовнішнє джерело живлення не потрібне. На рисунку вище показано двонаправлену операцію DWDM. N світлових імпульсів N різних довжин хвиль, що переносяться N різними волокнами, об'єднуються DWDM Mux. N сигналів мультимплексується на кілька оптичних волокон. DWDM DeMux приймає складовий сигнал і поділяє кожен із N компонентних сигналів і передає їх кожному волокну [1].

- **Оптичний мультиплексор введення-виводу (OADM):** діє як SADM, за винятком того, що він працює виключно в оптичній області. Він дозволяє розділяти або додавати довжини хвиль до волокна DWDM.

Оптичні мультиплексори OADM мають різну функцію «Add/Drop» у порівнянні з Mux/DeMuxfilters. Ось схема, що показує роботу 1-канального OADM. Цей OADM призначений додавання чи видалення оптичних сигналів з певної довжиною хвилі. Зліва направо вхідний складовий сигнал розбивається на два компоненти. OADM знижує лише червоний потік оптичного сигналу. Знижений сигнал передається до приймача клієнтського пристрою. Оптичні сигнали, що залишилися, які проходять через OADM, мультимплексується з новим сигнальним потоком. OADM додає новий червоний оптичний потік сигналів, який працює на тій же довжині хвилі, що і сигнал, що відкидається. Новий потік оптичного сигналу поєднується з наскрізними сигналами для формування нового складового сигналу [1].

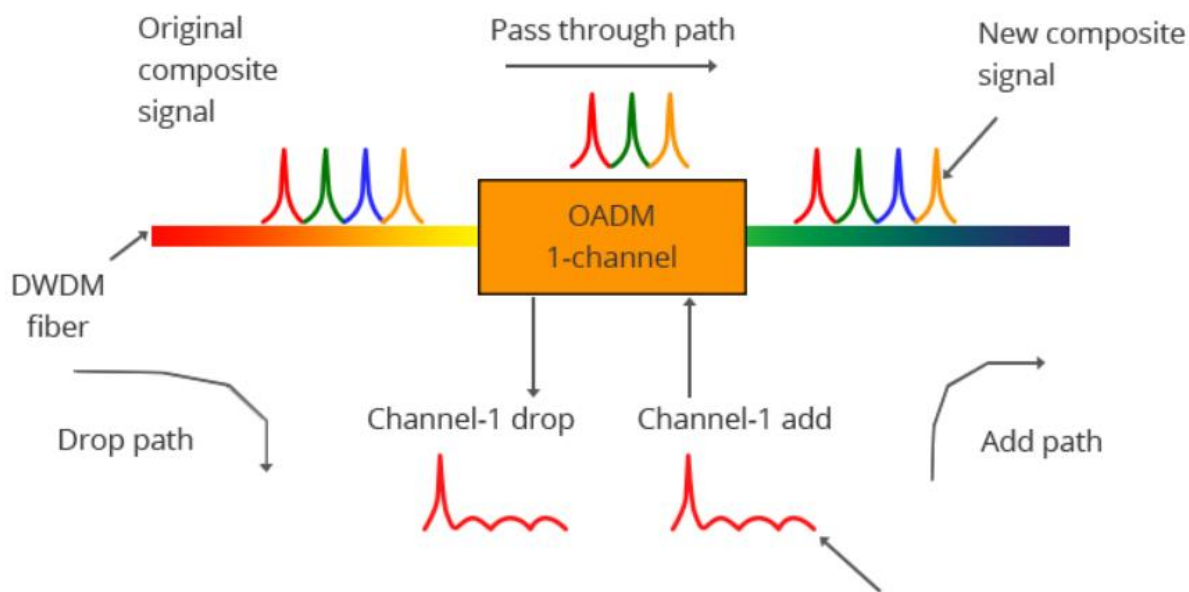


Рисунок 1.3. Устаткування DWDM: Оптичні OADM-модулі (Optical Add Drop Multiplexor).

- **ОХС (Оптичний крос-з'єднувач):** діє як перехресне з'єднання між n - вхідними портами та m - вихідними портами. Він забезпечує ефективне мережне керування довжинами хвиль на оптичному рівні. Функції, які можуть бути виконані, включають моніторинг сигналу, відновлення, підготовку та підготовку.— це більш гнучкий повністю оптичний режим догляду.

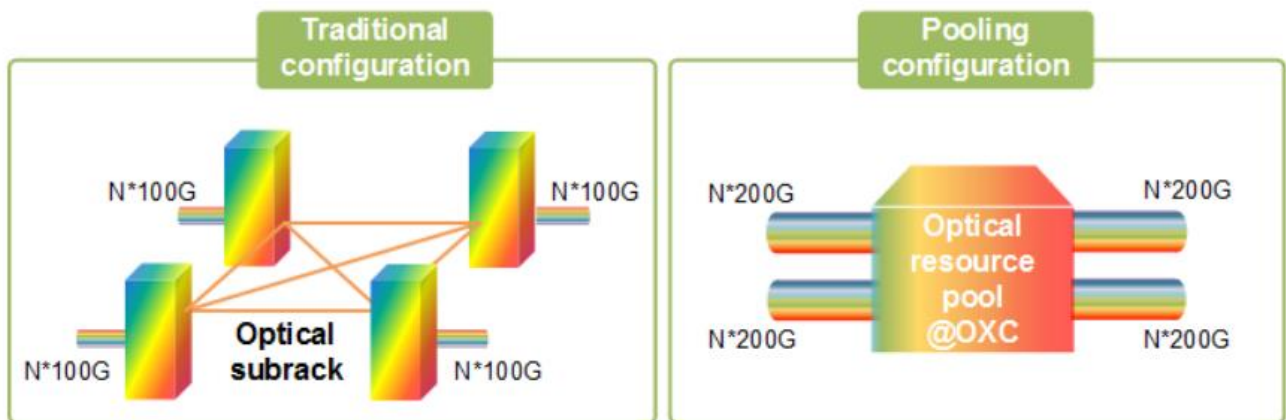


Рисунок 1.4. Устаткування DWDM: **ОХС** (Оптичний крос-з'єднувач)

У порівнянні з традиційним ROADM, заснованим на окремих платах і волоконно-оптичних патч-кордах між платами, ОХС використовує інтегровані з'єднання для створення повністю оптичного комутаційного пулу ресурсів, досягаючи високої-нтегрованих оптичних перехресних з'єднань без волоконно-патчових з'єднань і значно покращуючи ефективність комутації сервісів великої деталізації.

- **Оптичний підсилювач:** Підсилює оптичні сигнали, щоб сигнал міг передаватися на великі відстані.

Оптичні підсилювачі збільшують амплітуду або додають посилення оптичних сигналів, що проходять по волокну, шляхом прямого стимулювання фотонів сигналу додатковою енергією. Вони є «внутрішньоволоконними» пристроями. Оптичні підсилювачі підсилюють оптичні сигнали широкому діапазоні довжин хвиль. Це дуже важливо для системної програми DWDM. Волоконно-оптичні підсилювачі на оптичному волокні, легованому іонами ербію (EDFA), найчастіше використовуються. EDFA, у системах DWDM, іноді називаються DWDM EDFA, порівняно з системами, що використовуються у системах CATV або SDH [1].

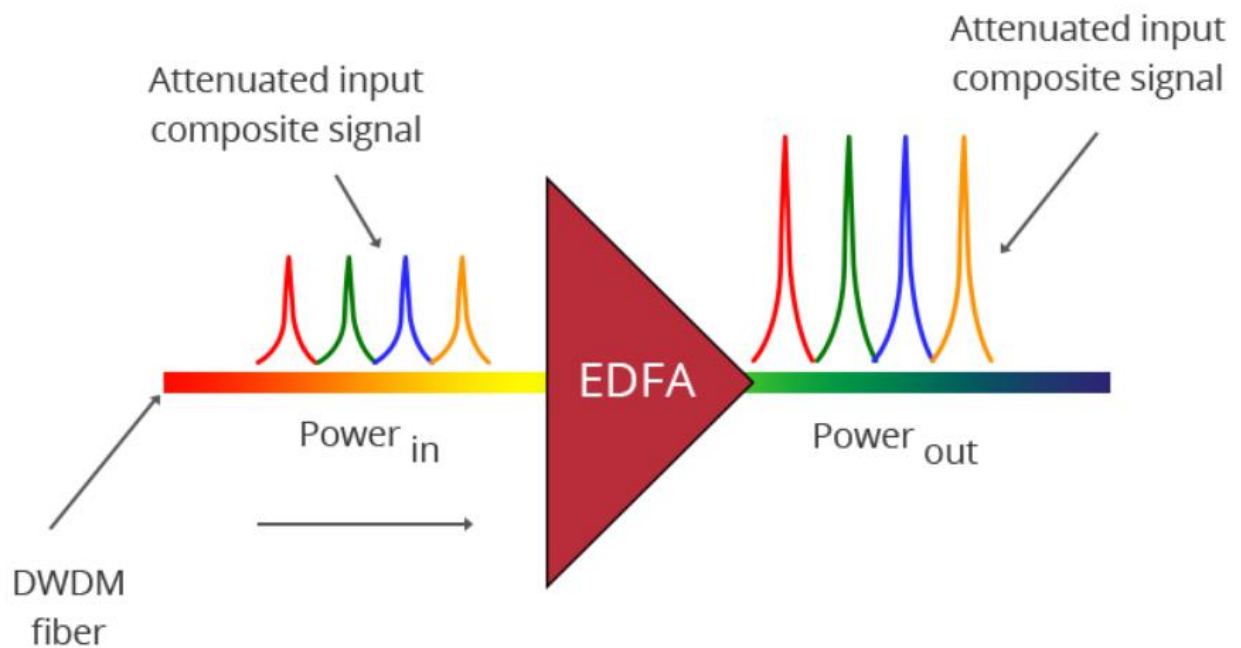


Рисунок 1.5. Устаткування DWDM: Оптичні підсилювачі.

Регенератор: забезпечує функціональність оптичного підсилювача з можливістю повторного спільного використання та повторної синхронізації.

- **Транспондери (перетворювачі довжини хвилі):** транспондери перетворюють оптичні сигнали з однієї вхідної довжини хвилі в іншу вихідну довжину хвилі, що підходить для додатків DWDM. Транспондери є Optical-Electrical-Optical (O-E-O) перетворювачами довжини хвилі. У системі DWDM транспондер перетворює оптичний сигнал клієнта назад на електричний сигнал (O-E), а потім виконує функції 2R (Reamplify, Reshape) або 3R (Reamplify, Reshape та Retime). На рисунку нижче показано операцію двонаправленого транспондера. Транспондер розташований між клієнтським пристроєм та системою DWDM. Зліва направо, приймач відповідає оптичний біт-потік, що працює на одній конкретній довжині хвилі (1310 нм). Транспондер перетворює робочу довжину хвилі вхідного потоку бітів у довжину хвилі, сумісну з ITU. Він передає свій вивід у систему DWDM. На стороні прийому (справа ліворуч) процес скасовується. Приймач-відповідач отримує відповідний ITU-сумісний біт і перетворює сигнали назад у довжину хвилі, використовувану клієнтським пристроєм [1].

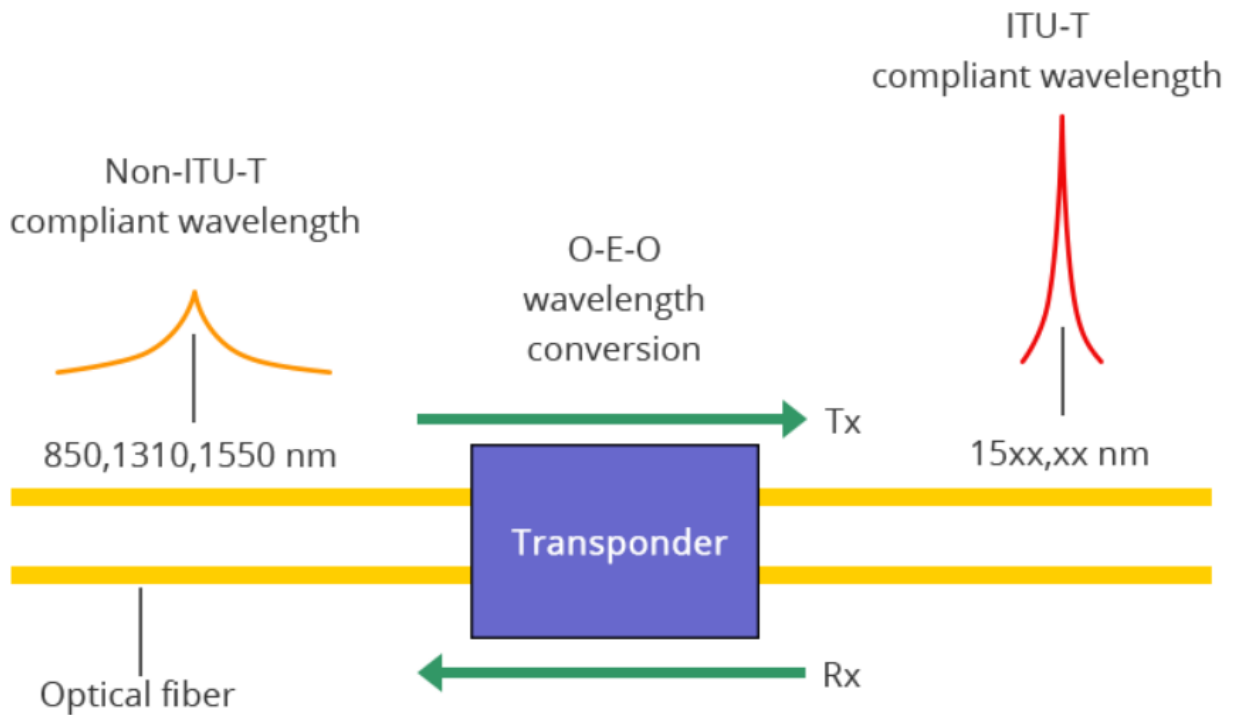


Рисунок 1.6. Устаткування DWDM: Транспондери.

1.2. Робота компонентів системи у мережі DWDM

Система DWDM складається з п'яти - шести основних компонентів, які працюють наступним чином (система DWDM на рисунку 1.1):

1. Транспондер приймає вхідні сигнали у вигляді стандартного одномодового або багатомодового лазерного імпульсу. Вхідні дані можуть надходити з різних фізичних носіїв та різних протоколів та типів трафіку.

2. Довжина хвилі вхідного сигналу приймача відповідає на довжину хвилі DWDM.

3. Довжини хвиль DWDM від транспондера мультиплекуються з сигналами прямого інтерфейсу для формування складового оптичного сигналу, який запускається у волокно.

4. Підсилювач підвищує силу оптичного сигналу під час виходу з мультиплектора.

5. OADM використовується у віддаленому місці для видалення та додавання потоків біт певної довжини хвилі.

6. Додаткові оптичні підсилювачі можуть використовуватися по довжині волокна за необхідності.

7. Попередній підсилювач посилює сигнал перед входом до мультиплексора.

8. Вхідний сигнал демультимплексується окремі довжини хвиль DWDM.

9. Індивідуальні DWDM lambdas або порівнюються з необхідним типом виходу через транспондер, або передаються безпосередньо на клієнтське обладнання [1].

Якщо є оптичний крос з'єднувач у системі DWDM, то базуючись на концепції інтегрованої повністю оптичної комутації між з'єднаннями, система ОХС складається з повністю оптичної об'єднавчої плати, оптичної додаткової плати та оптичної лінійної плати.

Повністю оптична об'єднувальна плата: реалізує оптичні крос-з'єднання на системному рівні в режимі інтегрованого з'єднання. Немає необхідності ручного латання волокна. Користувачам потрібно лише звернути увагу на зовнішні порти [3].

