

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

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

Віктор ГНАТЮК

“ _____ ” _____ 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР

Тема: «Аналіз показників ефективності експлуатації оптоволоконних каналів в
стільникових системах зв'язку»

Виконавець: _____ Вадим Заріцький
(підпис)

Керівник: _____ Ігор Прокопенко
(підпис)

Консультант розділу «Охорона праці» _____ Батир ХАЛМУРАДОВ
(підпис)

Консультант розділу «Охорона навколишнього середовища»
_____ Андріан ЯВНЮК
(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 «Радіоелектронні пристрої, системи та комплекси» .

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувача кафедри

Віктор ГНАТЮК

“ _____ ” _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи

Заріцького Вадим Валентиновича

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

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Аналіз показників ефективності експлуатації оптоволоконних каналів в стільникових системах зв'язку»

затверджена наказом ректора від «28» вересня 2023 р. №1965/ст.

2. Термін виконання роботи: з 02.10.2023 р. по 31.12.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: мережа DWDM, оптичний канал, спектральне ущільнення, оптичний підсилювач, мультиплексор, демультиплексор, модуляція.

4. Зміст пояснювальної записки: дослідження ефективності використання оптоволоконних ліній при організації мобільного зв'язку. Аналіз нових технологічних тенденцій технологій фіксованого доступу. Опис та дослідження розвитку оптоволоконних технологій. Детальний розгляд фізико-технічних характеристики оптоволоконна та аналіз переваг і недоліків ВОЛЗ та вплив цих даних на мобільну мережу. Загальні принципи проектування ВОЛЗ. Огляд систем управління мережами DWDM, WDM та опис пристроїв та мережі DWDM. Детальний аналіз та дослідження DWDM зображений на графіках та малюнках, охорона праці, охорона навколишнього середовища

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: Структура волоконно-оптичних ліній зв'язку; зображення принципів побудови систем спектрального ущільнення DWDM; еволюція технологій фіксованого доступу; оптичний підсилювач EDFA; схема передачі даних через DWDM; зображення мультиплексора; зображення демультимплексора.

6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Розробити деталізований зміст розділів дипломної роботи	02.10.2023-04.10.2023	Виконано
2	Вступ	05.10.2023-08.10.2023	Виконано
3	Аналіз новітніх технологічних тенденцій в технологіях фіксованого доступу	09.10.2023-22.10.2023	Виконано
4	Розвиток оптоволоконних технологій	23.10.2023-05.11.2023	Виконано
5	Переваги і недоліки використання оптоволоконних каналів у стільникових системах	06.11.2023-20.11.2023	Виконано
	Дослідження та аналіз DWDM на 8-м каналів.	21.11.2023-30.11.2023	Виконано
6	Охорона праці	01.12.2023-06.12.2023	Виконано
7	Охорона навколишнього середовища	07.12.2023-17.12.2023	Виконано
8	Усунення недоліків та захист дипломної роботи	18.12.2023-31.12.2023	Виконано

7. Консультанти з окремих розділів

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	к.м.н., проф. Батир ХАЛМУРАДОВ		
Охорона навколишнього середовища	к.б.н., доц. Андріан ЯВНЮК		

8. Дата видачі завдання: “28” серпня 2023 р.

Керівник дипломної роботи

(підпис керівника)

Ігор ПРОКОПЕНКО

(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання

(підпис випускника)

Вадим ЗАРІЦЬКИЙ

(П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи: «Аналіз показників ефективності експлуатації оптоволоконних каналів в стільникових системах зв'язку» містить 88 сторінок, 39 рисунків., 1 таблицю.

Ключові слова: ОПТОВОЛОКНО, МОБІЛЬНИЙ ЗВ'ЯЗОК, ЕФЕКТИВНІСТЬ, РЕАЛІЗАЦІЯ, МЕРЕЖА DWDM, СПЕКТР.

В даній роботі описано дослідження ефективності використання оптоволоконних ліній в стільникових системах зв'язку.

Проаналізовано нові технологічні тенденції технологій фіксованого доступу. Детально описано та досліджено розвиток оптоволоконних технологій, загальні та фізико-технічні характеристики оптоволоконна, проведено аналіз переваг і недоліків використання ВОЛЗ у стільникових мережах зв'язку, будова та складові частини ВОЛЗ, а також показано загальні принципи проектування ВОЛЗ.

У науково-дослідницькій частині йдеться про системи управління мережами DWDM, WDM та описано пристрої та мережі DWDM, котрі використовуються у ВОЛЗ, проаналізовано їх застосування та вплив на роботу стільникових систем. Здійснено детальний аналіз та дослідження DWDM на 8-м каналів у вигляді рисунків та графіків. Проаналізована робота підприємств мобільного зв'язку під час воєнного стану.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1	12
АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	12
1.1. Аналіз новітніх технологічних тенденцій в технологіях фіксованого доступу....	12
1.2. Висновок до розділу 1	15
РОЗДІЛ 2	17
ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	17
2.1. Основні тенденції розвитку оптоволоконних технологій.....	17
2.2. Технічні характеристики оптоволоконних каналів	18
2.3. Переваги і недоліки використання оптоволоконних каналів у стільникових системах.....	22
2.4. Будова та структура оптоволоконних ліній зв'язку.....	24
2.5 Принципи проектування оптоволоконних каналів	26
2.6 Висновок до розділу 2	33
РОЗДІЛ 3	35
НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	35
3.1. Системи управління мережами DWDM та WDM у стільникових системах	35
3.2. Пристрої та мережі DWDM	44
3.3. Розрахунок оптичного каналу DWDM системи	47
3.4 Дослідження та аналіз DWDM на 8-м каналів	54
3.5 Висновок до розділу 3	68
РОЗДІЛ 4	69
ОХОРОНА ПРАЦІ.....	69
4.1. Охорона праці при роботі з оптичним волокном	69
4.2 Робота підприємств мобільного зв'язку у воєнний час	71

4.3.Примірний розподіл функціональних обов'язків з охорони праці керівників, посадових осіб і фахівців підприємств галузі	75
4.4.Висновки за розділом 4.....	79
РОЗДІЛ 5	80
ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	80
5.1. Охорона навколишнього середовища при роботі з оптичним волокном.....	80
5.2.Висновки за розділом 5.....	81
ВИСНОВКИ	82
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	83

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ARPU (Average revenue per user) - показник, що використовується компаніями зв'язку і означає середній дохід від одного користувача за фіксований часовий інтервал.

ІМТ - Міжнародний рухомий (мобільний) зв'язок.

BER (bit error rate) - коефіцієнт бітових помилок.

DWDM - (dense wavelength division multiplexing) щільне спектральне ущільнення каналів передачі.

EDFA (erbium doped fiber amplifier) - ОПУ на ОВ, легованому іонами ербію.

HDWDM (high dense wavelength division multiplexing) - високощільне DWDM.

MUX (multiplexer) - мультиплексор.

NZDSF (non zero dispersion shifted fiber) - волокна з ненульовою зміщеною дисперсією.

OADM (optical adddrop multiplexer) - оптичний мультиплексор вводу виводу.

OSNR (optical signal-to-noise ratio) - оптичне відношення сигнал/шум.

OADM (reconfigurable optical add drop multiplexer)- реконфігурований оптичний мультиплексор з вводом виводу.

SFP (small form factor p pluggable) - модульний компактний трансивер.

WDM (wavelength division multiplexing)- спектральне ущільнення каналів.

ВОЛЗ - -волоконно оптична лінія зв'язку.

ЗОА - змінний оптичний атенюатор.

ЗОП - змінний оптичний підсилювач.

ОВ - оптичне волокно.

ОМ - оптичний мультиплексор.

ОП - оптичний підсилювач.

ОПУ - оптичний підсилювач потужності.

ВСТУП

Актуальність. Волоконно-оптична лінія зв'язку (ВОЛЗ) — це система, що використовує світлові хвилі для передачі інформації. З розвитком електроніки спостерігається тенденція до використання все більш високих частот, що може призвести до того, що електроніка та радіотехнології досягнуть оптичного діапазону довжин хвиль. Основною тенденцією в бездротових широкосмугових підключеннях і трафіку є зростаючий попит на спектр, пов'язаний з постійним збільшенням кількості пристроїв, підключених до широкосмугового Інтернету, а також з використанням бездротової передачі даних. Сучасний рівень розвитку волоконно-оптичних систем зв'язку характеризується значним технологічним проривом, який дозволив значно збільшити пропускну здатність ВОЛЗ. Наразі практичне впровадження ВОЛЗ з пропускну здатністю 1 Тбіт/с і більше є актуальним завданням. Найважливішими елементами високошвидкісних оптичних мереж є передавальні та приймальні модулі, модулятори, широкосмугові оптичні підсилювачі, компенсатори дисперсії, демультимплексори та комутатори. Передавальні та приймальні модулі відповідають за передачу та прийом світлових сигналів. Модулятори перетворюють електричні сигнали в світлові. Широкосмугові оптичні підсилювачі посилюють світлові сигнали. Компенсатори дисперсії компенсують спотворення світлових сигналів, що виникають при їх поширенні в оптичному волокні. Демультимплексори розділяють світлові сигнали на кілька каналів. Комутатори здійснюють перемикання світлових сигналів між різними каналами.