1.3. Повний аналіз і принцип роботи технології DWDM

В даний час технологія DWDM застосовується настільки широко, що ми майже забуваємо, що був час, коли доступ до інформації з іншого боку земної кулі був дорогим та повільним.

DWDM розшифровується як Dense Wavelength Division Multiplexing, технологія оптичного мультиплексування, що використовується для збільшення пропускної спроможності існуючих оптоволоконних магістралей. "Щільність" тут відноситься до того факту, що технологія DWDM підтримує більше 80 окремих довжин хвиль, кожна шириною близько 0,8 нанометра (нм) в одному оптичному волокні.

Технологія DWDM збільшує пропускну здатність мережі та дозволяє ефективно використовувати смугу пропускання. Дані з різних джерел збираються разом по оптичному волокну, в якому кожен сигнал поширюється з однаковою швидкістю власної довжини хвилі світла. На стороні приймача кожен канал демультимплексується вихідне джерело, тому різні формати даних з різною швидкістю передачі даних, такі

як інтернет-дані, дані синхронної оптичної мережі (SONET) і дані асинхронного режиму передачі (ATM), можуть передаватися разом одночасно. по одному оптичному волокну. Можливості передачі DWDM у 4-8 разів вищі, ніж у TDM (мультиплексування у часовій області), і тут для підвищення потужності сигналу використовуються EDFA (оптичний підсилювач із домішкою ербію). Сигнал може передаватися на відстань понад 300 км. до регенерації [5].

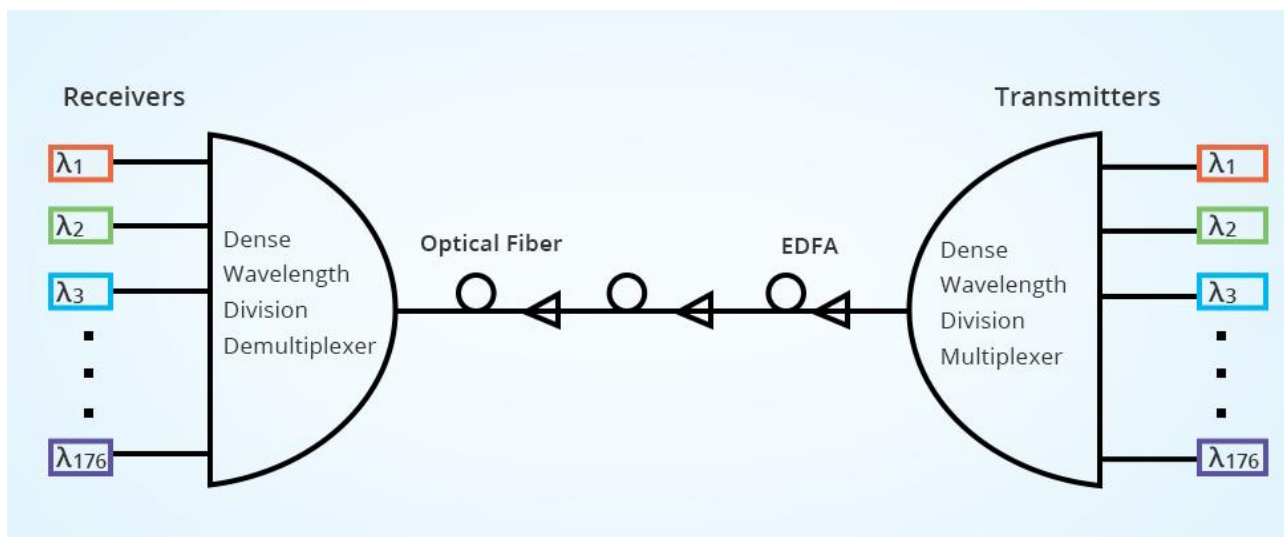


Рисунок 1.7. Принцип роботи технології DWDM

Додатки, де може використовуватися технологія DWDM:

- DWDM може збільшити пропускну здатність і служити як резервна смуга пропускання без прокладання нових волокон, тому вона ідеально підходить для далеких телекомунікаційних послуг.
- Технологія DWDM також може використовуватися в різних мережах, таких як сенсорні мережі, віддалені радіолокаційні мережі, телеспектроскопічні мережі керування технологічними процесами та багато інших.
- Використовуючи лише два волокна, можна побудувати 100% захищене кільце з 16 окремими сигналами зв'язку, використовуючи термінали DWDM, оскільки ці кільця є самовідновними.
- Щоб задовольнити попит у промисловій базі, що швидко зростає, мережа DWDM може використовуватися для існуючих заводів з виробництва тонкого волокна, оскільки ці заводи не можуть підтримувати високі швидкості передачі даних [5].

Переваги технології DWDM:

- Прозорість. Оскільки архітектура DWDM заснована на фізичному рівні, вона може прозоро підтримувати як TDM , так і формати даних, такі як ATM , Gigabit Ethernet , ESCON та Fibre Channel з відкритими інтерфейсами на загальному фізичному рівні.
- Масштабованість. Мережа DWDM може використовувати достаток темного волокна у багатьох міських та корпоративних мережах, щоб швидко задовольнити попит на пропускну здатність на каналах «точка-точка» та на ділянках існуючих кілець SONET/SDH.
- Динамічна ініціалізація. Швидка, проста та динамічна ініціалізація мережевих підключень дає провайдерам можливість надавати послуги з високою пропускну здатністю протягом кількох днів, а не місяців.

1.4. Магістральні мережеві структури DWDM

Мережеві структури на основі DWDM можна розділити на три класи: прості DWDM- канали «точка-точка», DWDM -маршрутизація по довжинах хвиль з електронним TDM , магістральна мережа з комутацією/маршрутизацією та повністю оптична DWDM -мережа [6].

1.4.1. Простий двоточковий канал DWDM

У цій архітектурі DWDM електронними вузлами можуть бути комутатори SONET/SDH, інтернет-маршрутизатори, комутатори ATM або мережні вузли будь-якого іншого типу. Вузол DWDM зазвичай складається з пари мультиплексорів/демультиплексорів довжин хвиль (пристрою світлової решітки) та пари оптико-електричних/електрооптичних перетворювачів. Кожен канал довжини хвилі використовується для передачі однієї потоку даних. Мультиплексор довжин хвиль DWDM поєднує всі канали світлових хвиль в один світловий пучок і накачує його в одне волокно. Комбіноване світло кількох довжин хвиль поділяється демультиплексором на прий-

мальному кінці. Сигнали, що передаються кожним каналом довжини хвилі, потім перетворюються назад в електричну область через перетворювачі О/Е (фотодетектори). Таким чином, канал з однією довжиною хвилі може бути еквівалентний традиційному волокну, в якому передачі інформації використовується один світловий пучок. Варто відзначити, що канали довжини хвилі в одному волокні можуть використовуватися для обох напрямків або використовуються два волокна з кожним для одного напрямку.

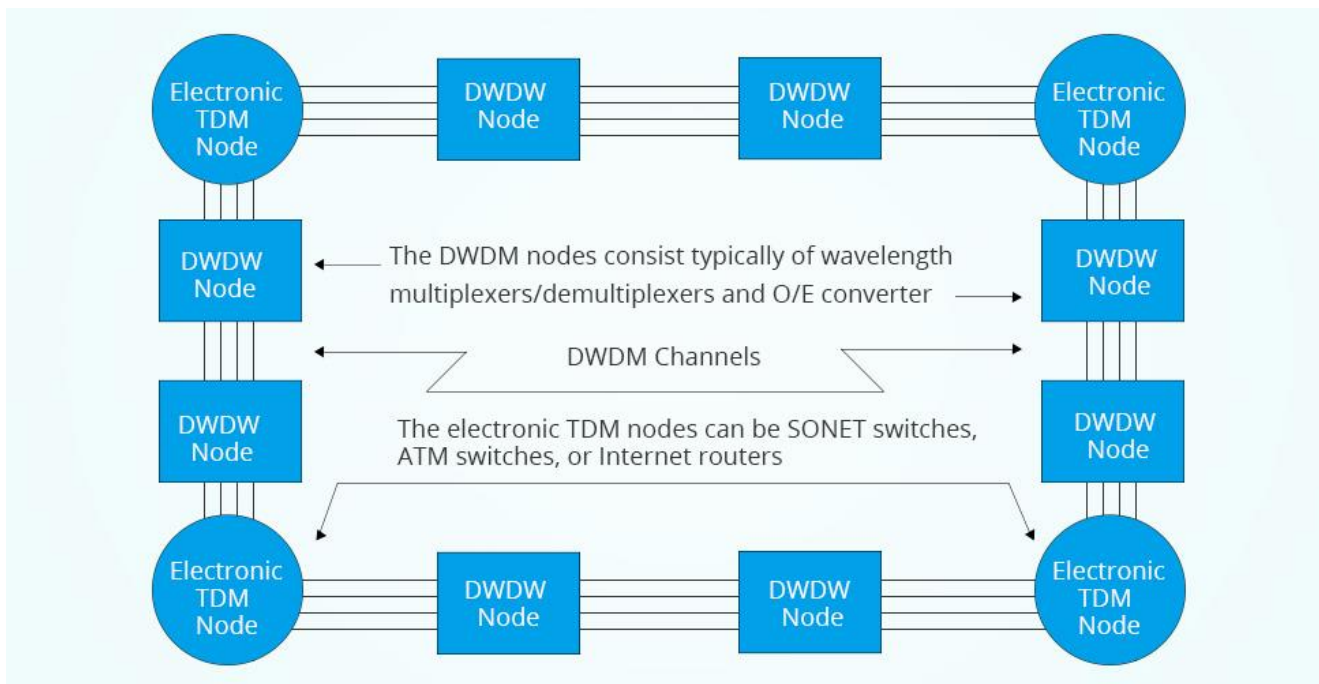


Рисунок 1.8. Канал DWDM «крапка-крапка»

1.4.2. Маршрутизація довжин хвиль із електронним TDM

У цій структурі маршрутизатори довжин хвиль використовуються для налаштування або переналаштування топології мережі в оптичній області, а мережні вузли TDM використовуються для виконання мультиплексування та комутації в електричній області. Ця комбінована оптична та електрична мережева архітектура може застосовуватися в SONET/SDH, в якій електричні мережеві вузли TDM будуть комутаторами SONET, або в Інтернеті, в якому електричні мережеві вузли TDM будуть інтернет-маршрутизаторами. Цю архітектуру також можна використовувати у мережі ATM, де вузли електричної мережі TDM будуть комутаторами ATM [7].

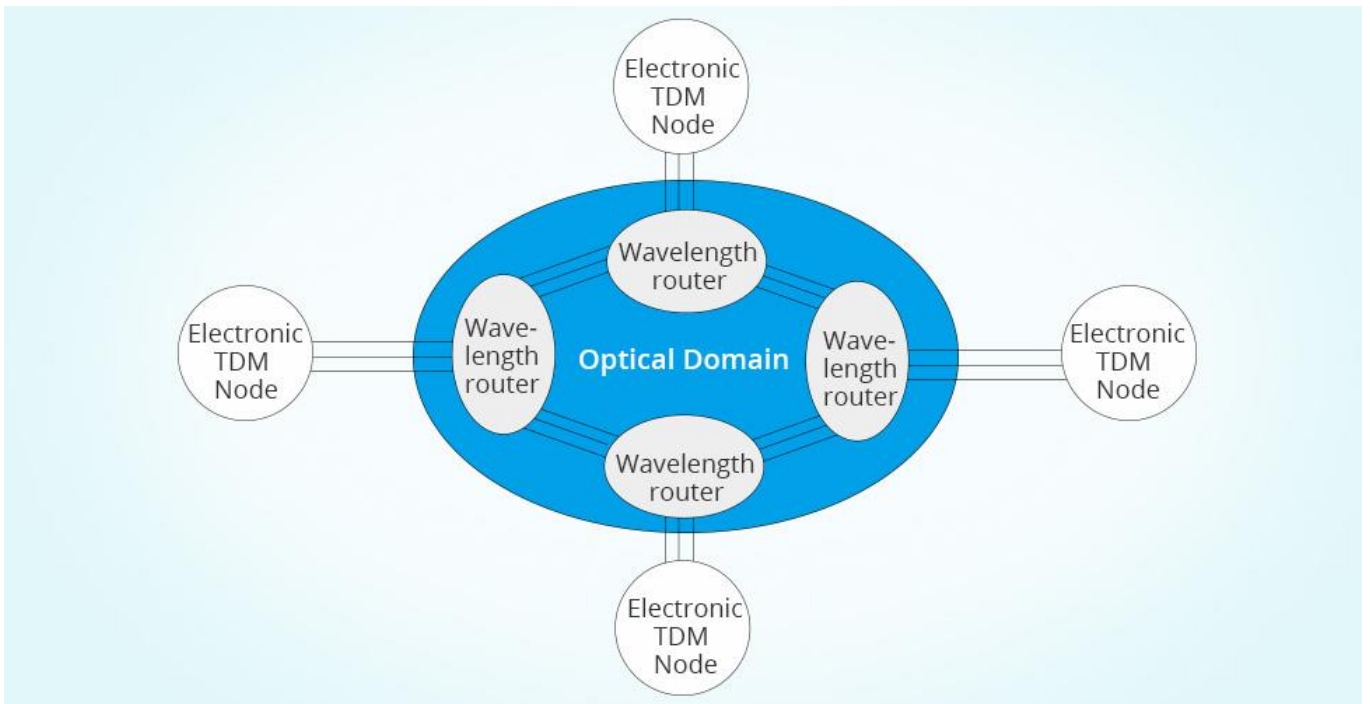


Рисунок 1.9. Маршрутизація довжин хвиль із електронним TDM

1.4.3. Повністю оптична мережа DWDM

Як видно, електричні вузли TDM/комутації можуть бути будь-якого типу, наприклад, комутатори SONET/SDH, інтернет-маршрутизатори та комутатори ATM. Це вказує на те, що повністю оптичні вузли TDM у повністю оптичній архітектурі можуть бути оптичними комутаторами SONET/SDH або повністю оптичними комутаторами ATM або повністю оптичними інтернет-маршрутизаторами. Різні типи повністю оптичних вузлів TDM/комутації також можуть знаходитися в одній мережі за умови реалізації перетворень протоколів. Фактично, оптичний вузол TDM/комутації та маршрутизатор довжин хвиль на одному сайті маршрутизації можуть бути об'єднані в один повністю оптичний вузол комутації, який не тільки пересилає пакети за допомогою мультиплексування у часовій області, але й інтелектуально обирає світловий шлях відповідно до доступності та навантаження трафіку [7].