Мета та задачі дослідження: Вивчення фізичних основ ВОЛЗ та розрахунок конструктивних і технологічних параметрів ВОЛЗ які є необхідними для проектування та створення ефективних волоконно-оптичних ліній зв'язку та аналіз їх ефективності при роботі мобільної мережі.

Об'єкт дослідження є розробка і реалізація 8-канального ВОЛЗ, в якому використовуються мультиплексування і демультимплексування хвиль на оптичній лінії.

Предмет дослідження є фізичні основи роботи ВОЛЗ, параметри ВОЛЗ, основи розрахунку параметрів ВОЛЗ.

Методи дослідження. Було проведено дослідження типових методів, які застосовуються для мультиплексування оптичних сигналів у волоконно-оптичних лініях зв'язку.

Наукова новизна одержаних результатів. Результати, отримані на основі досліджень та аналізів, що є науковою новизною у проведенні роботи, а саме:

- Дослідження широкосмугового зв'язку за допомогою інноваційних та альтернативних технологій.
- Здійснено аналіз DWDM на 8-м каналів.

Практичним значення одержаних результатів є побудова ВОЛЗ для створення засобу оптичного зв'язку, з хорошим рівнем потужності сигналу та стабільного відношення сигнал/шум в змодельованій лінії.

Структура роботи. У магістерську роботу входять вступ, 5 описаних розділів, висновки та список використаної літератури.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз новітніх технологічних тенденцій в технологіях фіксованого доступу

Технології фіксованого доступу (fixed access) забезпечують доступ до Інтернету та інших мережевих ресурсів через стаціонарні лінії зв'язку, такі як телефонні лінії, оптичні волокна та кабельні мережі. Ці технології є основним джерелом доступу до Інтернету для більшості користувачів у світі.

У останні роки в технологіях фіксованого доступу спостерігається ряд важливих тенденцій. Ці тенденції обумовлені як розвитком нових технологій, так і зміною потреб користувачів.

Основні тенденції в технологіях фіксованого доступу

Однією з найважливіших тенденцій у технологіях фіксованого доступу є перехід до волоконно-оптичних мереж. Оптичні волокна забезпечують набагато більш високі швидкості передачі даних, ніж традиційні телефонні лінії. Це дозволяє надавати користувачам більш широкий спектр послуг, включаючи потокове відео, віртуальну реальність та інші високошвидкісні додатки.

Іншою важливою тенденцією є розвиток технологій 5G. 5G-мережі забезпечують набагато більш високі швидкості передачі даних, ніж 4G-мережі. Це дозволяє надавати користувачам доступ до Інтернету на високих швидкостях навіть у місцях, де немає доступу до волоконно-оптичних мереж.

Також спостерігається тенденція до зростання популярності технологій кабельного доступу. Кабельні мережі забезпечують більш високі швидкості передачі даних, ніж традиційні телефонні лінії. Крім того, кабельні оператори часто пропонують користувачам широкий спектр додаткових послуг, таких як кабельне телебачення та телефонія.

Еволюція технологій фіксованого доступу

Технологія	Наявні можливості	Можливість оновлення	Довгострокова перспектива
Мідь/xDSL	1-20 Мбіт/с (ADSL)	20-50 Мбіт/с (VDSL)	>100 Мбіт/с (G.Fast)
Коаксіальний кабель/DOCSIS	30-100 Мбіт/с(DOCSIS 3.0)	100-250 Мбіт/с(DOCSIS3.1)	>500 Мбіт/с
Оптоволокно/GPON	100-1000 Мбіт/с(GPON)	100-1000 Мбіт/с(GPON)	>1000 Мбіт/с(xxPON)

Таблиця 1.1

Розвиток мереж xDSL є прикладом того, як мережі фіксованого широкопasmового зв'язку можна поступово модернізувати для забезпечення більш високих вимог до швидкості та пропускної здатності.

Конкурентні міркування зазвичай обумовлюють потребу в модернізації, тоді як економічні міркування відштовхуються від вартості модернізації та зміни цін у технологічній екосистемі.

Еволюція мережевих технологій залежить від багатьох міркувань, зокрема:

Конкурентне середовище: оператори телекомунікацій повинні інвестувати в модернізацію своїх мереж, щоб залишатися конкурентоспроможними.

Специфічні поступки для технології: деякі технології, такі як оптоволокно, мають більш високі початкові витрати, але пропонують більш високі швидкості та пропускну здатність.

Швидкість еволюції ринку: якщо ринок швидко розвивається, оператори можуть бути змушені інвестувати в модернізацію своїх мереж, щоб підтримувати темпи.

Наслідки для грошових потоків: модернізація мереж може бути дорогим проектом, і оператори повинні бути впевнені, що зможуть отримати прибуток від своїх інвестицій.

Інвестиційна спроможність операторів: не всі оператори мають однакові фінансові можливості для інвестування в модернізацію своїх мереж.

Стан існуючих мереж: оператори можуть вирішити, що модернізація їхніх існуючих мереж є більш економічно доцільною, ніж будівництво нових мереж.

Перехід на волокнистий розчин пов'язаний з такими факторами:

Технологія зріла, тому витрати стабільні: технологія оптоволокна добре зарекомендувала себе і має стабільні витрати.

Відстань «останньої милі» та якість мережі: оптоволокно є більш надійним, ніж мідні кабелі, і може передавати дані на більші відстані.

Здатність зменшити капітальні витрати: оператори можуть зменшити капітальні витрати на модернізацію, повторно використовуючи існуючі канали і оптоволоконну мережу.

Більше захоплення/високий ARPU/висока щільність: оператори, які мають більше клієнтів, вищий ARPU або більш високу щільність населення, можуть бути більш здатними інвестувати в модернізацію.

Збільшення споживання контенту та інших послуг з доданою вартістю: оператори можуть отримувати додатковий прибуток від надання контенту та інших послуг з доданою вартістю.

Окрім вибору технології доступу, на широкосмугові мережі впливають такі тенденції:

Збільшення використання базової мережі: зростання попиту на високошвидкісний інтернет призводить до збільшення використання базової мережі.

Високі ціни на транзит IP: оператори стикаються з високими витратами на міжнародні IP-з'єднання.

Більший відтік і конкуренція: зростаюча конкуренція може негативно вплинути на бізнес-кейси операторів.

Низьке охоплення/низький ARPU/низька щільність: країни з низькою доступністю до широкопasmового інтернету мають низьке охоплення та платять менше в середньому.

Вплив тенденцій на розвиток технологій фіксованого доступу

Ці тенденції мають значний вплив на розвиток технологій фіксованого доступу. Перехід до волоконно-оптичних мереж та розвиток технологій 5G призведе до підвищення швидкості передачі даних та збільшення доступності високошвидкісного інтернету. Це дозволить надавати користувачам більш широкий спектр послуг та підвищити їхню задоволеність.

Розвиток технологій кабельного доступу також сприятиме зростанню конкуренції на ринку фіксованого доступу. Кабельні оператори будуть конкурувати з операторами волоконно-оптичних мереж за користувачів. Це призведе до зниження цін на послуги фіксованого доступу та підвищення якості обслуговування.

Перспективи розвитку технологій фіксованого доступу

У найближчі роки можна очікувати подальшого розвитку цих технологій. Волоконно-оптичні мережі та технології 5G будуть продовжувати поширюватися, що призведе до підвищення швидкості передачі даних та збільшення доступності високошвидкісного інтернету.

Кабельні мережі також будуть продовжувати розвиватися. Кабельні оператори будуть інвестувати в модернізацію своїх мереж та розвиток нових послуг.

Ці тенденції призведуть до зростання конкуренції на ринку фіксованого доступу та підвищення якості обслуговування користувачів.

1.2. Висновок до розділу 1

У розділі проведено аналіз та дослідження різних технологій фіксованого доступу. Описано основні плюси та мінуси кожної технології.

Постійний зростаючий попит на спектр є основною тенденцією в бездротових широкосмугових з'єднаннях і трафіку. Цей попит сприяє значному та постійному зростанню кількості підключених до широкосмугового зв'язку пристроїв, а також зростанню використання бездротових даних, як через мобільний широкосмуговий зв'язок (ІМТ, відомий як 3G, 4G і 5G), так і через інші бездротові технології.

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1. Основні тенденції розвитку оптоволоконних технологій

Розвиток оптоволоконних технологій в сфері зв'язку суттєво вплинув на структуру та продуктивність телекомунікаційних систем. Вперше оптоволоконну лінію зв'язку побудували у 1977 році, і вже з наступного року ця технологія стала незамінною для забезпечення зв'язку в усьому світі. Щороку встановлюється понад 7 мільйонів кілометрів одномодового оптоволокна, що свідчить про важливість цього типу інфраструктури для сучасних телекомунікацій.

Оптоволоконне підключення відзначається низьким рівнем шуму та високою ступенем безпеки. Використання пластикових оптичних волокон для коротких з'єднань дозволяє досягти великої пропускнуєї спроможності, а останні розробки в цій галузі вказують на можливість передачі даних зі швидкістю до 40 Гбіт/с при певних умовах. Помилка передачі даних через оптичне волокно є мінімальною, що дозволяє уникнути необхідності перевірки цілісності повідомлень.