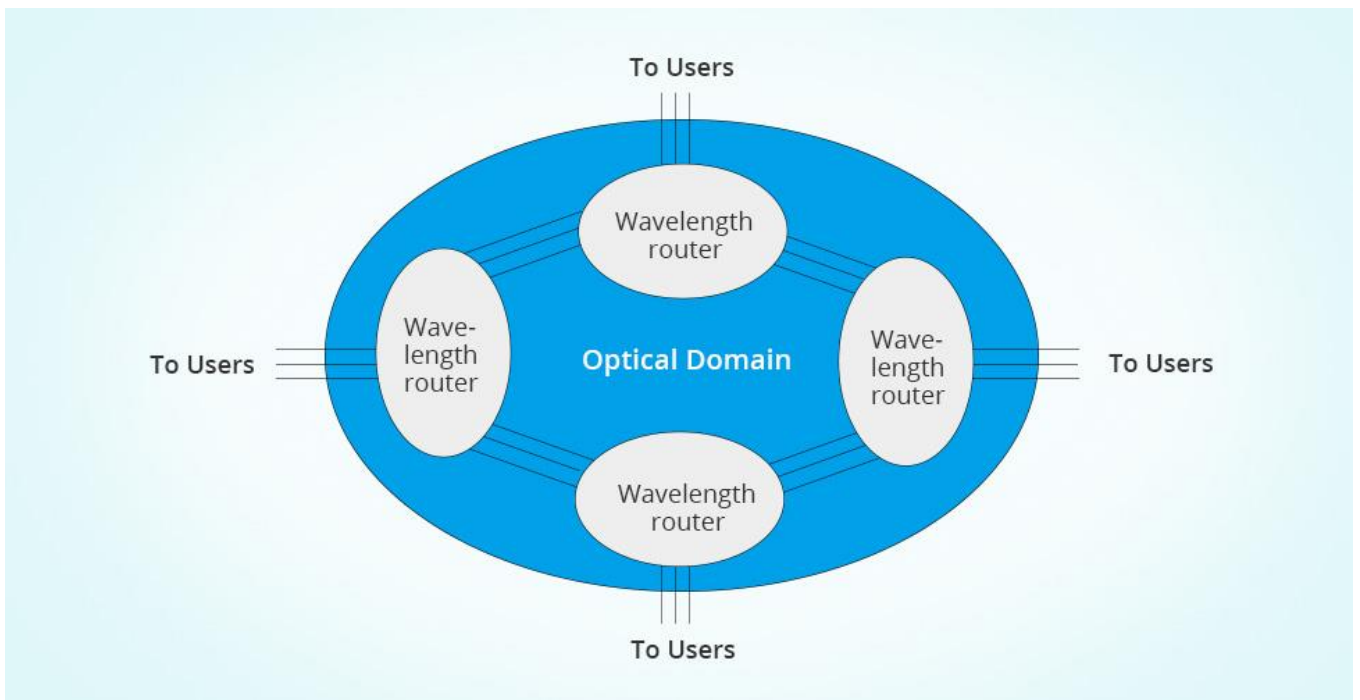


Рисунок 1.10. Повністю оптична мережа DWDM

1.5. Розгортання DWDM через мережу CWDM

Раніше було обговорено технологію DWDM та мережу DWDM. А CWDM використовується як популярніша недорога точка входу для багатьох клієнтів. Однак у міру зростання потреби у пропускній здатності та збільшення швидкості обслуговування виникає потреба у збільшенні пропускної спроможності існуючих мереж CWDM. Принцип розгортання рішення DWDM мережі CWDM полягає в тому, що довжини хвиль DWDM фактично знаходяться в діапазоні довжин хвиль CWDM, як показано на рисунку 1.11. Таким чином, мережа DWDM може бути підключена до мережі CWDM каналами CWDM 1470 нм, 1490 нм, 1510 нм, 1530 нм, 1550 нм, 1570 нм, 1590 нм та 1610 нм. У більшості випадків канали 1530 нм та 1550 нм пропонуються для комбінації систем CWDM та DWDM для збільшення пропускної спроможності існуючої оптоволоконної мережі CWDM [7].

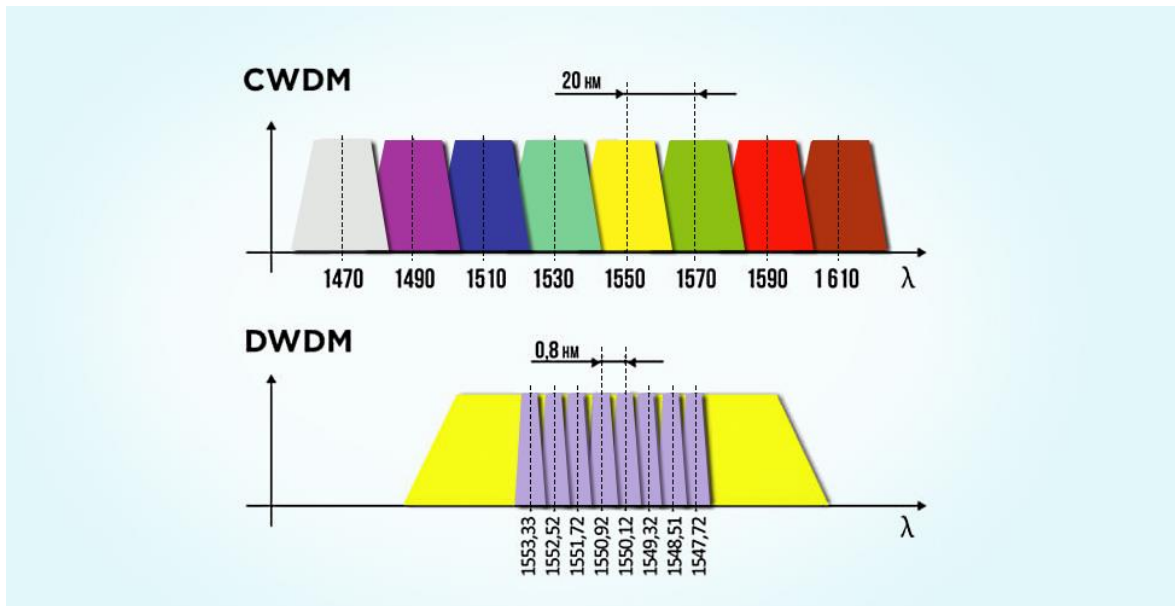


Рисунок 1.11. Довжини хвиль DWDM та CWDM

Для об'єднання довжин хвиль DWDM із довжинами хвиль CWDM використовуються як CWDM MUX/DEMUX, так і DWDM MUX/DEMUX. На наступному рисунку показані способи підключення для гібридних CWDM та DWDM з використанням каналу 1550 нм. На обох кінцях оптоволоконної лінії розгорнуто CWDM MUX/DEMUX та DWDM MUX/DEMUX з відповідними довжинами хвиль. Підключіть лінійний порт DWDM MUX/DEMUX до порту каналу 1530/1550 нм CWDM MUX/DEMUX, довжини хвиль DWDM можна додати до існуючої мережі CWDM [8].

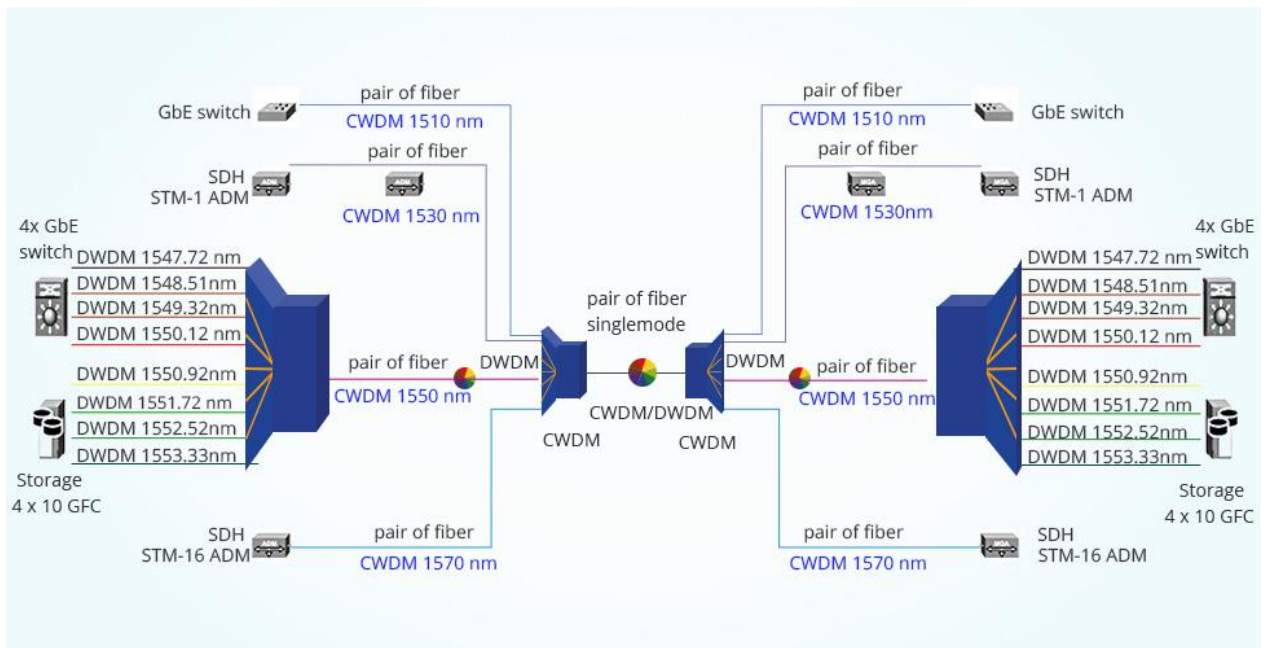


Рисунок 1.12. Створення DWDM у мережі CWDM

Довжини хвиль слід ретельно враховувати при виборі CWDM MUX/DEMUX та DWDM MUX/DEMUX. Як згадувалося вище, для гібриду CWDM та DWDM пропонується використовувати довжини хвиль 1530 нм та 1550 нм. На наступному рисунку показані рекомендовані довжини хвиль для гібридного CWDM та DWDM. Якщо використовуватиметься порт 1530 нм, порти каналу DWDM MUX/DEMUX пропонуються в діапазоні від 1529,55 нм до 1536,61 нм. Для порту 1550 нм діапазон портів каналу DWDM MUX / DEMUX пропонується в діапазоні від 1545,32 нм до 1557,36 нм [9].

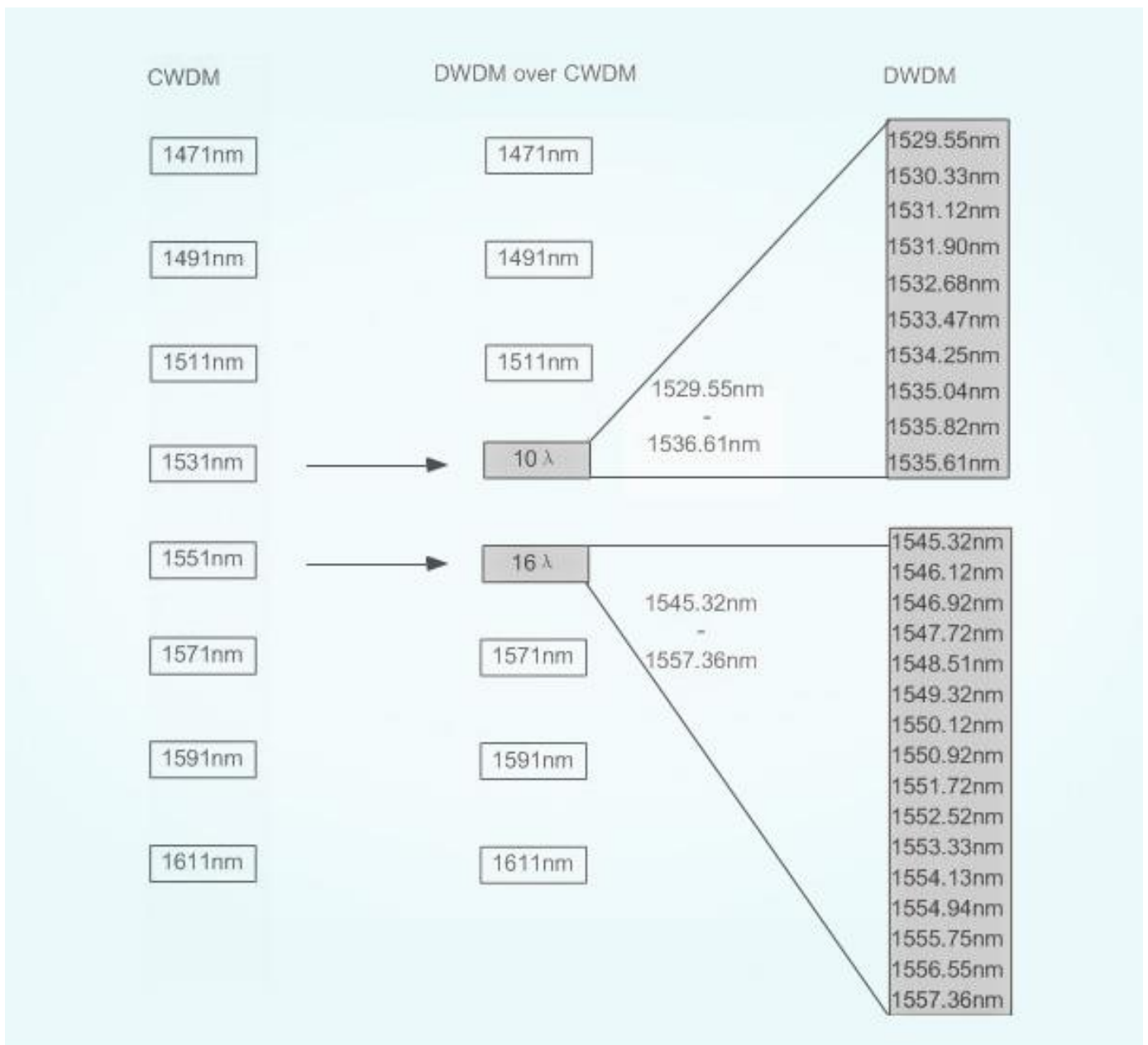


Рисунок 1.13. Рекомендовані довжини хвиль для CWDM та DWDM Hybrid

1.6. Практичні аспекти розгортання мережі DWDM

Хоча більшість встановлених волокон, таких як волокно SM і NZ - DSF, можуть підтримувати мережу DWDM, все ще існують деякі типи старих волокон, які не підходять для використання DWDM. Тому, якщо потрібно розгорнути нове волокно, виберіть те, що підтримує майбутнє зростання, особливо коли системи DWDM будуть розширюватися в нові діапазони довжин хвиль з вищими швидкостями передачі даних. [11]

Оскільки технологія DWDM здатна підтримувати значне зростання вимог до смуги пропускання з часом без модернізації вишкового навантажувача, вона є довгостроковим вкладенням. Як двоточкова, і кільцева топології можуть бути основою майбутнього зростання. Планування має передбачати гнучке додавання вузлів задоволення мінливих вимог клієнтів.

Потрібен комплексний інструмент управління мережею для виділення ресурсів, моніторингу продуктивності, виявлення та ізоляції збоїв, а також вжиття заходів щодо виправлення становища. Такий інструмент повинен бути заснований на стандартах (наприклад, SNMP) і здатний взаємодіяти з існуючою операційною системою.

Розробка стратегії захисту - це складний процес, в якому необхідно враховувати безліч міркувань. Є як тверді провали, так і м'які провали. До перших слід звертатися за допомогою резервування на рівні пристрою, компонента або оптоволокна. Останнє має вирішуватись системою за допомогою інтелектуального моніторингу та управління довжиною хвилі. Стратегії захисту та живучості залежать від типу служби, архітектури системи та мережі. У багатьох мережах вони також залежить від транспортного протоколу [10].

1.7. Історична еволюція та майбутні тенденції технології DWDM

Як показано на рисунку 1.14. до середини 1990-х років з'явилися щільні системи WDM (DWDM) з кількістю каналів від 16 до 40 і рознесенням від 100 до 200 ГГц. До

кінця 1990-х років системи DWDM розвинулися настільки, що вони були здатні підтримувати від 64 до 160 паралельних каналів, щільно упакованих з інтервалами 50 або навіть 25 ГГц. Можна бачити, що з розвитком технологій відбувається збільшення кількості довжин хвиль, що супроводжується зменшенням відстані між довжинами хвиль. Поряд із збільшенням щільності довжин хвиль системи також покращили гнучкість конфігурації завдяки функціям додавання та видалення та можливостей управління.