При аналізі показників ефективності оптоволоконних каналів в стільникових системах зв'язку важливо враховувати не лише технічні характеристики, але і їхнє використання в реальних умовах. Багатожильні оптичні кабелі широко використовуються в мережах, але існують і інші конфігурації, такі як дво- чи чотирижильні та плоскі кабелі. Світло вводиться в волокно за допомогою світлодіода або напівпровідникового лазера, а для забезпечення механічної міцності кабелю використовується сталевий трос. Зовнішня оболонка кабелю забезпечує міцність і стійкість до зовнішніх факторів.

Аналіз показників ефективності оптоволоконних каналів в стільникових системах зв'язку стає ключовим завданням для телекомунікаційних операторів

та інженерів, які відповідають за планування та управління мережами зв'язку. Надійність, пропускна здатність і швидкість передачі даних через оптоволоконні канали визначають якість послуги і задоволення потреб споживачів.

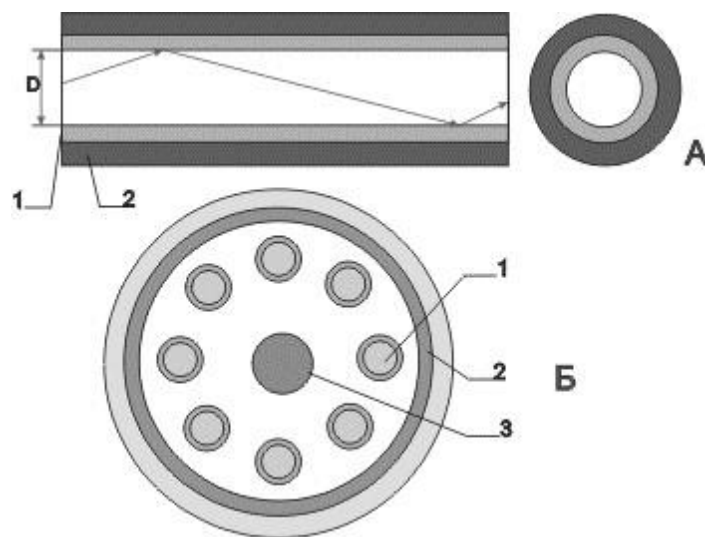


Рис.2.1. Вигляд в перетині оптичного кабеля

2.2. Технічні характеристики оптоволоконних каналів

Передача світла по оптичним волокнам базується на використанні ефекту повного внутрішнього відбивання, який виникає завдяки тому, що показник заломлення серцевини волокна вищий, ніж показник заломлення оболонки. Оптичне волокно складається з основних компонентів: серцевини та оболонки. Основним матеріалом для серцевини є високочистий плавлений кремнезем, який може бути покритий одним або двома захисними пластиковими оболонками. Для цього застосовуються акрилатні матеріали, оскільки міцність волокна залежить від якості оболонки.

Світловий сигнал, який надходить до оптичного волокна, перетворюється джерелом світла в модульоване світло, що поширюється вздовж волокна. На зворотному кінці оптичного волокна оптичні сигнали перетворюються фотодетектором назад в електричні сигнали. На довгих відстанях можуть бути

використані ретранслятори, які складаються з приймача, підсилювача та передавача, для підтримки і посилення сигналу.

Оптоволокно представляє собою циліндр із легованого кварцового скла. Для передачі сигналу найчастіше використовуються два основних типи волокон: одномодові та багатомодові. Назва оптичного волокна залежить від того, яким чином в ньому поширюється світловий сигнал. У багатомодовому волокні розмір серцевини зазвичай становить близько 50-60 мкм, що призводить до одночасного поширення великої кількості мод - світлових променів, які вводяться у волокно під різними кутами (рис. 2.2).

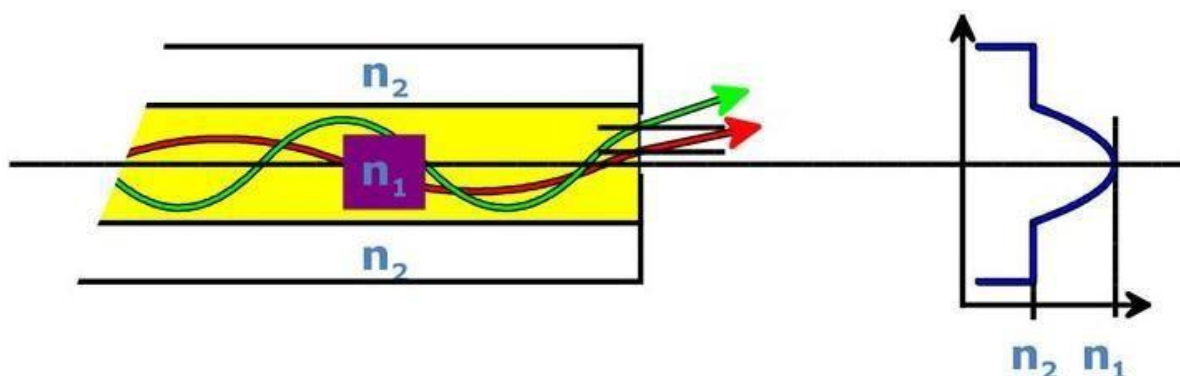


Рис.2.2. Багатомодове оптичне волокно.

Багатомодове волокно має відносно великий діаметр серцевини, зазвичай стандартні значення становлять 50 і 62,5 мікрметри, і високу числову апертуру, що робить його досить зручним для монтажу та експлуатації. Проте, одним із основних недоліків багатомодового волокна є міжмодова дисперсія. З метою зменшення впливу цієї дисперсії, було розроблено багатомодове волокно з градієнтним профілем показника заломлення. Однак досі не вдалося повністю усунути міжмодову дисперсію, і це пояснюється як недосконалістю профілю показника заломлення, так і наявністю так званих спіральних мод, які виникають через осьову симетрію волокна і які неможливо повністю усунути.

Градiєнтне волокно характеризується профілем показника заломлення, що призводить до меншої дисперсії часу, що, в свою чергу, призводить до менших спотворень форми сигналу. Використання цього типу профілю показника

заломлення дозволяє знизити дисперсію до 1 наносекунди на кілометр або навіть менше. Важливо зазначити, що світловим імпульсам надається певна форма, яка не залежить від ефектів дисперсії. Наприклад, сигнали можуть передаватися на великі відстані без регенерації, і цей режим відомий як солітони. У 1990 році, Лінн Моллінар з Bellcore продемонстрував можливість передачі даних без регенерації на швидкості 2,5 Гбіт/с на відстань 7500 кілометрів за допомогою волоконного кабелю, в якому використовувалися солітони і додавання ербію для посилення сигналу.

Зараз, для досягнення кращої ефективності передачі сигналу, часто потрібно використовувати повторювачі кожні 30 кілометрів (порівняно з 5 кілометрами для мідних кабелів). У порівнянні з мідними кабелями, волоконно-оптичні кабелі значно легше і менш важкі. Наприклад, для того, щоб покрити ту ж відстань, 1000 кручених пар проводів важать 8 тонн, тоді як два волокна однакової довжини та більшої ємності важать всього 100 кілограмів. Це дає можливість розглядати волоконно-оптичні кабелі для прокладання на високовольтних лініях передачі електроенергії для підвішування або обмотування проводів.

Однак, важливо враховувати, що чим більше мод, тим більше спотворень форми сигналу відбувається через модальну дисперсію. Одномодове волокно дозволяє передавати сигнали на значно більшу відстань, з меншими втратами та спотвореннями сигналу. У волоконних кабелях, де використовуються одномодові волокна, зазвичай використовуються лазерні джерела, які випромінюють світло лише певної довжини хвилі, але такі джерела можуть бути дорогими та нестабільними. Проте, в майбутньому одномодове волокно, імовірно, стане основним видом волоконних кабелів завдяки своїм відмінним характеристикам. Одним із ключових факторів, який впливає на якість передачі сигналу, є дисперсія, і загалом дисперсія означає розтягнення світлового імпульсу під час його передачі в оптичному волокні.