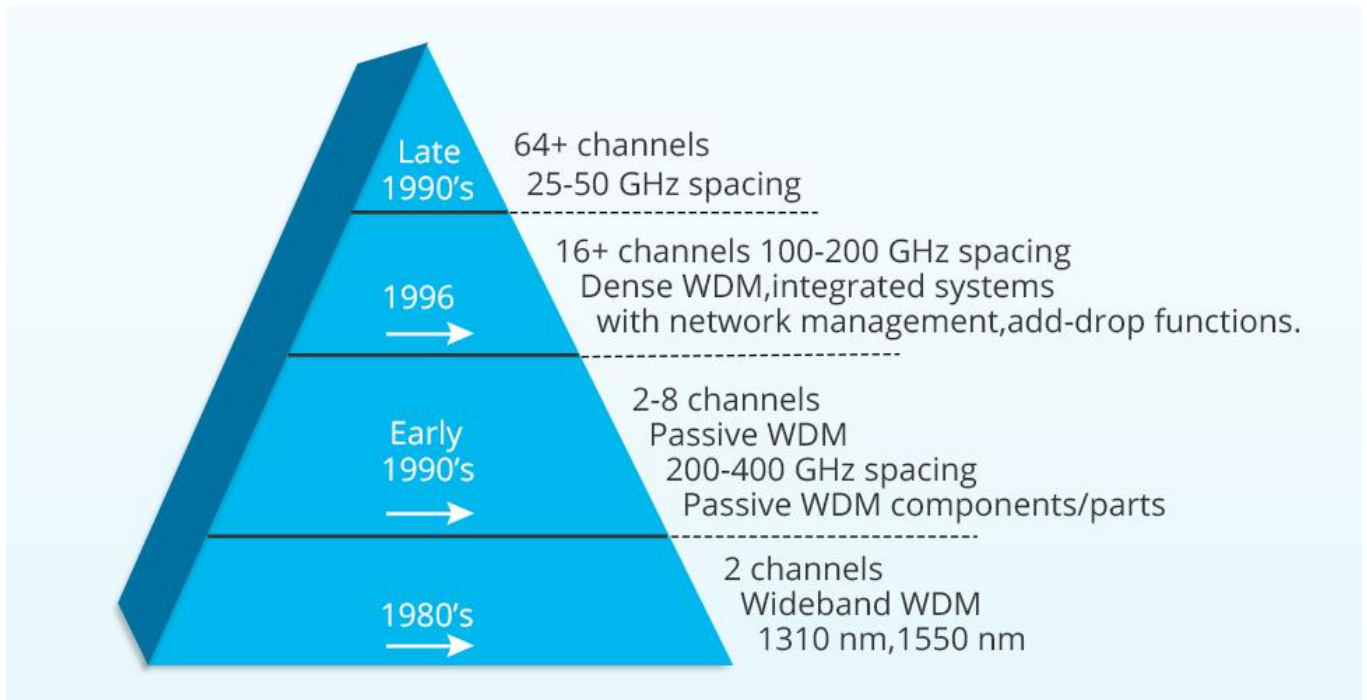


Рисунок 1.14. Еволюція технології DWDM

Останні інновації в транспортних системах DWDM включають змінні та програмно налаштовані прийомопередавальні модулі, здатні працювати на 40 або 80 каналах. Це значно знижує потребу в дискретних запасних приймачів, коли кілька модулів приймачів, що настроюються, можуть обробляти весь діапазон довжин хвиль. У майбутньому технологія DWDM продовжить забезпечувати пропускну спроможність великих обсягів даних. З розвитком технологій стане можливим ближча відстань між довжинами хвиль збільшення пропускну спроможності систем. Але DWDM також виходить за рамки транспорту та стає основою повністю оптичних мереж із виділенням довжини хвилі та захистом на основі комірчастої мережі. І цій еволюції сприятиме перемикання на фотонний шар[10].

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

У цьому розділі була проведена детальна аналітична робота щодо архітектури мережі DWDM. Було розглянуто основні принципи побудови такої мережі, а також визначено компоненти, які зазвичай складають систему DWDM.

Виявлено, що система DWDM включає оптичні передавачі/приймачі, фільтри Mux/DeMux DWDM, оптичні мультиплексори введення/виводу (OADM), оптичні підсилювачі або регенератори, транспондери (перетворювачі довжини хвилі), а також може бути використаний оптичний крос-з'єднувач (OXC).

Було проведено аналіз і принцип роботи технології DWDM, виявлено, що вона дозволяє передавати багато незалежних каналів на одному оптичному волокні шляхом розділення сигналів по різних хвильових довжинах. Це забезпечує значне збільшення пропускної спроможності мережі без необхідності прокладання нових волоконних ліній.

Також було розглянуто додатки технології DWDM, де вона може бути використана, зокрема в магістральних мережевих структурах, таких як простий двоточковий канал DWDM, маршрутизація довжин хвиль із електронним TDM, повністю оптична мережа DWDM, розгортання DWDM через мережу CWDM тощо.

Також було звернуто увагу на практичні аспекти розгортання мережі DWDM, де було розглянуто важливі етапи та кроки, які необхідно виконати для успішного впровадження технології DWDM в мережі.

У розділі також була висвітлена історична еволюція технології DWDM, починаючи з її появи і розвитку протягом останніх десятиліть. Були також вказані майбутні тенденції, що вказують на подальший розвиток технології DWDM та її важливість у швидкорозвиваючихся мережах зі зростаючими комунікаційними потребами.

РОЗДІЛ 2

РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ DWDM

2.1. Розрахунок ВОЛЗ і вибір кабелю для лінії зв'язку

Відстань між пунктами планованої лінії зв'язку трасою вздовж дороги:

- Київ – Житомир – 130 км;
- Житомир – Рівне – 180 км;
- Рівне – Луцьк – 70 км.

Загальна довжина лінії, що проектується, становить 380 км.

Критерії вибору типу оптичного кабелю визначаються застосовуваною технологією DWDM, що планується пропускною здатністю лінійного тракту лінії зв'язку. При виборі повинні враховуватися умови та місце прокладки, наявність по трасі джерел потужних електромагнітних полів та різних небезпек механічних пошкоджень.

При виборі конструкції кабелю враховується низка аспектів, таких як:

- відповідність кабелю, відповідно до вимог Міжнародного союзу електрозв'язку, сектору стандартизації телекомунікацій ITU-T, а також Міжнародної електротехнічної комісії ІЕС, та комітету з електронних компонентів СЕСС у складі групи CENELEC;

- відповідність конструкції кабелю та волокна необхідним монтажним та експлуатаційним характеристикам. При визначенні розрахункової пропускної спроможності оптичного волокна потрібно враховувати втрати енергії сигналу у волокні та вимоги щодо їх зміни. Ці характеристики повинні задовольняти найбільш жорсткі умови, які мають місце при експлуатації;

- кабель має бути зручним у використанні під час монтажу. Він повинен бути досить гнучким, повинен мати колірне позначення волокон, мати малу питому вагу, достатній опір до вигинів, зовнішнього тиску і розтягування, забезпечувати швидкий монтаж і достатню надійність в експлуатації;

- зварювання та загортання в кінцеві пристрої волокон кабелю повинно бути технологічним, безпечним і зручним. Практична колірна ідентифікація волокон кабелю спрощує процедуру зварювання стиків та дозволяє підвищити якість операції. Зовнішні захисні оболонки та покриття кабелю повинні легко зніматися при кінцевій обробці. Важливим аспектом є стан скола волокон, можливість припасування поверхні торця волокна, а також захист місця зварювання;

- кабель повинен мати зручне маркування волокон, що дозволяє прискорити ремонт та скорочує час відновлення кабельних магістралей.

При виборі типу оптичного волокна кабелю необхідно керуватися в першу чергу технічними умовами на обладнання передачі даних, оскільки головне завдання волокна реалізується за умови передачі даних з мінімально можливими втратами і спотвореннями сигналу. Враховуючи технічні вимоги, що визначаються відстанню, швидкістю та технологією передачі даних DWDM, найбільш придатними для лінії зв'язку є волокна з ненульовою зміщеною дисперсією виду Non-Zero Dispersion-Shifted Fiber - NZDS, або типів TrueWave (RS) і Leaf, що відповідають вимогам стандарту ITU-T G.657.A1. Виробництво волокон таких видів здійснюється компаніями Corning Glass, Lucent Technologies та Fujikura.

NZDS волокна (виду Non-Zero Dispersion Shifted) призначені для використання в DWDM системах і мають властивість придушення ефекту чотирихвильового змішування в волокні. Дисперсія таких волокон є досить низькою для забезпечення можливості передачі STM-64 великі відстані сигналів зі швидкістю 10 Гбіт/с. NZDS волокна сумісні з DWDM системами, а також з високошвидкісними Time Domain Multiplication (TDM) системами, і дозволяють збільшувати пропускну здатність волокна одночасно за рахунок збільшення числа каналів, що передаються, і за рахунок збільшення швидкості передачі в кожному каналі.

Для наземних ліній зв'язку DWDM можна застосовувати нові моделі волокон NZDS з позитивною дисперсією (+D NZDS) і великою площею модової плями. Вони володіють малими втратами, малою величиною PMD і хорошими геометричними параметрами, і ідеально підходять для систем DWDM, що працюють в смузі ербієвого підсилювача діапазону C [12].

В даний час промисловістю випускаються системи DWDM з пропускною спроможністю близько 1.6 Тбіт/с або 160 каналів по 10 Гбіт/с. Досягнута гранична пропускна здатність лінії передачі на одному волокні з використанням технології DWDM становить близько 100 Тбіт/с і обмежується нелінійними ефектами в лінії зв'язку.

Вибраний кабель: ВО універсальний кабель 1x4 E9/125 (SMF-28® Ultra), моно-туб, електричний захист, LSZH™ / FRNC, FREEDM™ Gel-Free, Corning містить волокно стандарту ITU-T G.657.A1 і відповідає всім вимогам, перерахованим вище. Показник дисперсії становить 17 ps/nm.

- A - LSZH™ оболонка, чорна
- B - Ріпкорд
- C - Волокна
- D - Буферна трубка, суха; з 4 волокнами
- E - Діелектричні елементи міцності



Рисунок 2.1. ВО універсальний кабель 1x4 E9/125 (SMF-28® Ultra)

Безгелевий (багатоцільовий кабель) призначений як для зовнішнього, так і для внутрішнього використання має наступні переваги:

- **Суха, безгелева трубка**

Потребує мінімального очищення, заощаджуючи близько 20 хвилин на розгалуження, зрощування відбувається швидше і точніше, що призводить до надійних з'єднань із стабільно низьким рівнем втрат

- **Повністю діелектрична конструкція кабелю**

Не потребує заземлення або склеювання

- **Ламіновані нитки зі скловолокна, що набухає**

Покращена стійкість до гризунів і поздовжній захист від води

- **Стійкий до ультрафіолету та мікробів**

Можна прокладати в каналах або трубопроводах

- **Малий діаметр і радіус вигину**

Легкий монтаж в місцях з обмеженим простором

- **Кольорове кодування волокон відповідно до Telcordia-Bellcore**

Легка ідентифікація окремих волокон

- **Технологія водяного блокування**

Застосування на відкритому повітрі (OSP)

- **Безкремнієва зовнішня оболонка**

Оболонка кабелю не містить шкідливих для лакофарбового покриття структур

- **Вогнестійкий**

LSZH/TM/FRNC

2.2. Визначення траси для прокладання кабелю

Лінія зв'язку DWDM, що проектується, проходитьиме від м. Києва в західному напрямку до м. Луцьк вздовж автомобільної дороги. Траса для прокладання кабелю вибирається з урахуванням наступних основних умов:

- мінімально можливої протяжності між кінцевими пунктами;
- зниження необхідного обсягу робіт під час будівництва лінії зв'язку;
- щодо створення можливостей для застосування ефективних засобів укрупнення та механізації будівельних робіт;
- за умовами обслуговування лінії із найменшими витратами.

При розробці проекту лінії зв'язку доцільно розглянути лише один варіант прокладання кабелю в ґрунті, так як несучих підстав для інших варіантів немає. Технології прокладання в ґрунті можуть бути різними.

Необхідно врахувати невдалий досвід експлуатації оптичного кабелю, прокладеного у пластмасовій трубі. В екстремальних умовах, герметичність стиків таких труб дуже швидко порушуються і їх стики виявляються негерметичними, в них потрапляють зливи, талі і ґрунтові води, а в зимовий час у трубах утворюється крига,

яка при розширенні на морозі ушкоджує та роздавлює кабель. В результаті додатково має місце проникнення труби піску через пошкоджені стики. Ремонт пошкодженої ділянки лінії зв'язку у цих умовах не може. Заміна кабелю в трубі в зимових умовах є трудомістким та вартісним заходом. [13]

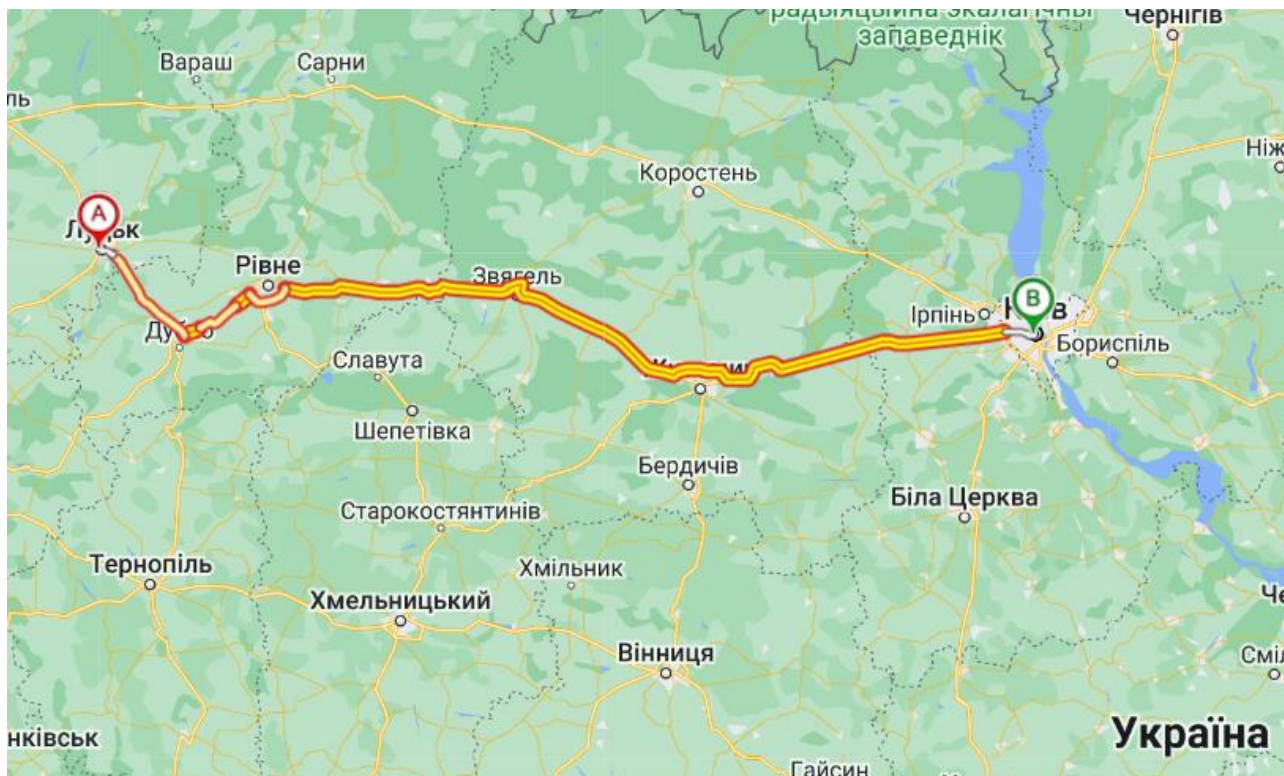


Рисунок 2.2. Проектована лінія зв'язку DWDM

В результаті цих впливів час заміни пошкодженої ділянки виявляється набагато більше, ніж при відновленні пошкодженої ділянки підвісної лінії, і значно дорожче. Найкращі результати демонструють броньовані кабелі, призначені для прокладання в ґрунті. Але й у цьому випадку відновлення аварійної ділянки оптичного кабелю також є складною проблемою. Точна локалізація та визначення місця ушкодження оптичного кабелю не завжди є можливою, і часто доводиться розкривати значні ділянки кабелю. Таким чином, у лініях зв'язку на основі броньованих підземних кабелів обриви волокон виникають не часто, але відновлення потребує більше часу, а також є проблеми в експлуатації.

Загальна довжина траси становить 380 км. Прокладання кабелю в межах міст Житомир та Рівне має проводитись у наявній там кабельній каналізації.

Враховуючи перелічені умови, кабельну трасу ВОЛП, що проектується, планується прокласти вздовж автомобільної дороги в ґрунті.

Іншим варіантом планування траси є дистанційне виділення каналів зв'язку з використанням пасивного вузла вводу/виводу DWDM на відгалуженні дороги у бік Дубно.

Таким чином, необхідно порівняти два варіанти прокладання кабелю. Варіанти відрізняються схемою підключення пункту зв'язку у м. Дубно. За першим варіантом траса магістрального кабелю прокладається через Дубно. Довжина траси кабелю становитиме 404 км.

За другим варіантом траса магістрального кабелю прокладається повз м. Дубно, вздовж автомобільної дороги, із застосуванням пасивного вузла вводу/виводу каналів зв'язку у м. Дубно. Довжина траси кабелю становитиме 380 км.

У зв'язку з тим, що траса для прокладання ОК вибирається з урахуванням таких умов:

- найменшої довжини кабелю між кінцевими пунктами;
- Виконання меншого обсягу будівельних робіт;
- за наявності можливості використання продуктивних методів та найбільш ефективних засобів механізації будівельних робіт;
- за зручністю обслуговування з найменшими витратами, вибирається варіант

№ 2, який має:

- мінімальну довжину кабелю між кінцевими пунктами;
- менший обсяг робіт під час будівництва;
- Зручність обслуговування з меншими витратами.

2.3. Розрахунок необхідної кількості та пропускної спроможності системи

Сучасні стандарти та вимоги до інформаційного забезпечення громадян значною мірою змінилися останніми роками. Особливою групою інформаційних технологій є технології мереж оптичного доступу OAN (Optical Access Networks). Вони до-

звляють надавати практично будь-які з відомих послуг та сервісів абонентського доступу. Узагальнюючим позначенням технологій оптичного доступу термін FTTx, що означає доведення оптичного волокна до об'єкта. Це позначення FTTx буквально перекладається з англійської як "волокно до ..." (Fiber-To-The-x). Технології оптичного волокна до квартири абонента дозволятимуть надавати пакет сервісів зв'язку у такому вигляді:

- доступ до мережі Інтернет зі швидкістю обміну до 1 Гб/сек;
- отримання доступу до телевізійних каналів IPTV (перегляд щонайменше 150 каналів (MPEG2, MPEG4), HD, VoD);
- Отримання послуг телефонного зв'язку;
- Отримання послуг технології багатопроTOCOLьної комутації міток (IP VPN);

Пропускна здатність, Гбіт/с, всієї системи зв'язку DWDM може бути визначена як максимальна швидкість передачі сумарного трафіку інформації з волокна, з урахуванням:

- 1) пропускна здатність V_0 (Гбіт/с) системи DWDM між кінцевими пунктами лінії зв'язку;
- 2) Пропускної спроможності V_1 каналу зв'язку між м. Київ та м. Житомир;
- 3) Пропускної спроможності V_2 каналу зв'язку між м. Київ та м. Рівне;
- 4) Пропускної спроможності V_3 каналу зв'язку між м. Київ та ретранслятором стільникового зв'язку у м. Дубно.

$$V = V_0 + V_1 + V_2 + V_3$$

Пропускна здатність V_0 , Гбіт/с системи DWDM між кінцевими пунктами лінії зв'язку може визначена як максимальна швидкість передачі сумарного трафіку інформації по волокну за формулою:

$$V_0 = V_{\text{ТТ}} + V_{\text{ЗАГ}} + V_{\text{DSL}} + V_{\text{ВИД}} + V_{\text{ІР}}, \quad (2.1)$$

де $V_{\text{ТТ}}$ - телефонний трафік;

$V_{\text{ЗАГ}}$ – загальна швидкість передачі звичайних користувачів Інтернетом;

V_{DSL} – загальна швидкість DSL користувачів;

$V_{\text{ВИД}}$ - виділені орендовані канали;

$V_{\text{ТР}} = 4 \times 10$ Гбіт/с - магістральний транзит.

Розрахунок телефонного трафіку та мінімально необхідної кількості телефонних каналів зробимо відповідно до поширеної методики. Кількість каналів для кінцевих пунктів ділянки лінії зв'язку Київ-Луцьк розраховується з урахуванням чисельності населення, що у даних пунктах, що визначається з урахуванням прогнозу приросту населення. [13]

$$V_{\text{ТТ}} = 205 \cdot 64\,000 = 0,014 \text{ Гбіт/с.}$$

$$V_{\text{ЗАГ}} = 56 \cdot 10^3 \cdot 0,04 \cdot 35\,209 \cdot 0,1 = 0,008 \text{ Гбіт/с.}$$

$$V_{\text{DSL}} = 1.106 \cdot 0,2 \cdot 35\,209 \cdot 0,36 = 2,5 \text{ Гбіт/с,}$$

$$V_{\text{ВИД}} = 1 \cdot 10^6 \cdot 0,2 \cdot 35\,209 \cdot 0,54 = 3,8 \text{ Гбіт/с}$$

$$V_0 = 0,014 + 0,008 + 2,5 + 3,8 + 40 = 46,4 \text{ Гбіт/с}$$

Для забезпечення послуг зв'язку перерахованих пунктів по лінії зв'язку в роботі планується: $V_1 = V_2 = V_3 = 10$ Гбіт/с. Пропускна здатність, Гбіт/с, всієї системи DWDM складе:

$$V = 46,4 + 30 = 76,4 \approx 80 \text{ Гбіт/с}$$

Для розрахунку кількості необхідних довжин хвиль використовуємо формулу:

$$N_\lambda = V_0/V_1, \quad (2.2)$$

де $V_1 = 10$ Гбіт/с – швидкість інтерфейсного потоку.

$$N_\lambda = 76,4/10 = 7,64 \approx 8$$

Відповідно до розрахунків, мультиплексори та демультимплексори OMUX і ODMUX повинні мати по 8 інтерфейсів зі швидкостями 10 Гбіт/с відповідно до типової схеми використання обладнання Huawei OptiX BWS 1600G.

2.4. Розрахунок параметрів ділянок лінії зв'язку

Розрахунок кабельного ділянки мережі за показником дисперсії проводиться під час проектування нових ліній зв'язку з метою визначення відстаней, якими встановлюються попередні компенсатори на боці передачі і компенсатори дисперсії на боці прийому.

Повне значення дисперсії визначається у вигляді суми хроматичної та поляризаційної модової дисперсії. В устаткуванні Huawei OptiX BWS 1600G хроматична дисперсія компенсується за допомогою використання компенсаторів, а поляризаційна дисперсія компенсується електронним способом в устаткуванні прийому сигналу. Можна відзначити, що в системах передачі Huawei OptiX BWS 1600G повна компенсація дисперсії не досягається, і допускається невеликий розмір залишкової дисперсії.

Поляризаційно-модова дисперсія (ПМД) є одним із факторів, що обмежує збільшення швидкості та дальність оптичних телекомунікаційних систем. Для нейтралізації її впливу в обладнанні Huawei OptiX BWS 1600G використовується метод необхідної та достатньої компенсації наслідків поляризаційно-модової дисперсії за допомогою застосування цифрової компенсації на приймачі оптичного випромінювання.

Для визначення типів компенсаторів та передкомпенсаторів дисперсії, визначимо орієнтовне значення дисперсії.

Повне значення дисперсії визначається як сума хроматичної та поляризаційної модової дисперсії:

$$T_D = \tau_{CHR} + \tau_{PMD} \quad (2.3)$$

де τ_{CHR} – повне значення хроматичної дисперсії для волоконно-оптичної лінії зв'язку. З повного значення дисперсії необхідно визначити рівень хроматичної дисперсії. Розмір хроматичної дисперсії визначається за такою формулою:

$$\tau_{CHR} = D(\lambda) \cdot \Delta\lambda \cdot L, \quad (2.4)$$

де $D(\lambda)$ – коефіцієнт хроматичної дисперсії застосовуваного оптичного волокна, та паспортне значення коефіцієнта становить 17 пс/нм км;

$\Delta\lambda$ – ширина смуги лазерного випромінювання (нм) та паспортне значення для обладнання передачі Huawei OptiX BWS 1600G становить 0,2 нм;

L – протяжність проекрованої лінії зв'язку (км), L = 380 км. При підстановці даних значень у формулу (2.4), отримаємо значення розміру хроматичної дисперсії при організації мережі DWDM по стандартним оптичним волокнам згідно з рекомендацією ІТУ-Т G.657.A1:

$$\tau_{\text{CHR}} = D(\lambda) \cdot \Delta\lambda \cdot L = 17 \cdot 0,2 \cdot 379 = 1288,6 \text{ пс.}$$

Зробимо розрахунок дисперсії для всіх підсилювальних ділянок лінії Київ-Луцьк по формулі (2.4) при організації мережі DWDM на стандартних одномодових волокнах (згідно з Рекомендації ІТУ-Т G.657.A1):

-на ділянці Київ-Житомир: $\tau_{\text{CHR}} = D(\lambda) \cdot \Delta\lambda \cdot L = 17 \cdot 0,2 \cdot 130 = 442 \text{ пс;}$

-на ділянці Житомир-Рівне: $\tau_{\text{CHR}} = D(\lambda) \cdot \Delta\lambda \cdot L = 17 \cdot 0,2 \cdot 180 = 612 \text{ пс;}$

-на ділянці Рівне-Луцьк: $\tau_{\text{CHR}} = D(\lambda) \cdot \Delta\lambda \cdot L = 17 \cdot 0,2 \cdot 70 = 238 \text{ пс.}$

Таблиця 2.1

Результати розрахунку накопиченої та компенсованої дисперсії в напрямку АВ

Відрізок лінії	Попередня компенсація, пс	Накопичена у лінії, пс	Компенсована на прийомі, пс	Баланс, пс
Київ - Житомир	200	442	200	42
Житомир - Рівне	300	612+42	300	54
Рівне - Луцьк	-	238+54	200	92
Київ - Луцьк	400	1292	800	92

Таблиця 2.2

Результати розрахунку накопиченої та компенсованої дисперсії в напрямку ВА

Відрізок лінії	Попередня компенсація, пс	Накопичена у лінії, пс	Компенсована на прийомі, пс	Баланс, пс
Луцьк - Рівне	-	238	200	38
Рівне - Житомир	300	612+38	300	50
Житомир - Київ	200	442+50	200	92
Луцьк - Київ	400	1292	800	92

2.5. Розрахунок надійності ВОЛЗ

Надійність обладнання визначається його здатністю виконувати задані функції в рамках дозволених режимів та в реальних умовах застосування. Надійність є результатом якості лінії зв'язку, яка досягається за допомогою вихідної якості кабелю, якості проекту та монтажних робіт, дотримання вимог експлуатації. Відповідно до керівних документів, при проектуванні оптичних ліній зв'язку мають бути враховані такі вимоги щодо надійності:

- значення коефіцієнта готовності K_g , який має бути вищим за нижню межу, і тому має бути нижчою кількістю пошкоджень і знижений час для їх усунення;

- визначено термін служби за календарною тривалістю робочого стану кабелю з часу введення його в експлуатацію і до моменту виникнення граничного стану, тобто такого стану, при якому подальша експлуатація кабелю вже неприпустима або недоцільна. В середньому термін служби оптичного кабелю приймають у розмірі 25 років;

- середній час відновлення T_v та час усунення відмов кабелю. З метою планування в проектах показників надійності обладнання лінійного тракту магістральної мережі без урахування можливості резервування застосовуються такі показники [11]:

- 1) Коефіцієнт готовності, що має бути щонайменше $K_g = 0,92$;

- 2) Середній часовий проміжок між відмовими повинен відповідати умові $T_o > 40$ годин;

- 3) Час відновлення справності кабелю обмежено умовою $T_v < 10$ годин, зокрема враховано час прибуття до місця аварії 3,5 год.

- 4) μ - середнє число, щільність відмов кабелю за рахунок зовнішніх пошкоджень, що припадають на кожні 100 км кабелю на рік. За статистикою пошкоджень, на коаксіальний кабель припадає значення цього параметра у розмірі 0,34, тому приймаємо за аналогією $\mu = 0,34$. Розрахункова інтенсивність можливих відмов протягом однієї години протягом 380 км лінії зв'язку визначається за такою формулою:

$$\lambda_x = \frac{\mu \cdot L}{8760 \cdot 100} \quad (2.5)$$

де $L = 380$ км - Довжина кабелю в даній лінії зв'язку; 8760 – кількість годин на рік.

$$\lambda_k = (0,34 \cdot 380) : (8760 \cdot 100) = 1,47 \cdot 10^{-4}$$

Інтенсивність відмов лінійного тракту $\lambda_{ЛТ}$, 1/год визначиться за такою формулою:

$$\lambda_{ЛТ} = \lambda_k + \lambda_{кп} \cdot n_{оп} + \lambda_{нрп} \cdot n_{нрп}, \quad (2.6)$$

де $\lambda_{кп} = 30 \cdot 10^{-6}$ – інтенсивність відмов на кінцевому пункті КП в годину;

$n_{кп} = 2$ – кількість кінцевих пунктів КП;

$\lambda_{нрп} = 1,5 \cdot 10^{-6}$ – інтенсивність відмов на проміжних НРП на годину;

$n_{нрп} = 2$ – кількість проміжних НРП.

Запланована інтенсивність відмов лінійного тракту, що виникають складе:

$$\lambda_{ЛТ} = 1,47 \cdot 10^{-4} + 30 \cdot 10^{-6} \cdot 2 + 1,5 \cdot 10^{-6} \cdot 2 = 2,1 \cdot 10^{-4} \text{ 1/Год}$$

Розрахункове значення напрацювання до відмови лінійного тракту $T_{ЛТ}$, год, визначиться за формулою:

$$T_{ЛТ} = \frac{1}{\lambda_{ЛТ}}$$

$$T_{ЛТ} = 1 : 2,1 \cdot 10^{-4} = 4,76 \cdot 10^3 \text{ ч}$$

Середня тривалість періоду, необхідного для відновлення лінійного тракту $T_{ВЛТ}$, год після аварії визначається за формулою:

$$T_{ВЛТ} = \frac{\lambda_k \cdot l_k \cdot T_{ВК} + \lambda_{кп} \cdot n_{кп} \cdot T_{ВКП} + \lambda_{нрп} \cdot n_{нрп} \cdot T_{ВНРП}}{\lambda_{ЛТ}}, \quad (2.7)$$

Коефіцієнт простою обладнання Кп визначиться за формулою:

$$K_{П} = \frac{T_{ВЛТ}}{T_{ЛТ} + T_{ВЛТ}} \quad (2.8)$$

$$K_{П} = \frac{2,5 \cdot 10^{-7}}{5,24 \cdot 10^3 + 2,5 \cdot 10^{-7}} = 4,771 \cdot 10^{-11}$$

Запланований коефіцієнт готовності лінійного тракту визначається за такою формулою:

$$K_G = \frac{T_{ЛГ}}{T_{ЛГ} + T_{ВЛГ}} \quad (2.9)$$

$$K_G = \frac{5,24 \cdot 10^3}{5,24 \cdot 10^3 + 2,5 \cdot 10^{-7}} = 0,9999999995$$

Розраховане значення коефіцієнта готовності K_G відповідає заданому діапазону вихідних даних і більше нижньої межі у розмірі 0.92. Необхідно врахувати, що основним методом забезпечення швидкого відновлення працездатності синхронних мереж без перерви у наданні послуг зв'язку є організація мереж, що самовідновлюються, автоматично резервуються за схемою 1+1. На ділянці, що проектується, за рахунок застосування даного способу резервування досягається висока надійність транспортної мережі.