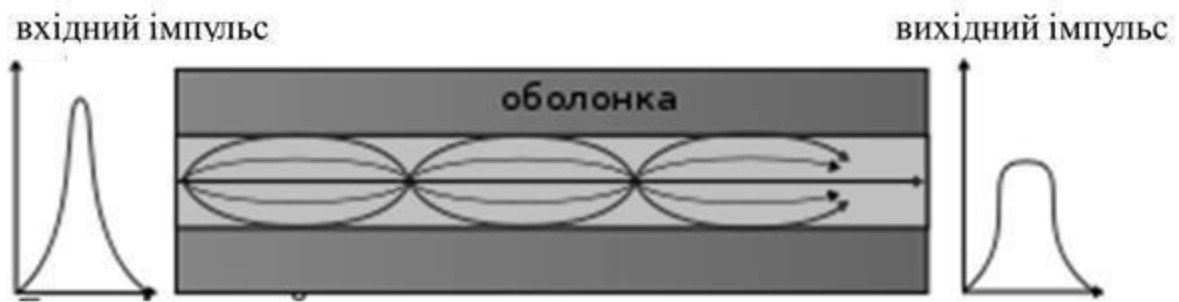


Рис.2.3. Схематична будова і принцип роботи градієнтного оптичного волокна

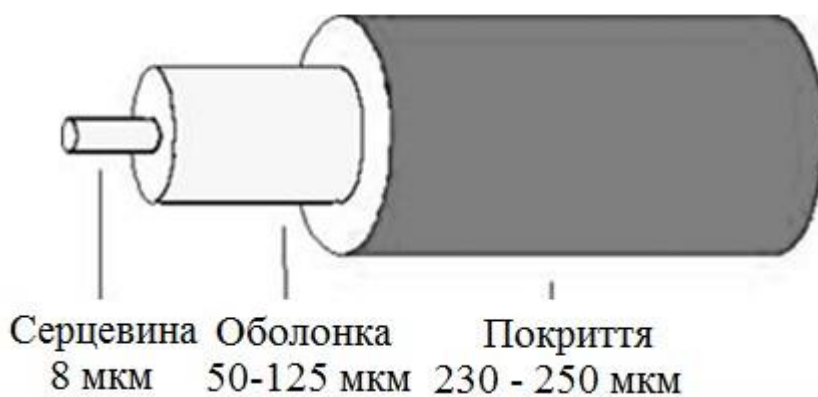


Рис 2.4. Одномодове оптичне волокно

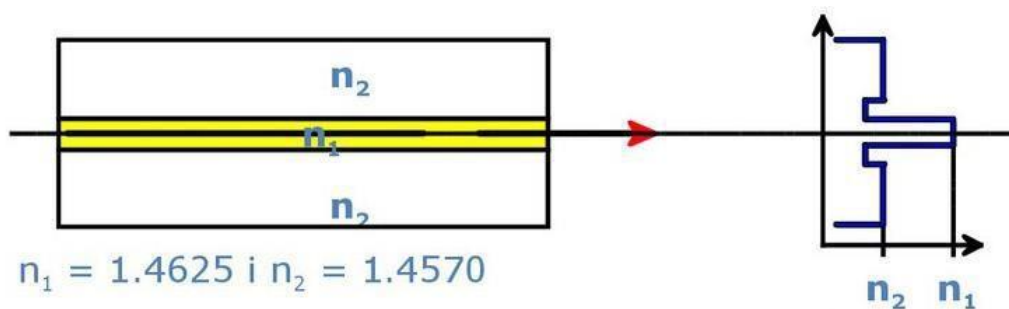


Рис.2.5. Хід променя в одномодовому оптичному волокні: n_0 і n_1 – коефі-цієнт заломлення серцевини і оболонки

Дисперсія сильно обмежує швидкість роботи оптичних систем і значно знижує максимальну пропускну здатність. Це залежить від діаметра центральної частини волокна та довжини хвилі світла. Кількість мод N для багатомодового волокна визначається як:

$$N = \frac{2\pi^2 d^2 A}{\lambda^2} \quad (2.1)$$

де d – діаметр центральної частини (ядра); A – чисельна апертура волокна; λ – довжина хвилі.

2.3. Переваги і недоліки використання оптоволоконних каналів у стільникових системах

Використання оптоволоконних каналів у стільникових системах має свої переваги і недоліки, які можна розглядати з різних поглядів. Розглянемо їх у деталях.

Переваги використання оптоволоконних каналів у стільникових системах:

1. Велика пропускна спроможність: Оптоволоконні канали дозволяють передавати великі обсяги даних із високою швидкістю. Це особливо важливо в сучасних стільникових мережах, де користувачі споживають все більше відео та інтернет-трафіку.

2. Малі втрати сигналу: Оптоволоконно має дуже малі втрати сигналу під час передачі, що дозволяє покривати значно більші відстані без необхідності в посилювачах сигналу.

3. Низька електромагнітна інтерференція: Оптоволоконні канали не видають електромагнітних випромінювань і не вразливі до зовнішніх електромагнітних перешкод. Це допомагає знизити інтерференцію та забезпечити стійкість мережі.

4. Безпека: Оптоволоконно важко піддатися відмові через зовнішні втручання, оскільки не видає сигналу, який можна перехопити без фізичного доступу до волокна.

5. Можливість використання для резервування: Оптоволокно може бути використане для побудови резервних маршрутів у разі відмови головних каналів.

6. Довгий термін служби: Оптоволокно має довгий термін служби та не схильне до окислення або корозії, що знижує потребу в регулярній заміні.

7. Можливість передачі сигналів на великі відстані без регенерації: Завдяки низьким втратам і спеціальним методам передачі, оптоволокно дозволяє передавати сигнали на дуже великі відстані без необхідності в додатковій регенерації.

Недоліки використання оптоволоконних каналів у стільникових системах:

1. Високі витрати на прокладання і обслуговування: Встановлення і обслуговування оптоволоконних мереж може бути дорожчими порівняно з мідними кабелями та іншими технологіями.

2. Вразливість до пошкоджень: Фізичні пошкодження оптоволоконних кабелів, такі як розриви або перерізи, можуть призвести до втрати сигналу і вимагати складної та дорогої ремонтної роботи.

3. Складність монтажу: Робота з оптоволоконном вимагає спеціалізованих знань та обладнання, що може зробити процес монтажу складним.

4. Залежність від джерела живлення: Для підтримки оптоволоконної інфраструктури потрібне живлення для роботи пристроїв, таких як регенератори та комутатори.

5. Потреба в конвертації сигналів: В стільникових системах часто використовуються радіосигнали, які потребують конвертації в оптичні сигнали для передачі через оптоволоконний канал і навпаки.

6. Можливість затримки сигналу: Довжина оптоволоконного каналу може призвести до деякої затримки сигналу, що важливо враховувати в додатках, які вимагають низької латентності.

Також, дійсні переваги і недоліки можуть варіюватися в залежності від конкретного використання та технологій, що використовуються у стільниковій системі.

2.4 Будова та структура оптоволоконних ліній зв'язку

Загальний будова та структура оптоволоконних ліній зв'язку включає в себе наступні елементи:

1. Вхідний кодер (КП): Вхідний кодер відповідає за перетворення вхідної інформації (наприклад, голосових даних чи даних з Інтернету) на формат, придатний для передачі через оптичний канал. Він може включати в себе компресію даних і кодування для забезпечення якості інформації.

2. Передавач: Передавач складається з джерела випромінювання (ДВ) і модулятора (М). Джерело випромінювання може бути лазером або світлодіодом і генерує світловий сигнал. Модулятор контролює інтенсивність цього світлового сигналу відповідно до вхідних даних.

3. Оптичний кабель: Оптичний кабель є носієм світлового сигналу і передає його на великі відстані без втрати сигналу.

4. Повторювач (П): У великих оптичних лініях зв'язку спостерігається ослаблення світлового сигналу, тому потрібен повторювач. Повторювач приймає оптичний сигнал, підсилює його і відновлює інтенсивність світлового променя для подальшої передачі.

5. Приймач: Приймач отримує оптичне випромінювання, яке приходить через оптичний кабель. Він перетворює світловий сигнал назад у електричний сигнал.

6. П-підсилювач (передавач-підсилювач): П-підсилювач підсилює електричний сигнал, отриманий від приймача, для підвищення якості інформації та забезпечення додаткової передачі.

7. Декодуєчий пристрій (ДКП): Декодуєчий пристрій служить для декодування інформації, яка була закодована на вхідному кодері. Він відновлює оригінальні дані для подальшого використання або відтворення.

Цей загальний опис показує, як інформація передається через оптичний канал у структурі ВОЛЗ. Кожен елемент системи має свою важливу роль у забезпеченні ефективної передачі даних через оптичний зв'язок.

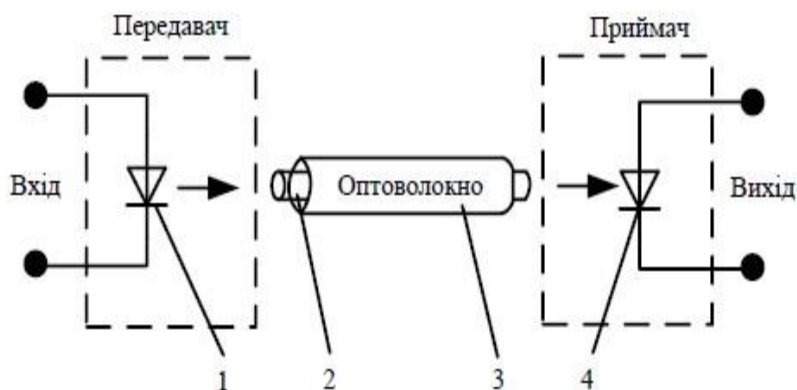


Рис. 2.6. Структурна схема волоконно -оптичної лінії зв'язку: 1 – світлодіод; 2 – серцевина; 3 – оболонка; 4 – фотодіод[3]

Оптоволоконні лінії зв'язку (ОВЛЗ) мають складну будову та структуру, яка дозволяє передавати велику кількість даних на великі відстані через світлові сигнали, що поширюються в оптичних волокнах. Розглянемо основні складові та структуру оптоволоконних ліній зв'язку:

1. Оптичне волокно (ОВ): Це основний носій світлового сигналу в ВОЛЗ. Оптичне волокно складається з двох головних частин:

- Серцевина (Core): Це центральна частина волокна, де світловий сигнал поширюється. Серцевина зазвичай виготовляється з високоякісного скла або інших оптичних матеріалів. Її показник заломлення вищий, ніж у зовнішній оболонці.

- Оболонка (Cladding): Оболонка оточує серцевину і має менший показник заломлення. Вона виконує функцію збереження світлового сигналу в серцевині, допомагаючи відбити промінь назад у серцевину за принципом повного внутрішнього відбиття.

2. Зовнішній оболонковий шар (Coating): Цей шар захищає оптичне волокно від механічних пошкоджень, вологи і інших негативних впливів. Зовнішній шар може бути з волоконного пластику або інших матеріалів.

3. Сталева оплітка (Steel Strength Member): У деяких ВОЛЗ може бути додатковий шар сталеві оплітки, який надає додаткову міцність і захист оптичному волокну. Він особливо корисний для застосувань в умовах збільшеної механічної навантаженості.

4. Оптичні з'єднувачі (Connectors): Оптичні з'єднувачі використовуються для підключення оптоволоконних кабелів один до одного або до активних компонентів мережі, таких як приймачі та передавачі.

5. Повторювачі (Repeaters): У великих оптоволоконних системах, де сигнал може затухнути на великій відстані, використовують повторювачі для підсилення сигналу і продовження передачі.

6. Активні та пасивні компоненти: Оптоволоконні лінії зв'язку можуть включати в себе різні активні компоненти, такі як лазери і фотодетектори, а також пасивні компоненти, такі як мультиплексори та розгалужувачі.

Структура оптоволоконних ліній зв'язку може бути різною в залежності від конкретного застосування та вимог мережі. ВОЛЗ використовуються для передачі даних у телефонних мережах, Інтернеті, кабельному телебаченні, медичних системах, оборонних застосуваннях і багатьох інших областях, де необхідна висока швидкість і надійність передачі даних.

2.5. Принципи проектування оптоволоконних каналів

Оптоволоконні системи призначені для передачі інформації на великі відстані (десятки, сотні, тисячі кілометрів) по безлічі каналів. Вони мають низьке загасання і розсіювання, а також високу пропускну здатність.

Оптичні системи громадського транспорту служать для зв'язку між адміністрацією міста та транспортними вузлами. Вони характеризуються високою надійністю та низькою вартістю експлуатації.

Системи об'єктів використовуються для передачі інформації всередині об'єкта (заводу, будівлі, підприємства тощо). До них належать різні види систем, наприклад, внутрішньозаводський зв'язок, відеотелефонний зв'язок, мережа внутрішнього кабельного телебачення, бортові інформаційні системи рухомих об'єктів.

Підводні системи передачі призначені для зв'язку через моря і океани. Вони характеризуються високою надійністю та стійкістю до впливу морської води.

Кабелі оптоволоконні монтажні призначені для монтажу обладнання всередині будівель і споруд. Вони характеризуються гнучкістю, легкістю та простотою монтажу.

Налагодження ВОЛЗ відбувається в наступних етапах:

- 1)розробка технічного завдання
- 2)розробка проектної документації
- 3)прокладка та монтаж кабелів
- 4)монтаж обладнання для ВОЛЗ
- 5) введення в експлуатацію ліній

Розробка технічного завдання відбувається після замовлення на будівництво ВОЛЗ. При цьому визначаються основні правила будівництва, система електропередачі, траса, тип кабелю та загальна вартість будівництва.

При будівництві ВОЛЗ кабелі прокладають різними способами, залежно від умов території:

У землі кабелі прокладають без траншей за допомогою кабелеукладачів або в заздалегідь підготовлену траншею. Глибина прокладання становить 1,2 м.

По дну водойм кабелі прокладають за допомогою морських або річкових кабелеукладачів.

На опорах ЛЕП, електрифікованих залізниць, повітряних ліній кабелі прокладають разом з підвіскою.

У кабельних каналах, підземних тунелях, колекторах кабелі прокладають в спеціально призначених для цього спорудах.

У будівлях кабелі прокладають до кінцевих пристроїв.

Прокладка кабелів у землі: Волоконно-оптичні кабелі вкопують у землю без траншей за допомогою кабелеукладача або в заздалегідь підготовлену траншею ручним або машинним способом. Глибина прокладання становить 1,2 м.

Прокладка кабелів по дну водойм: Для прокладання кабелів на морському дні використовуються спеціальні кабелі з дуже міцною конструкцією. Монтаж здійснюється морськими кабелеукладачами (спеціальним судном).

Прокладка кабелів на опорах: Кабелі прокладають разом з підвіскою на опорах ЛЕП, електрифікованих залізниць, повітряних ліній.

Прокладка кабелів у кабельних каналах, підземних тунелях, колекторах: Кабелі прокладають в спеціально призначених для цього спорудах.

Прокладка кабелів у будівлях: Кабелі прокладають до кінцевих пристроїв у будівлях.

Прокладка кабелів через водні перешкоди може здійснюватися різними способами, залежно від цільового призначення кабельних трас і місцевих умов.

Під водою кабелі прокладають за допомогою спеціального обладнання, яке забезпечує їх захист від механічних пошкоджень і впливу води. Для цього використовуються морські або річкові кабелеукладчики, які спускаються на дно водойми. Кабелю надають спеціальну конструкцію, яка забезпечує його міцність і довговічність при експлуатації під водою.

На мостах кабелі прокладають по опорах мосту. Для цього використовуються спеціальні кронштейни і кріплення, які забезпечують надійну фіксацію кабелю.

На штучних спорудах кабелі прокладають по спеціально обладнаних опорах. Для цього використовуються опори, які мають достатню міцність для підтримки кабелю і здатні витримувати навантаження від нього.

Прокладка кабелів у кабельних каналах

При прокладанні кабелів у кабельних каналах слід дотримуватися таких правил:

Натяг кабелю не повинен перевищувати рекомендованого значення. Це запобігає пошкодженню кабелю при його прокладанні.

При прокладанні кабелю в кабель-канал використовуються напрямні пристрої, які захищають кабель від пошкоджень. Це забезпечує плавне проходження кабелю по каналу і запобігає його заплутуванню.

Прокладка кабелів на опорах доцільна, коли з якихось причин неможливо прокласти кабелі в землі або в кабельних каналах. Наприклад, при вічній мерзлоті, кам'янистому ґрунті, при прокладці через річки, глибокі болота тощо.

Опори для прокладки кабелів на опорах повинні мати достатню міцність для підтримки кабелю і здатні витримувати навантаження від нього. Крім того, опори повинні бути розташовані на достатній відстані один від одного, щоб забезпечити надійну фіксацію кабелю.

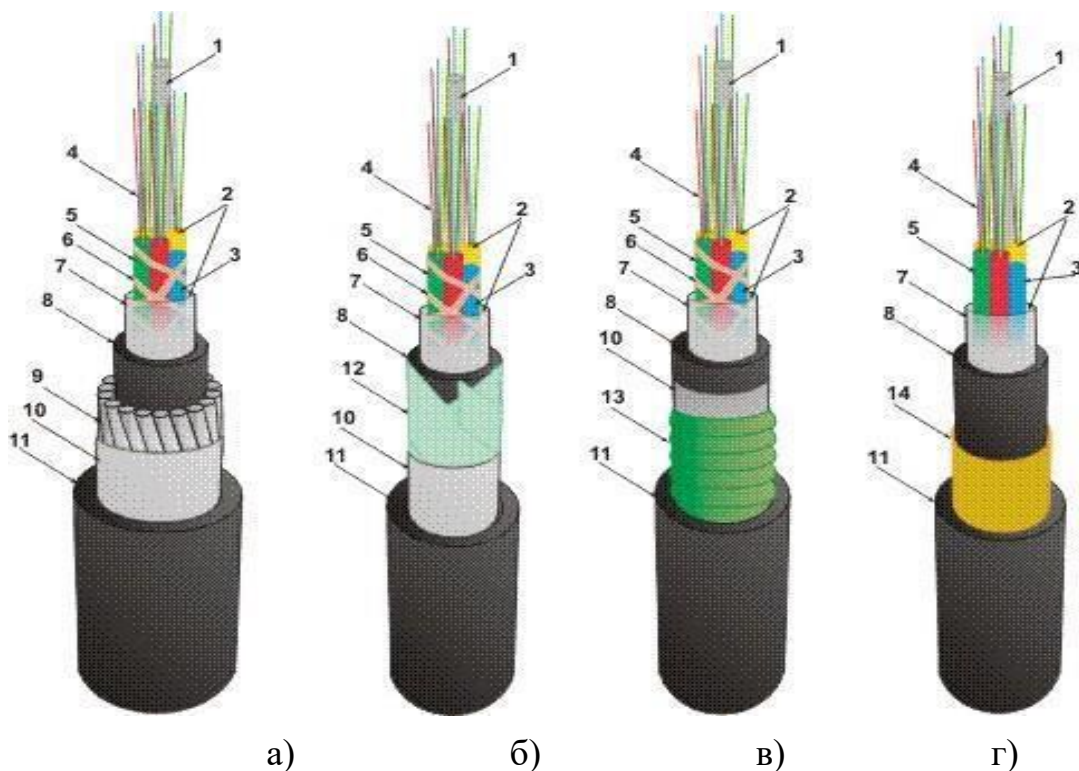


Рис. 2.7. Конструкції волоконно-оптичних кабелів зв'язку для підземної прокладки : а – кабелі з бронею з круглих (плоских) сталевих дротів;

б – канат в броні з двох сталевих смуг; в – гофрований кабель; г – повністю діелектричний кабель:

1 - центральний силовий елемент; 2 - водовідштовхувальний наповнювач; 3 - присадковий шнур (для щільного укладання елементів в сердечник ОК); 4 - оптоволокно (основний елемент структури оптоволоконного кабелю); 5 - оптичний модуль; 6 - монтажна різьба; 7 - сердечник гідроізоляційний - гідроізоляційна стрічка (паперова); 8 - внутрішня (проміжна) поліетиленова оболонка; 9 - броня з круглих сталевих дротів; 10 - бронегідроізоляція - гідроізоляційна стрічка (паперова); 11 - зовнішній захисний кожух з поліетилену або полімеру, який не поширює опік; 12 - броня з двох сталевих смуг, накладених один на одного з боків; 13 - гофрована оболонка; 14 - нитки SVM (висока міцність на розрив)

Підвісні оптичні кабелі (ОК) мають такі експлуатаційні переваги:

відносно швидке будівництво ВОЛЗ;

відсутність труднощів приведення місця пошкодження в порядок;

низька ймовірність виходу з ладу кабелю.