2.6. Розрахунок лінії зв'язку із загасання сигналу

Вихідними даними для розрахунку є:

- 1) будівельна довжина кабелю становить 6.55 км;
- 2) P_S - значення оптичної потужності передачі сигналу. Для обладнання апаратури Huawei OptiX BWS 1600G, виробник у специфікації наводить значення $P_S = 17$ дБм. Цей рівень є результатом додавання потужність лазера і потужність сигналу, що генеруються підсилювачем потужності, вбудованим в кожен транспондер;

1. середнє значення загасання потужності сигналу оптичного випромінювання на нероз'ємному оптичному роз'ємі в місці з'єднання будівельних довжин кабелю становить 0,05 дБ;

2. загасання потужності оптичного випромінювання сигналу на використовуваному роз'ємному оптичному роз'ємі становить 0,3 дБ;

3. загасання потужності оптичного випромінювання сигналу на 1 км використуваного оптичного кабелю становить 0,22 дБ/км.

Застосування підсилювачів є поширеним рішенням в системах передачі зі спектральним поділом каналів DWDM, в яких поділ і агрегація оптичних транспондерних сигналів відбувається зі значним загасанням сигналу. Залежно від рівня передачі і кількості використовуваних спектральних носіїв, величина посилення $K_{\text{ПС.ПЕР}}$ для використовуваного обладнання вибирається з типового набору значень 17 дБ, 20 дБ, 23 дБ, 27 дБ, 30 дБ, 33 дБ, кожному з яких відповідає окрема модель блоку підсилювача.

Величину сумарних втрат в елементарному перетині кабелю можна розрахувати за формулою:

$$A = \alpha_i \cdot L_i + \alpha_{\text{рз}} \cdot N_{\text{рз}} + \alpha_{\text{нз}} \cdot N_{\text{нз}} + \alpha_{\text{пвв}}, \text{ дБ} \quad (2.10)$$

Де α_i - коефіцієнт загасання оптичного волокна в кабелі на ділянці (дБ/км);

$\alpha_{\text{рз}}$ - загасання роз'ємного з'єднувача, $\alpha_{\text{рз}} = 0, 3$ дБ;

$N_{\text{рз}}$ - Кількість роз'ємних з'єднань на секції підсилювальної ділянці, $N_{\text{рз}} = 2$;

$\alpha_{\text{нз}}$ - загасання на нероз'ємному з'єднанні, $\alpha_{\text{нз}} = 0,05$ дБ;

$N_{\text{нз}}$ - кількість нероз'ємних з'єднань на підсилювальній ділянці.

$\alpha_{\text{пвв}}$ - загасання на пасивному введенні-виводі, $\alpha_{\text{пвв}} = 0,8$ дБ;

Для визначення кількості нероз'ємних з'єднань на підсилювальній ділянці необхідно визначити кількість будівельних довжин N_6 волоконно-оптичного кабелю на ділянці підсилювача за формулою:

$$N_6 = L_i / L_{\text{буд}}, \quad (2.11)$$

де $L_{\text{буд}}$ - будівельна довжина волоконно-оптичного кабелю, $L_{\text{буд}} = 6,55$ км.

Тоді кількість нероз'ємних з'єднань можна визначити за умови:

$$N_{\text{нз}} = N_6 - 1. \quad (2.12)$$

Зробимо розрахунки:

На ділянці Київ - Житомир:

$$N_6 = L_i / L_{\text{буд}} = 130 / 6,55 = 19,85 \approx 20; N_{\text{нз}} = 19.,$$

$$A_1 = \alpha_i \cdot L_i + \alpha_{\text{рз}} \cdot N_{\text{рз}} + \alpha_{\text{нз}} \cdot N_{\text{нз}} = 0,22 \cdot 130 + 0,3 \cdot 2 + 0,05 \cdot 19 = 30,15 \text{ дБ.}$$

На ділянці Житомир - Рівне:

$$N_6 = L_i / L_{\text{буд}} = 100 / 6,55 = 15,3 \approx 16; N_{\text{нз}} = 15.$$

$$A_2 = \alpha_i \cdot L_i + \alpha_{p3} \cdot N_{p3} + \alpha_{n3} \cdot N_{n3} = 0,22 \cdot 100 + 0,3 \cdot 2 + 0,05 \cdot 15 = 23,35 \text{ дБ.}$$

На ділянці Рівне - Дубно:

$$N_6 = L_i / L_{\text{б\text{уд}}} = 36 / 6,55 = 5,5 \approx 6; N_{n3} = 5.$$

$$A_3 = \alpha_i \cdot L_i + \alpha_{p3} \cdot N_{p3} + \alpha_{n3} \cdot N_{n3} = 0,22 \cdot 36 + 0,3 \cdot 2 + 0,05 \cdot 5 = 8,7 \text{ дБ.}$$

На ділянці Дубно - Луцьк:

$$N_3 = L_i / L_{\text{б\text{уд}}} = 112 / 6,55 = 17,1; N_{n3} = 16.$$

$$A_4 = \alpha_i \cdot L_i + \alpha_{p3} \cdot N_{p3} + \alpha_{n3} \cdot N_{n3} = 0,22 \cdot 112 + 0,3 \cdot 2 + 0,05 \cdot 16 = 26,1 \text{ дБ.}$$

На ділянці Дубно - Луцьк з урахуванням згасання на мультиплексорі пасивного введення-виведення у розмірі 0.8 дБ:

$$A_{(3+4)} = A_3 + A_4 + 0,9 = 8,7 + 26,1 + 0,8 = 35,6 \text{ дБ}$$

Енергетичний потенціал ВОСП(Е), паспортна характеристика апаратури приймання-передачі. Потенціал обчислюється за такою формулою:

$$\mathcal{E} = P_{in} - P_{out}, \text{ дБ,} \quad (2.13)$$

де P_{in} – середній рівень оптичного випромінювання, що вводиться в оптичне волокно для обладнання Huawei;

$$P_{in} = +1,5 \text{ дБм;}$$

P_{out} – рівень мінімальної потужності при коефіцієнті помилок 10^{-12} ,

для апаратури Huawei $P_{out} = -34,5 \text{ дБм;}$

$$E = 1,5 - (-34,5) = 36 \text{ дБ}$$

У розрахунках враховується енергетичний системний запас у ВОСП, що використовується для компенсації втрати потужності сигналу, пов'язаної з проведенням ремонтних та додаткових робіт на кабелі, погіршенням параметрів оптичного волокна та апаратури приймання-передачі, а також інших відхилень параметрів ділянки в процесі експлуатації, $3 = 6 - 10$ дБ. Додаткове поповнення втрат потужності сигналів вимагає застосування компенсаторів дисперсії на приймальній стороні та попередньої компенсації на передачі. Необхідно врахувати, що зовнішні впливи на обладнання лінії зв'язку залежать від кліматичних умов, це і сезонна зміна температури ґрунту і льоду, що міститься в ньому, що викликає зміни властивостей кабелю і з'єднувальних

муфт з причин температурного розширення або стиснення льоду та елементів конструкцій, це і зміна вологості та атмосферного тиску. Для компенсації таких впливів, що викликають збільшення розмірів втрат потужності корисних сигналів, в устаткуванні Huawei застосовуються підсилювачі різних стадіях обробки сигналів. Підсилювачі мають вбудовану функцію автоматичного керування посиленням, що реалізується системою керування режимами роботи обладнання Huawei, і дозволяє компенсувати зміни розмірів втрат потужності корисних сигналів у лінії в діапазоні від - 10 до + 6 дБ.

На рисунку 2.4 представлено схему роботи автоматичного управління режимами посилення сигналу на ділянці лінії зв'язку. У схемі використані підсилювачі на передачі та на прийомі, що мають автоматичне регулювання посилення. Система управління режимами передачі сигналів контролює рівень прийому сигналу, його захищеність, і видає керуючі сигнали регулювання посилення сигналу як у боці передачі, і за приймання. Сигнали управління передаються службовим каналом, організованому в загальному груповому сигналі в лінії зв'язку. Підсилювачі, що застосовуються, має конструктивну опцію, що дозволяє включати в схему підсилювача між каскадами посилення компенсатори дисперсії. Ці компенсатори вносять різне згасання та викликають різні втрати потужності сигналу. У зв'язку з цим, для ділянки лінії зв'язку баланс посилення та втрат можна відобразити рівнянням:

$$K_{пс1} + K_{пс2} = A_1 + A_2 + A_3, \text{ дБ} \quad (2.14)$$

де A_1 – середня величина середньорічних втрат на ділянці лінії зв'язку;

A_2 - величина коливань втрат на ділянці лінії зв'язку від -10 до + 6 дБ;

A_3 - величина втрат у компенсаторах дисперсії, що застосовуються;

$K_{пс1}$ - коефіцієнт посилення підсилювача на стороні передачі

$K_{пс2}$ - коефіцієнт посилення підсилювача на стороні прийому

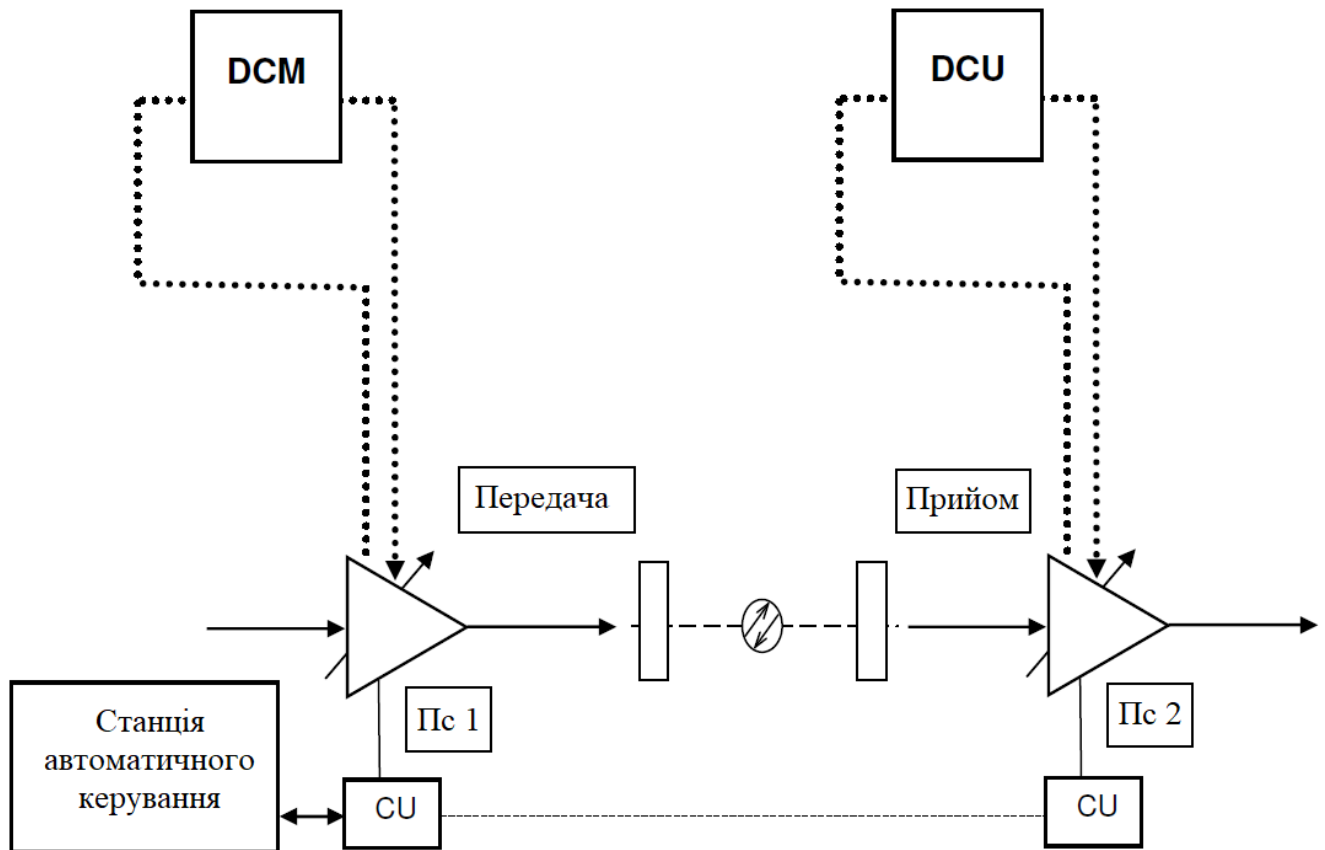


Рисунок 2.3. Схема керування режимами посилення сигналів

На схемі позначено:

DCM – попередній компенсатор дисперсії на стороні передачі;

DCU – компенсатор дисперсії на стороні прийому;

CU – блок керування режимами системи зв'язку.

У транспондерах обладнання Huawei є вбудований моніторинг якості сигналу, що передається і приймається з FEC ITU-T G.975.1 і 3R з моніторингом оптичної потужності. Результати моніторингу передаються в систему автоматичного управління, де формуються сигнали для підсилювачів. Транспондери Huawei мають вбудовані оптичні підсилювачі з цифровим налаштуванням вихідної потужності до 17 дБм, що забезпечує найкращий у галузі спосіб вирівнювання потужності у спектральному каналі. У проекті також використано типові оптичні підсилювачі. Система автоматичного керування режимами роботи обладнання лінії зв'язку DWDM реалізує контроль за ступенем дисперсії сигналу та за станом перешкодозахищеності з метою забезпечення рівня захищеності не гірше за $A_z = 18$ дБ. [13]

2.7. Розробка схеми організації зв'язку

Довжина кабелю в прольотах ділянками становить:

1. Київ – Житомир – 130 км;
2. Житомир – Рівне – 180 км;
3. Рівне – Луцьк – 70 км.

Для прольотів довжиною 130 км та 70 км можна застосувати типову схему збільшення довжини прольоту за допомогою оптичного посилення.

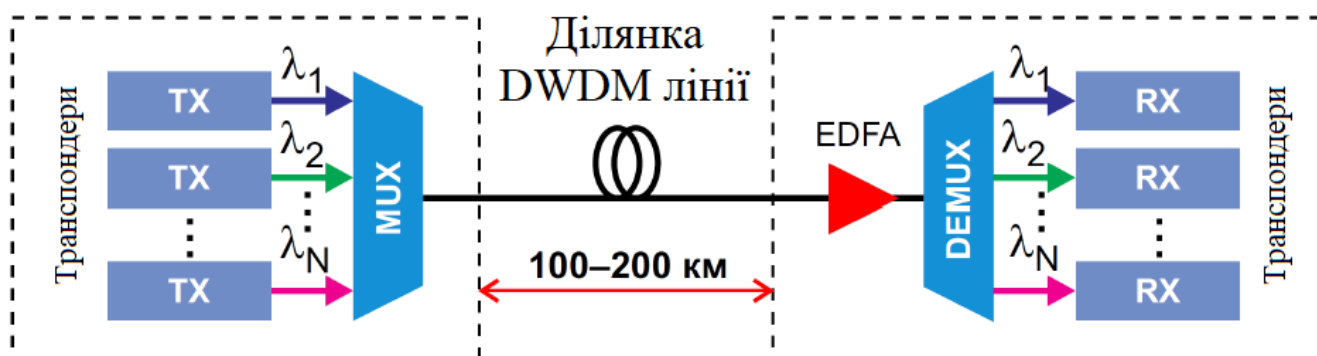


Рисунок 2.4. Типова схема збільшення довжини прольоту за допомогою оптичного посилення

Застосування типових підсилювачів дозволяє збільшувати довжину прольоту лінії зв'язку за допомогою збільшення потужності сигналу передачі і чутливості на прийомі. Найбільш економічними є рішення із ербієвими підсилювачами (EDFA). Використання підсилювача дозволяє передавати 8 оптичних каналів на відстань до 200 км. У цьому випадку використовується передкомпенсатор на 100 км та компенсатор дисперсії DCU-1650 на 100 км. У нашому випадку відстань першого прольоту Київ – Житомир становить 130 км, і на прольоті може використовуватися передкомпенсатор на 80 км та компенсатор на 40 км із невеликою залишковою дисперсією. Відстань прольоту Житомир – Рівне складає 180 км і може використовуватись компенсатор на 180 км. Для прольоту довжиною 70 км Рівне – Луцьк можна застосувати типову схему одночасного використання підсилювача потужності та підсилювача, а також пасивний вузол вводу/виводу DWDM каналів на м. Дубно, що знаходиться на відстані 12

км від траси кабелю. На прольоті може використовуватися передкомпенсатор на 80 км і компенсатор на 60 км з невеликою залишковою дисперсією.