Підводні оптичні кабелі

Підводні оптичні кабелі відрізняються від інших тим, що вони прокладені в принципово інших умовах. Практично всі типи підводних кабелів так чи інакше броньовані, і ступінь броні залежить від рельєфу морського дна і його глибини. Розрізняють такі основні типи підводних кабелів (за типом броні):

неброньовані;

єдине (разове) бронювання;

розширене бронювання (в одну сторону);

зміцнений гірський запас (подвійний шар).

Ізоляція кабелю не залежить від глибини його прокладання, оскільки посилення захищає оптику не від високого тиску на глибині, а від впливу морських мешканців, сіток, тралів і якорів рибальських суден.

ВОЛЗ мають такі переваги:

неприпустимість індуктивних перешкод при побудові інформаційних систем в енергетичних комплексах;

висока надійність в безпосередній близькості до електрообладнання великої потужності та високовольтних ліній.

Вибір варіанту прокладки оптоволоконного кабелю залежить від природних умов оптоволоконної лінії зв'язку.

При виборі шляху підвішування ОК на опорах слід уникати ділянок з агресивними ґрунтами по відношенню до матеріалу цих опор.

Інші способи прокладки використовуються у місцях, де телефонний кабельний канал перевантажений або відсутній взагалі, а також при виведенні волоконно-оптичної установки на віддалені об'єкти, кабель прокладають міні- та мікротраншеями або використовують поліетиленову трубку, в яку кабелі згодом укладаються методом пневматичного вдування.

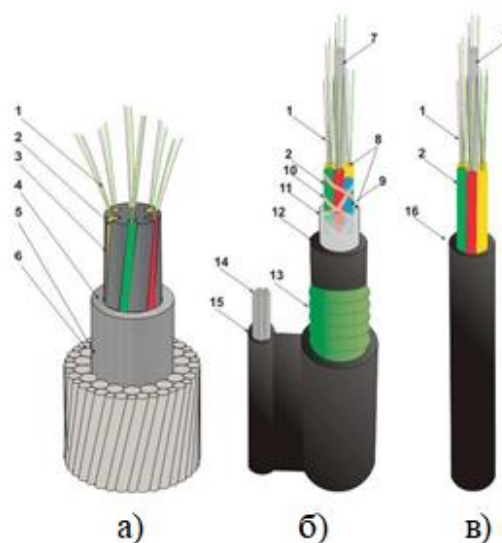


Рис. 2.8. Конструкції кабелю: а - вбудованого в грозозахисний трос; б - самонесівного кабелю; в - навивного кабелю [8]:

1 - оптоволокну (основний конструктивний елемент оптоволоконного кабелю); 2 - профільована алюмінієва планка; 3 - оптичні модулі; 4 - алюмінієва труба; 5; 6 - котушки сталевих та алюмінієвих проводів ЛЕП; 7 - центральний силовий елемент; 8 - водовідштовхувальний наповнювач; 9 - струнне заповнення (для щільного укладання елементів в сердечник ОК); 10 - намотування з обв'язувальних стрижнів синтетичних ниток; 11 – гідроізоляція сердечника - гідроізоляційна стрічка (паперова); 12 - внутрішня (проміжна) поліетиленова оболонка; 13 - гофрована оболонка; 14 - трос сталевий неосипаючий; 15 - зовнішня оболонка з поліетилену з вбудованим негігроскопічним сталевим тросом; 16 - зовнішня поліетиленова оболонка.

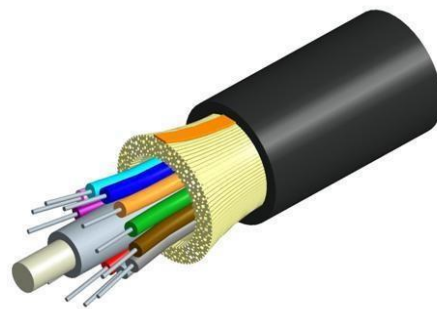


Рис. 2.9. Зовнішній вигляд оп товолоконного кабелю для прокладання під водою

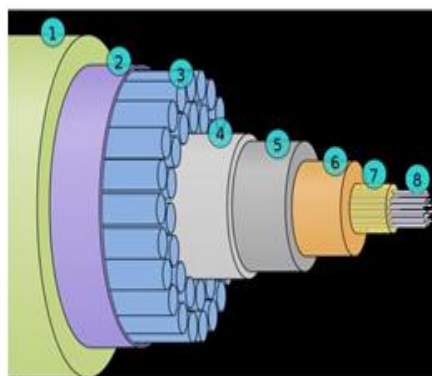


Рис 2.10. Конструкція підводного кабелю:

1 - поліетиленова ізоляція; 2 - лавсанове покриття; 3 - двошарова ізоляція сталевим дротом; 4 - алюмінієва ущільнювальна труба; 5 - полікарбонат; 6 - центральна мідна або алюмінієва труба; 7 - внутрішньомодульний гідрофобний наповнювач; 8 - оптичні волокна

2.6. Висновки до розділу 2

Розглянуто питання, пов'язані з фізичними принципами роботи оптоволоконних ліній зв'язку (ОВЛЗ), параметрами ОВЛЗ та основами розрахунку їх параметрів.

Встановлено, що оптичні волокна, використовувані як джерела світла в ОВЛЗ, мають ряд вагомих переваг. Зокрема, вони:

1. Не проводять електричний струм: Оптичні волокна використовують світлові сигнали для передачі даних, тому не потребують проведення електричних сигналів, що знижує ризик електричних неполадок і виключає електромагнітні впливи.

2. Не впливають на ультрафіолетове та інфрачервоне проміння: ОВЛЗ не випромінюють шкідливого ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання, що дозволяє їх використовувати в різних середовищах та застосуваннях.

3. Мають здатність проводити великі світлові потоки при мінімальному діаметрі кабелю: Оптичні волокна можуть передавати великий обсяг даних при мінімальних розмірах кабелю, що робить їх ефективними для високошвидкісних мереж.

4. Легко керувати зміною кольору та світловими ефектами: Змінюючи світлові характеристики, можна легко керувати кольором та іншими світловими ефектами, що важливо для різних застосувань, таких як освітлення.

5. Рівномірне освітлення: ОВЛЗ забезпечують рівномірне розподілення світла, що корисно для освітлення та візуальних застосувань.

6. Низьке енергоспоживання: Передача даних через ОВЛЗ вимагає менше енергії порівняно з електричними системами передачі даних.

7. Тривалий термін служби кабелю (більше 10 років): Оптичні волокна відзначаються високою стійкістю до зношування та корозії, що забезпечує тривалий термін їх служби.

Таким чином, волоконно-оптичні кабелі повинні бути надійними, довговічними та зручними у використанні.

РОЗДІЛ 3

НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1. Системи управління мережами DWDM та WDM у стільникових системах

У 1996 році в сучасних системах зв'язку стали активно використовувати технології спектрального мультиплексування, які дозволяють одночасно передавати дані по одному волокну на різних частотах. Тоді компаніям AT&T, Fujitsu і NTT вдалося досягти рекордної пропускної здатності 1,1 Тбіт/с, мультиплексувавши 55 каналів DWDM по одному волокну зі швидкістю 20 Гбіт/с на канал. А Consortium повідомив про можливість збільшення пропускної здатності до 4 Тбіт/с шляхом мультиплексування 40 каналів по 100 Гбіт/с кожен.

Після цього були створені оптичні комутатори спектральних каналів (ОХС), які дозволяють перемикаєти оптичні канали між собою без перетворення їх у електричний сигнал. ОХС також є основними елементами мережі, які забезпечують адресацію оптичних сигналів.

Спочатку спектральне стиснення використовувалося для збільшення пропускної здатності довгих ліній зв'язку без прокладки додаткових оптичних волокон. Технологія WDM дозволяє додавати канали до існуючої мережі без заміни оптичного волокна. У зв'язку з постійним зростанням попиту на пропускну здатність і зміною типу інформації, що передається, технологія WDM стала широко використовуватися операторами дистанційного зв'язку. Сьогодні вона є найшвидшим і найекономічнішим способом збільшення пропускної здатності оптоволоконних каналів і мереж зв'язку.

Перші системи WDM могли передавати два канали інформації на довжинах хвиль 1330 і 1550 нм. Потім з'явилися системи з чотирма каналами, які використовували інтервал каналів 8-10 нм у вікні 1550 нм. Пізніше, у гонці за лідерство, розробники і виробники компонентів WDM розробили технологію DWDM (Dense WDM), яка дозволила створювати системи з більшою кількістю

каналів. Сьогодні стандартна відстань між каналами у системах DWDM становить 0,8 нм.

Мультиплексування за довжиною хвилі (WDM) працює за таким принципом: різні канали інформації передаються на різних довжинах хвиль. Це схоже на те, як видиме світло складається з різних кольорів, які можна розбити та знову зібрати.

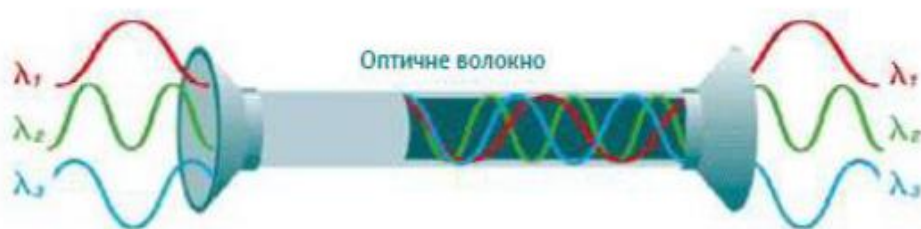


Рис. 3.1. Передача інформаційних потоків за технологією WDM

Технологія DWDM дозволяє передавати більше ста стандартних каналів по одному волокну. Наприклад, обладнання, яке використовується для побудови мереж DWDM компанії, дозволяє використовувати до 160 довжин хвиль.

Концепція DWDM полягає в тому, що сигнали SDH «фарбуються» різними довжинами хвиль. Ці «зафарбовані» сигнали змішуються і надсилаються по оптичній лінії. У кінцевій точці відбувається зворотний процес – «зафарбовані» сигнали SDH відокремлюються від групового сигналу.



Рис.3.2. Фрагмент схеми передачі даних за допомогою DWDM

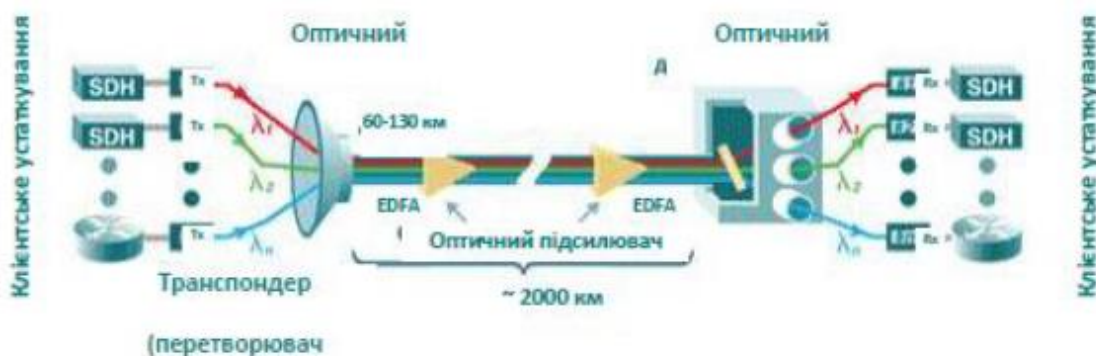
Технологія DWDM дозволяє передавати декілька оптичних каналів по одному волокну. Для цього використовуються спеціальні пристрої, які забезпечують точну передачу сигналів на різних довжинах хвиль.

Кожен лазерний передавач в системі DWDM випромінює сигнал на певній довжині хвилі. Ці сигнали потім змішуються в одному волокні за допомогою пристрою, який називається оптичним мультиплексором. На іншому кінці лінії зв'язку сигнал розбивається на окремі канали за допомогою оптичного демультимплексора.

Оптичне мультиплексування та демультимплексування засноване на використанні вузькосмугових фільтрів, які пропускають тільки сигнали певної довжини хвилі.

Найбільш поширені пристрої оптичного мультиплексування та демультимплексування з міжканальним розносом частот 100 ГГц. Це дозволяє передавати до 160 каналів по одному волокну.

У міру просування по оптичному волокну сигнал поступово зменшується. Для підсилення сигналу використовуються оптичні підсилювачі. Це дозволяє передавати дані на відстань до 4000 км без перетворення оптичного сигналу в електричний.



Tx – передавач; Rx – приймач; EDFA – оптичний підсилювач.

Рис. 3.3. Схема передачі даних за допомогою DWDM

Технологія DWDM має ряд переваг. Вона дозволяє значно збільшити пропускну здатність волоконно-оптичних каналів, що важливо для передачі великих обсягів даних на великі відстані.

Теоретичні основи технології DWDM досить прості, але її реалізація в технічному плані є досить складною. Розробка широкосмугових оптичних підсилювачів і точних демультиплексорів дозволила вивести технологію DWDM на комерційний рівень.

Існує кілька методів демультиплексування, які дозволяють вибрати потрібний канал. Один з таких методів заснований на використанні волоконних бреггівських решіток.

Волоконна решітка Брегга — це оптичний інтерферометр, вбудований у волокно. Волокно, леговане деякими речовинами, може змінювати свій показник заломлення під впливом ультрафіолету. При опроміненні такого волокна ультрафіолетовим випромінюванням, що має певну періодичну структуру, воно перетворюється на дифракційну решітку.

Іншими словами, така решітка майже повністю відбиватиме світло певного заданого діапазону довжин хвиль і пропускатиме світло всіх інших довжин хвиль.

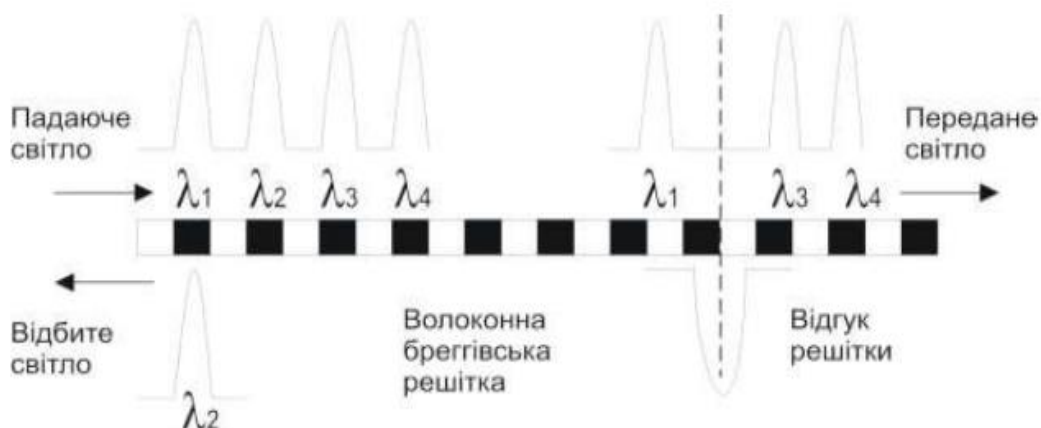


Рис. 3.4. Волоконна бреггівська решітка виділяє із складеного сигналу канал певної довжини хвилі

Якщо структура не є повністю періодичною і період модуляції її показника заломлення змінюється монотонно, то ми отримуємо дифракційну решітку з лінійно змінним періодом. Такі решітки використовуються для компенсації хроматичної дисперсії у волоконно-оптичній лінії зв'язку або для корекції сигналу лазерного джерела.

Центральна довжина хвилі звичайного волоконного фільтра на основі брегівської решітки визначається її періодом, а ширина смуги пропускання обернено пропорційна його довжині. Ці параметри залежать від температури, тому такі фільтри слід поміщати в термостат або інший пристрій для стабілізації температури.

Волоконна брегівська решітка може бути використана як оптичний фільтр в апаратурі мультиплексування та демультіплексування, як компенсатор хроматичної дисперсії або в поєднанні з циркуляторами в каналних мультиплексорах вводу/виводу.

У мультиплексорах каналів вводу/виводу оптоволоконна брегівська решітка може використовуватися разом з двома циркуляційними насосами. Циркулятори відділяють відбиту хвилю від вхідного сигналу і направляють її на вихідний затвор. З боку вхідного порту циркулятори додають композитний сигнал, переданий каналом на тій же вибраній довжині хвилі

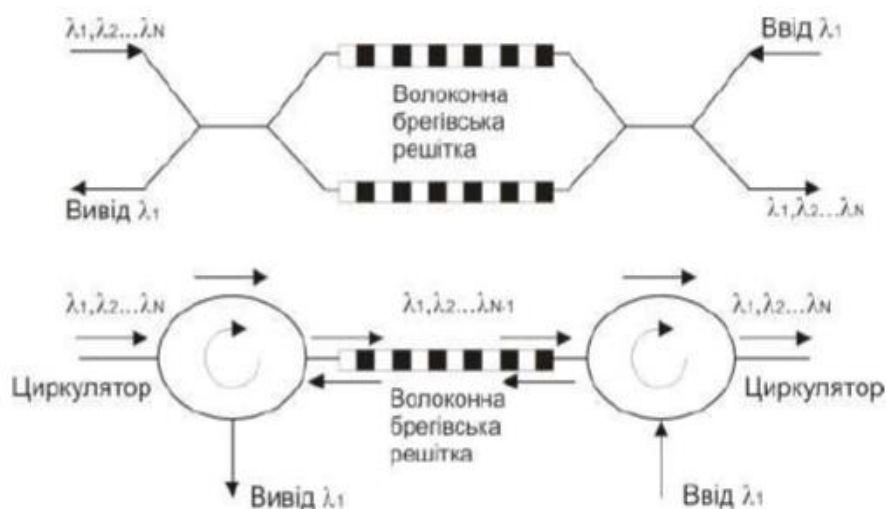


Рис. 3.5. Використання волоконних брегівських решіток в мультиплексорах вводу/виводу каналів.