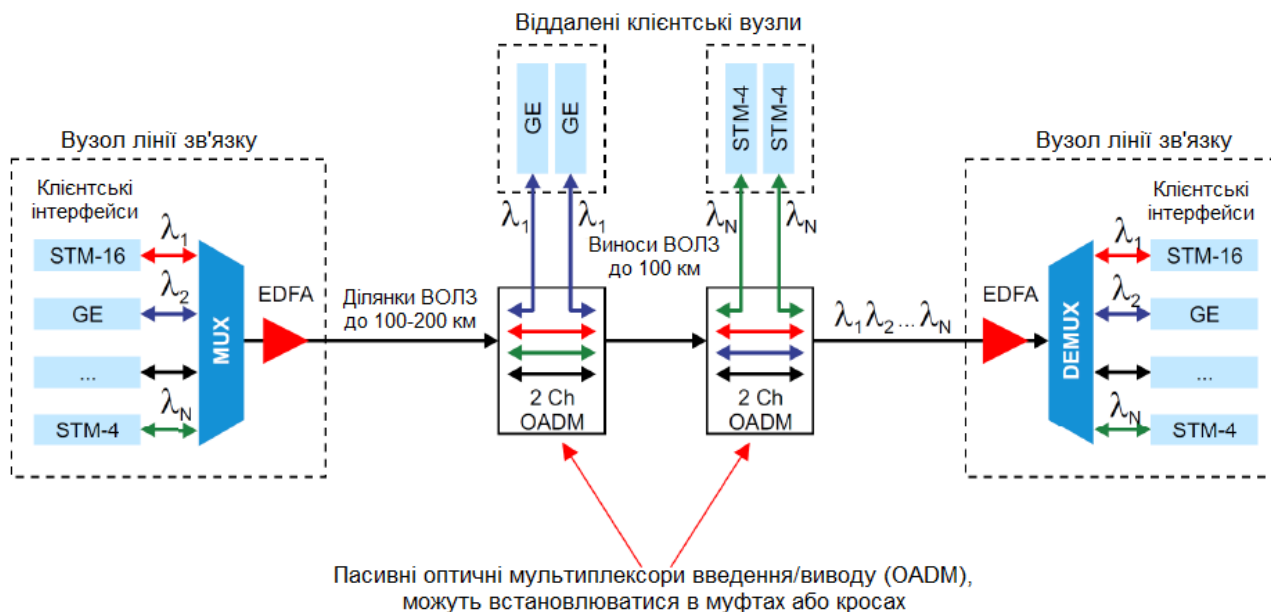


Рисунок 2.5. Схема одночасного використання підсилювача потужності та підсилювача з пасивними вузлами вводу/виводу DWDM каналів

Організація доступу до ВОЛЗ на основі пасивних DWDM мультиплексорів дозволяє:

- Організувати магістральний проліт до 200 км;
- Використовувати проміжні пункти DWDM, що не обслуговуються, які не вимагають живлення та підтримки позитивної температури (робочий діапазон температур пасивного вузла становить $-60 \dots +70^{\circ}\text{C}$).

В обладнанні використовуються модулі передкомпенсації дисперсії (DCM) вносять негативну дисперсію для DWDM систем передачі та використовуються для компенсації дисперсії на стандартних волокнах SMF всього C-діапазону.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

У даному розділі було проведено розрахунок вимог до волоконно-оптичного лінійного зв'язку (ВОЛЗ) для магістральної мережі DWDM. Вибір кабелю здійснювався на основі параметрів передачі сигналу, довжини лінії зв'язку та врахування потреб

у майбутньому розширенні мережі, було визначено оптимальну трасу для прокладання кабелю магістральної мережі DWDM. При виборі траси враховувалися такі фактори, як географічні особливості, існуюча інфраструктура, витрати на будівництво та планування майбутнього розвитку мережі.

Також у даному розділі були виконані розрахунки для визначення необхідної кількості та пропускної спроможності системи DWDM. Ці розрахунки базувалися на передбачуваному обсязі трафіку, передачі даних і потребі у майбутньому розширенні мережі.

Проведено розрахунок параметрів ділянок лінії зв'язку, таких як втрати сигналу, загасання, шум та інші параметри, що впливають на якість передачі сигналу через лінію зв'язку і було проведено розрахунок надійності волоконно-оптичної лінійної зв'язку (ВОЛЗ) системи DWDM. Розрахунки базувалися на оцінці ймовірності відмови компонентів, волоконно-оптичних з'єднань та інших факторів, які можуть вплинути на надійність мережі.

Також у розділі було виконано розрахунок загасання сигналу в лінії зв'язку магістральної мережі DWDM. Розрахунки враховували втрати сигналу на відстані, вплив шуму та інші фактори, які можуть призвести до зниження якості сигналу на кінці лінії зв'язку та була розроблена схема організації зв'язку для магістральної мережі DWDM. Схема включала в себе розміщення обладнання, кількість вузлів, маршрутизацію трафіку та інші аспекти, необхідні для ефективного функціонування мережі.

Загальною метою розділу було визначення ключових параметрів і характеристик магістральної мережі DWDM, що дозволяє забезпечити надійну передачу великої кількості даних з високою пропускною спроможністю та мінімальними втратами сигналу. Результати розрахунків та розроблені схеми можуть бути використані в процесі розробки та впровадження магістральної мережі DWDM для оптимального функціонування системи передачі даних.

РОЗДІЛ 3

ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ МАГІСТРАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ DWDM

3.1. Основні критерії для вибору виробника обладнання

Порівняння систем DWDM різних виробників залежить від багатьох факторів, таких як функціональні можливості, продуктивність, надійність, масштабованість, ціна, підтримка та інші параметри. Оскільки конкретні моделі та виробники можуть змінюватися з часом, як інновації і технології розвиваються, рекомендується звернутися до останніх рейтингів та аналізів на ринку для отримання найактуальнішої інформації. Однак, ось деякі загальні аспекти, які можуть бути враховані при порівнянні систем DWDM різних виробників:

1. **Функціональність:** Різні виробники можуть пропонувати різні функціональні можливості у своїх системах DWDM. Наприклад, деякі системи можуть мати більше портів для підключення клієнтських пристроїв або додаткові функції маршрутизації трафіку.

2. **Продуктивність:** Продуктивність системи DWDM визначається пропускнуою здатністю, швидкістю передачі даних та рівнем завантаження. Виробники можуть пропонувати системи з різною пропускнуою здатністю, наприклад, від 10 Gbps до 100 Gbps або навіть вище.

3. **Надійність:** Надійність системи є важливим аспектом для мережевих операторів. Виробники можуть застосовувати різні технології для забезпечення надійності, такі як резервування шляхів, захист від витоку сигналу, виявлення та відновлення помилок.

4. **Масштабованість:** Мережеві потреби можуть зростати з часом, тому важливо мати систему DWDM, яка може масштабуватися. Деякі виробники можуть пропонувати модульну архітектуру, яка дозволяє додавати або замінювати компоненти для збільшення масштабу мережі.

5. Ціна: Вартість системи DWDM може варіюватися від виробника до виробника. Важливо врахувати вартість системи, включаючи не лише вартість обладнання, але й експлуатаційні витрати, такі як споживання енергії, обслуговування та підтримка.

6. Підтримка: Виробники можуть надавати різні рівні підтримки, такі як гарантія, технічна підтримка та оновлення програмного забезпечення. Важливо з'ясувати, які послуги підтримки надає виробник і наскільки вони задовольняють ваші потреби.

Це лише кілька загальних аспектів, які можуть бути враховані при порівнянні систем DWDM різних виробників. Важливо провести детальне дослідження та порівняння відповідних моделей та виробників, щоб вибрати найбільш підходящу систему DWDM для вашої конкретної потреби. [14]

3.2. Вибір обладнання для мережі DWDM

Транспортна мережа

Система OptiX BWS 1600G DWDM є багатофункціональним обладнанням DWDM з мультисервісною та багатодіапазонною передачею. OptiX BWS 1600G може легко оновлюватися з 40 довжин хвиль до 80 довжин хвиль, 120 довжин хвиль і до 160 довжин хвиль. Технологія розширеного діапазону також може бути використана для збільшення пропускної здатності на 20% до 192 довжин хвиль.

OptiX BWS 1600G як магістральна система оптичної передачі DWDM забезпечує рішення для передачі 80/40 довжин хвиль x 40G. При підключенні до існуючої OTU 40G OptiX BWS 1600G може задовольнити вимоги операторів щодо збільшення пропускної здатності та високопродуктивної оптичної мережі. Він застосовувався до багатьох національних магістральних та міжміських магістральних мереж передачі. [15]

Optical Terminal Multiplexer

- OTM composed of M40/D40

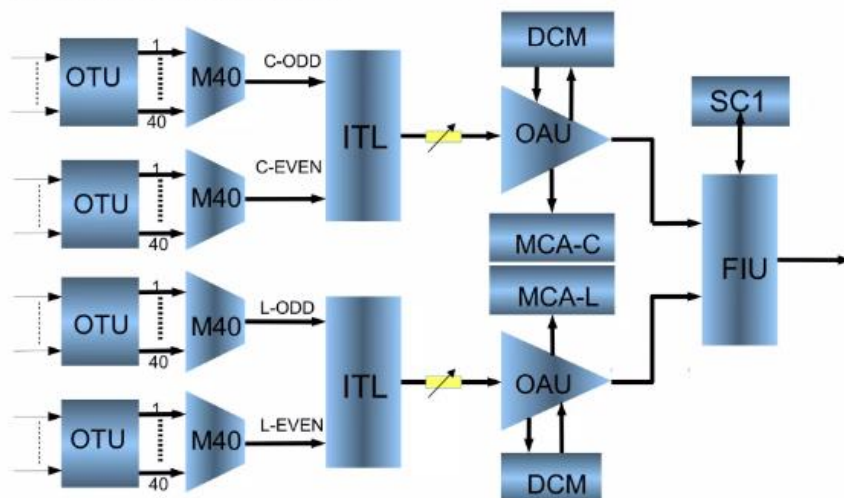


Рисунок 3.1. Мультиплексор Huawei

Наддальня трансмісія

Ultra Long Haul (ULH) включає певні технології, такі як SuperWDM+, що реалізують передачу 10G на відстань більше 5000 км без регенерації. Технологія Long Haul (LHP) включає SuperWDM+ і ROPA, які забезпечують наддовгу передачу з одним стрибком в 410 км. Крім того, технології DRZ та xDQPSK використовуються для реалізації передачі 40G на відстань понад 1500 км без регенерації [16].

Optical Line Amplifier

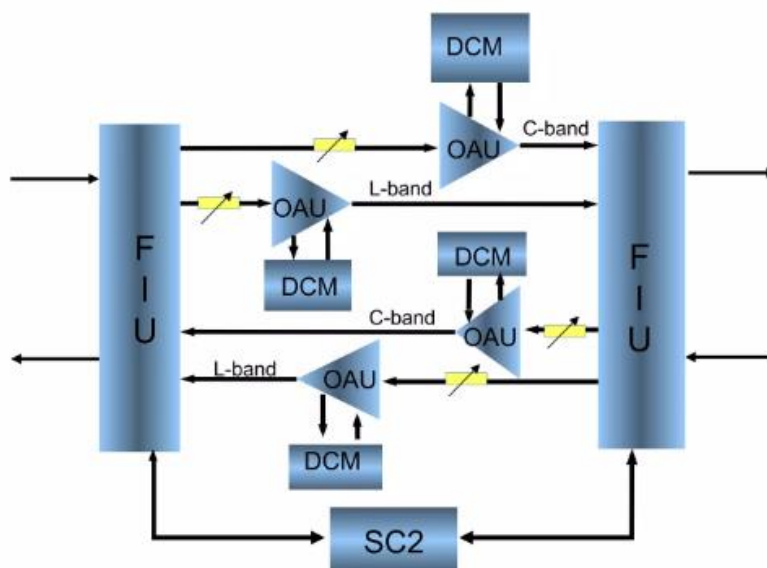


Рисунок 3.2. Оптичний лінійний підсилювач Huawei

Гнучке планування довжин хвиль

Завдяки оптичному мультиплексу введення-виводу (ROADM), що реконфігурується, OptiX BWS 1600G реалізує планування довжин хвиль в 2–9 вимірах, віддалену автоматичну настройку і додавання/відключення довжин хвиль на будь-якому вузлі. Система підтримує онлайн-оновлення та розширення ємності без переривання обслуговування. За допомогою ROADM оператори можуть прискорити надання послуг без перепланування мережі, що знижує витрати на експлуатацію та технічне обслуговування.

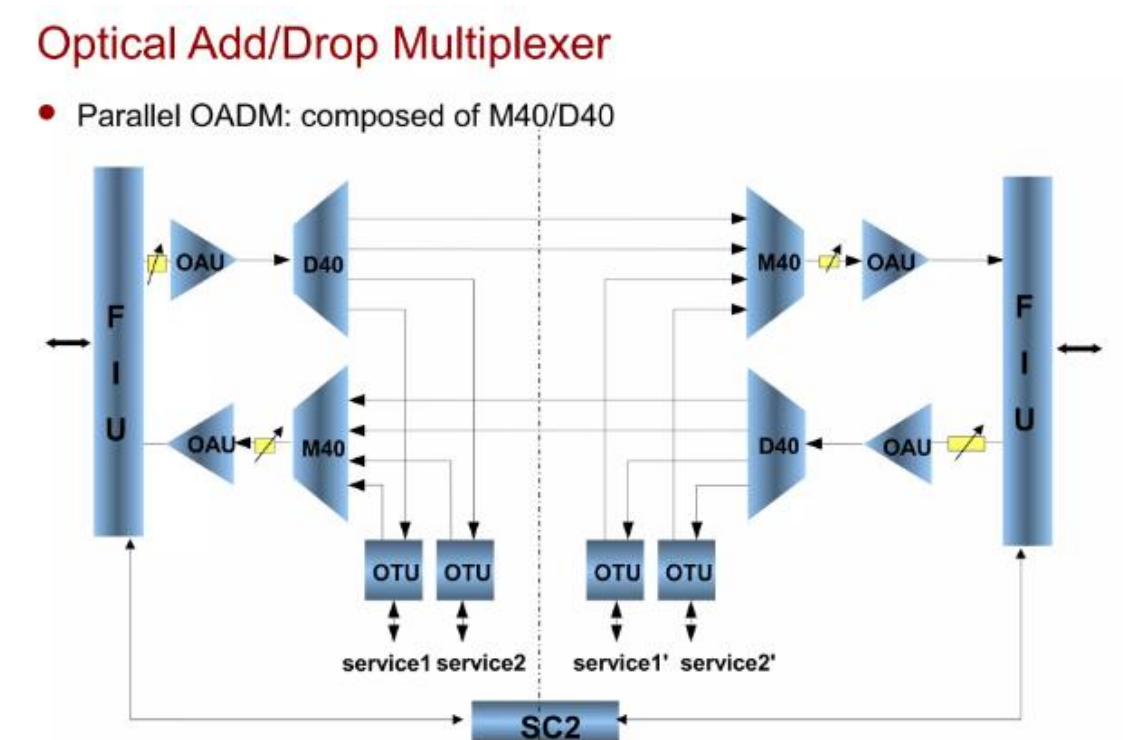


Рисунок 3.3. Оптичний мультиплексор введення-виводу Huawei

Можливості універсального, багатошвидкісного та багатопрокольного доступу, а також різні режими конвергенції послуг OptiX BWS 1600G підтримує SDH/Служба SONET з будь-якою швидкістю передачі даних, служба POS, служби передачі даних GE/10GE/40G/OTU1/OTU2/OTU3 та інші служби зі швидкістю передачі від 34 Мбіт/с до 2,7 Гбіт/с. В результаті система може поєднувати послуги 10G по 4 каналах в одну довжину хвилі 40G, заощаджуючи ресурси довжини хвилі.

Унікальна функція передачі тактових сигналів

OptiX BWS 1600G пропонує нове рішення для передачі тактових сигналів, яке підтримує високоточну передачу тактових імпульсів у двох напрямках і може додавати/відкидати або передавати дані на будь-якому майданчику з режимами множинного захисту.

Повнодіапазонний OTU, що настроюється

OTU підтримує повнодіапазонне налаштування. Інтегруючи мережні плати в один блок, можна покращити ремонтпридатність системи та знизити експлуатаційні витрати (OPEX) та капітальні витрати (CAPEX). OTU також може працювати з ROADMs, пропонуючи гнучкі оптичні рішення.

Захист операторського класу

OptiX BWS 1600G підтримує захист каналів 1+1 та MS 1+1, підвищуючи надійність мережі.

Рішення Huawei G.653 DWDM ефективно вирішує проблему чотирихвильового мікшера та реалізує передачу великих обсягів даних на великі відстані по оптоволокну G.653.

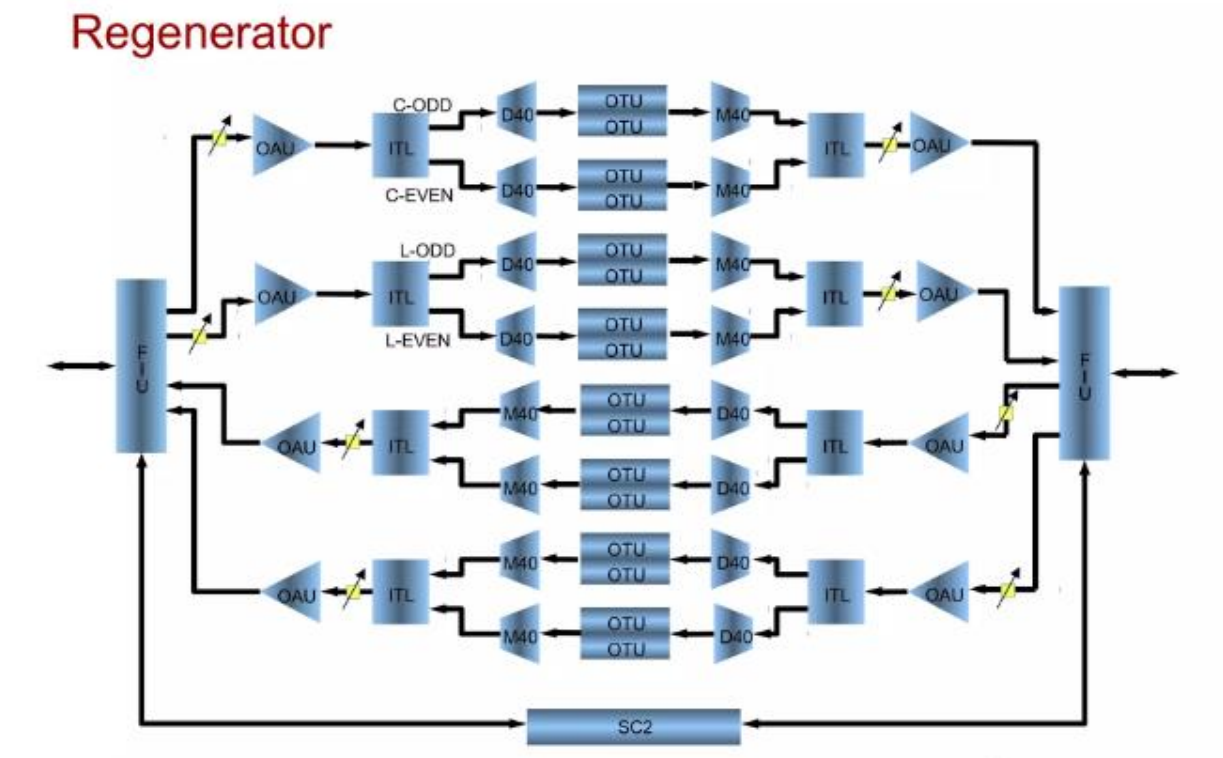


Рисунок 3.4. Регенератор Huawei

3.3 Технічні характеристики системи DWDM

Технічні характеристики системи представлені таблиці 3.1.

Таблиця 3.1.

Технічні характеристики системи DWDM виробництва Huawei Technologies,
OptiX BWS 1600G

Модель	OptiX BWS 1600G
Діапазон довжин хвиль	C,L
Кількість довжин хвиль в базовій системі	40
Тип використовуваного волокна	Однорежимний відповідно до G.652, G.655, G. 653
Розширення числа довжин хвиль	До 192
Наявність службового зв'язку	Так, аналогові телефони
Система управління	T2000
Інтерфейси	Fibre Channel 1 Gbps, Gigabit Ethernet, SDH (STM-16/64), SONET: OC-48c/192c, 10 Gigabit Ethernet
Рознесення несучих, ГГц	50/100
Транспондери	На фіксовану довжину хвилі перестроювані
Побудова OADM	З виділенням 2xN оптичних каналів або 40 каналів
Режим роботи	3R відновлення вхідного сигналу 3R+інкапсуляція клієнтського графіка G.709 FEC функція корекції помилок, AFEC (удосконалений)
Базовий мультиплексор/демультиплексор	На 40 довжинах хвиль
Сервісні інтерфейси	RS-232/422, сухі контакти 16 входів, вихід сигналізації 8 портів
Обмеження OSNR в області посилення	17дБ
Компенсатори дисперсії	L,C на 10,40,60,80 км
Оптичні підсилювачі	Автоматичне регулювання
Канал управління	OSC керуючий оптичний канал
Резервування	Без; 1+1 два транспондера і два клієнтських інтерфейсу (маршрут); Y-кабель, 2 транспондера, один інтерфейс

Оптична система передачі DWDM OptiX BWS 1600G включає статив, підстатив, блок живлення, блок вентиляторів (включаючи повітряний фільтр), полицю модуля компенсації дисперсії (Dispersion Compensation Module, DCM) та полицю концентраторів. Основною полицею є статив із закріпленою задньою панеллю і знімними бічними панелями з обох боків. Блок живлення встановлено зверху. Полиця модуля компенсації дисперсії DCM та полиця концентраторів встановлені на підставі стативу [15].

В одному стативі може бути змонтовано до трьох підстативів у верхній, середній та нижній частинах стативу. Для кожного підстатива є блок вентиляторів та повітряний фільтр.

Підстатив OptiX BWS 1600G розділений на чотири частини: верхня частина - це область виходу інтерфейсних кабелів або, простіше кажучи, область інтерфейсів. Тут підключаються всі зовнішні електричні інтерфейси, що належать підстативу.

Середня частина призначена для встановлення плат і називається областю встановлення плат.

У нижній частині розміщуються область для прокладання оптоволоконних кабелів та блок вентиляторів.

Розглянемо детальніше область установки плат:

Усього в стативі знаходиться 13 роз'ємів (IU1-IU13), які пронумеровані зліва направо як IU1, IU2, IU3... IU13. Роз'єм IU7 має ширину 24 мм. та зарезервований для SCC/SCE (Плати: управління системою та зв'язку). Інші роз'єми IU (блоків інтерфейсів) мають ширину 38 мм. Усі оптичні інтерфейси виводяться передні панелі плат.

На рисунку 3.5. представлений фасад DWDM-обладнання, на якому зображено розташування плат, де:

- V40 - блок мультиплексування на 40 каналів,
- FIU - блок інтерфейсу оптоволоконного кабелю,
- SCC і SCE - блок зв'язку та управління системою,
- MCA - багатоканальний блок аналізатора спектру,
- D40 - блок демультимплексування на 40 каналів,
- OPU - блок оптичного попереднього підсилювача,

- LWFS - блок перетворення довжини хвилі лінії прийому-передачі STM64 з функцією FEC,
- OAE - блок оптичного підсилювача

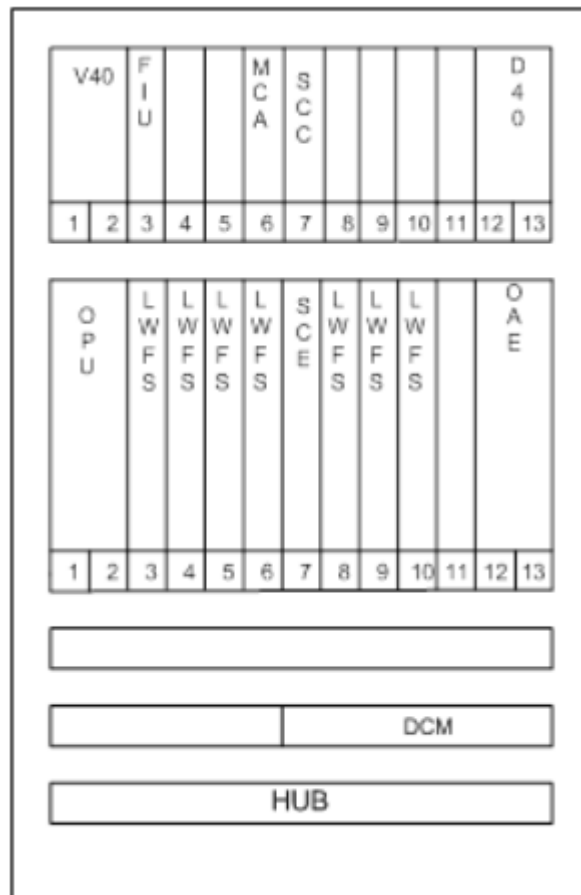


Рисунок 3.5. Фасад DWDM-обладнання OptiX BWS 1600G

У міру зростання трафіку пропускну здатність може бути збільшено, причому нарощування каналів проходитиме без переривання роботи мережі. З введенням в експлуатацію DWDM-мережі оператор зможе пропонувати канали великої ємності, що дозволить скористатися послугами новим клієнтам, яким потрібно оперативно передавати великі обсяги інформації [16].

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

У даному розділі було розглянуто основні критерії для вибору виробника обладнання для магістральної мережі DWDM, вибір самого обладнання для мережі

DWDM і технічні характеристики системи DWDM. Під час вибору виробника обладнання, було враховано такі критерії, як надійність, функціональні можливості, підтримка стандартів, масштабованість, а також вартість обладнання і обслуговування. Виробник повинен мати добру репутацію, надійність своїх продуктів, а також забезпечувати гнучкість і можливість розширення мережі в майбутньому.

Після вибору виробника обладнання, було проведено вибір самого обладнання для мережі DWDM. Вибір залежав від потреб мережі, таких як пропускна здатність, кількість каналів, дальність передачі сигналу, підтримка стандартів і протоколів, а також можливості моніторингу і керування мережею.

В цілому, вибір обладнання для магістральної мережі DWDM є складним і відповідальним процесом. Правильний вибір виробника обладнання, обладнання і технічних характеристик системи DWDM є важливим кроком у забезпеченні ефективної роботи магістральної мережі з високою швидкістю передачі даних і надійністю.

ВИСНОВКИ

У даній дипломній роботі була проведена детальна аналітична робота щодо магістральної мережі Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM). В ході дослідження були розглянуті основні аспекти архітектури та принципи побудови мережі DWDM.

У першому розділі були розглянуті принципи побудови мережі DWDM, а також робота компонентів системи у такій мережі. Був проведений повний аналіз технології DWDM, описані різні типи магістральних мережевих структур DWDM, включаючи простий двоточковий канал DWDM, маршрутизацію довжин хвиль із електронним TDM та повністю оптичну мережу DWDM. Також було досліджено можливості розгортання DWDM через мережу CWDM та розглянуті практичні аспекти розгортання мережі DWDM.

У другому розділі були проведені розрахунки основних параметрів системи DWDM. Було визначено вимоги до ВОЛЗ (волоконно-оптичного лінійного зв'язку) та вибрано відповідний кабель для лінії зв'язку. Також було визначено оптимальну трасу прокладання кабелю та розраховано необхідну кількість та пропускну спроможність системи. Проведено розрахунок параметрів ділянок лінії зв'язку, а також визначено надійність ВОЛЗ та загасання сигналу. На основі цих розрахунків була розроблена схема організації зв'язку.

У третьому розділі були розглянуті основні критерії для вибору виробника обладнання для мережі DWDM. Здійснено вибір відповідного обладнання, а також проаналізовано технічні характеристики системи DWDM.

Отже, в результаті проведеного дослідження було встановлено, що магістральна мережа DWDM є потужним і ефективним засобом передачі даних. Вона забезпечує високу пропускну спроможність, надійність і швидкість передачі, що робить її ідеальним вибором для магістральних мереж з великим обсягом трафіку. Результати цієї роботи можуть бути використані для проектування та розгортання магістральних

мереж DWDM у різних сферах, включаючи телекомунікації, мережеві провайдери і корпоративні мережі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <https://lanmarket.ua/entsiklopediya/telekommunikatsionnye-tekhnologii/dwdm.html>.
2. Gagliardi, R.M., Slusher, R.E. (Eds.). (2012). *Optical Fiber Telecommunications VIB: Systems and Networks*. Academic Press.
3. Ramaswami, R., Sivarajan, K.N. (2009). *Optical Networks: A Practical Perspective* (3rd ed.). Morgan Kaufmann.
4. Bononi, A., Orlandi, A. (2015). *DWDM Network Designs and Engineering Solutions*. Artech House.
5. Pachnicke, S., & Antona, G. (2018). *DWDM Fundamentals, Components, and Applications*. Springer.
6. Kartalopoulos, S.V. (2002). *DWDM Network Designs and Engineering Solutions*. Prentice Hall.
7. Chraplyvy, A.R. (1997). *The Coming Capacity Crunch*. Optical Fiber Communication Conference and Exhibit.
8. Agrawal, G.P. (2001). *Fiber-Optic Communication Systems* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
9. Ramaswami, R., Sivarajan, K.N. (2007). *Optical Networks: A Practical Perspective* (2nd ed.). Morgan Kaufmann.
10. Kazovsky, L.G., et al. (1996). *Optical Fiber Communications* (2nd ed.). Academic Press.
11. Freeman, R. (2002). *Fiber Optic Systems for Telecommunications*. John Wiley & Sons.
12. Chiaroni, D., et al. (2004). Design and Characterization of Integrated Varifocal Lens Array for OADM in WDM Networks. *Journal of Lightwave Technology*, 22(1), 243-249.
13. Cho, Y.S., & Mukherjee, B. (1997). Survivable WDM Mesh Networks. *Journal of Lightwave Technology*, 15(8), 1513-1522.

14. Zhou, Z., et al. (2006). Improved Transmission Performance of 40-Gb/s RZ-DQPSK System Based on Improved RZ Format. *Optics Communications*, 260(1), 1-4.
15. Suryaputra, S.P., et al. (2010). High-Capacity DWDM Networks. *IEEE Communications Magazine*, 48(5), 84-91.
16. Jensen, M.A., & Pedersen, M. (2009). *Routing and Wavelength Assignment in WDM Networks*. Springer..