Волоконні бреггівські решітки (ВБР) часто використовуються на межі магістральних мереж з міськими або регіональними мережами. У магістральних мережах зазвичай використовується кілька довжин хвиль, тоді як у міських або регіональних мережах довжини хвиль коротші.

Останнім часом ВБР також використовуються в пристроях мультиплексування та демультиплексування разом з іншими типами фільтрів. Крім того, ВБР використовуються для вирівнювання спектру сигналу перед підсилювачами, для стабілізації довжини хвилі і в хвильових стабілізаторах.

ВБР - це ділянка волокна, в якій показник заломлення безперервно і періодично змінюється. Ці зміни можуть бути викликані впливом ультрафіолетового випромінювання. Таким чином отримують просторові дифракційні решітки, які дають змогу ідентифікувати основні максимуми дифракційної картини для кожної з довжин хвиль.

Впровадження нових технологій, таких як широкосмугові оптичні підсилювачі та методи демультиплексування, стало основою для побудови доступних на ринку волоконно-оптичних транспортних систем. Однак їх широкому використанню сприяла розробка оптичного мультиплексора додавання-відведення (OADM), який дозволяє вставляти або ізолювати низькошвидкісний канал без повного демультиплексування сигналу.

OADM встановлюється десь між терміналами. Комерційні пристрої дозволяють виводити або вводити до чотирьох каналів OS-48/STM-16. OADM особливо підходять для стільникової мережі або кільцевої топології, яка використовується для підвищення живучості.



Рис. 3.6. наведено модель взаємодії транспортних систем.

До появи WDM глобальні мережі використовували для передачі даних технологію SDH/SONET. Ця технологія включала три рівні: фізичний, лінійний і мережевий.

Фізичний рівень відповідає за передачу сигналу по оптичному волокну. Він використовує стандартний інтерфейс, який забезпечує передачу сигналу з певною швидкістю.

Лінійний рівень відповідає за контроль і управління передачею сигналу. Він використовує стандарт SDH/SONET для інкапсулювання даних вищого рівня в транспортні модулі STM або STS.

Мережевий рівень відповідає за управління мережею. Він використовує стандарти протоколів управління, такі як SS7 або OTN.

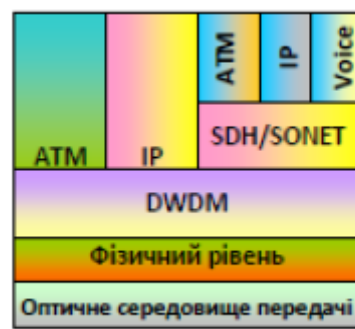


Рис. 3.6.1. Багаторівнева модель взаємодії технологій сигналізації в глобальних мережах з використанням SDH/SONET як транспорту

Технологія WDM дозволила спростити структуру глобальних мереж, об'єднавши фізичний і лінійний рівні в один. Комірки ATM і IP-пакети більше не потрібно інкапсулювати в блоки STM/STS, що спрощує їх обробку.

WDM забезпечує такі послуги, як відео та мультимедіа, IP-трафік через ATM і голос через SDH/SONET. Хоча ці три формати мають різні можливості керування смугою пропускання, усі вони можуть передаватися через оптичний рівень DWDM.

Технологія DWDM постійно розвивається, що сприяє встановленій оптоволоконній базі та прозорості для існуючих протоколів.

У системах WDM/DWDM сигнали різних довжин хвиль об'єднуються

мультиплексором у складений багаточастотний оптичний сигнал, який далі поширюється одномодовим ОВ. При великій довжині ВОЛЗ в нього вбудований один або кілька оптичних підсилювачів (ОП). Демультиплексор відокремлює початкові частотні канали від композитного оптичного сигналу і направляє їх на відповідні фотоприймачі.

У вузлах зв'язку деякі оптичні канали можуть бути додані або відокремлені від композитного оптичного сигналу за допомогою оптичних мультиплексорів вводу/виводу або систем оптичного перехресного з'єднання оптичних каналів (OCCS).

У системах WDM/DWDM використовуються дуже специфічні діапазони довжин хвиль оптичного випромінювання в стандартизованих межах.

Технології DWDM, на відміну від WDM, де друге і третє вікна прозорості ОВ зазвичай використовуються на довжинах хвиль 1310 нм і 1550 нм (O- і C-діапазон відповідно) або додатково в діапазоні довжин хвиль 1650 нм (L-діапазон), мають дві важливі особливості:

використання тільки одного вікна прозорості оптичного волокна - 1550 нм в діапазоні довжин хвиль 1530 - 1565 нм (C-діапазон), що відповідає максимальному посиленню ЕРбієвих іонно-легованих волокон ОП;

малий інтервал довжин хвиль між оптичними мультиплексними каналами, зазвичай дорівнює 3,2 / 1,6 / 0,8 або 0,4 нм.

Саме ці характеристики систем DWDM, враховуючи використання спеціально розроблених одномодових ОВ, ОП, пристроїв компенсації дисперсії та сучасного DSP SCI/SDH, забезпечують найвищу пропускну здатність і максимальну дальність передачі для систем спектрального стиснення оптичного каналу у високошвидкісних мережах зв'язку.

Пропускну здатність оптичних ліній на основі систем WDM/DWDM можна поступово збільшувати шляхом додавання нових оптичних каналів у міру розвитку мережі. Завдяки використанню волоконно-оптичних кабелів можна створювати

повністю оптичні мережі, в яких сигнал обробляється електронними компонентами лише на початковій і кінцевій точці мережі.

Кожен телекомунікаційний канал, створений SCI/SDH-DSP відповідного рівня ієрархії (STM-16/64/256), обробляється в системі WDM/DWDM як окремий канал на окремій довжині хвилі, завдяки чому більша частина існуючої мережі пристрої мережі SCI/SDH можуть безпосередньо підключатися до побудови систем WDM/DWDM. Це дозволяє знизити початкові витрати на встановлення систем WDM/DWDM в існуючій мережі SCI/SDH.

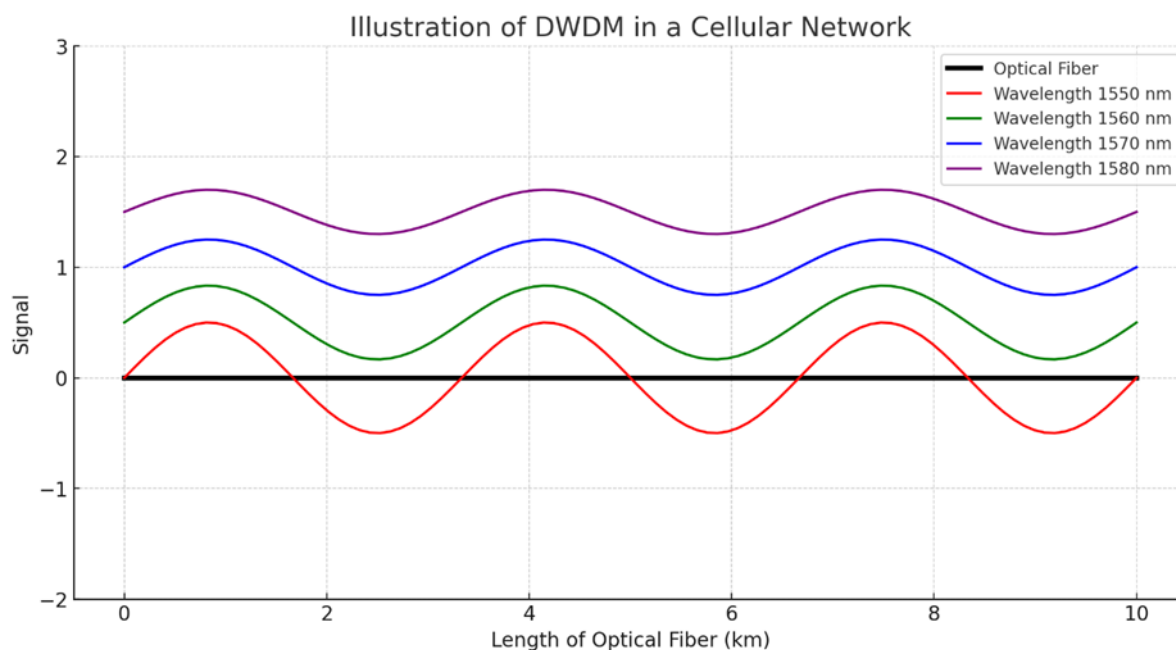


Рис. 3.7. DWDM в стільникових мережах.

На цій ілюстрації показано, як DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) використовується в стільникових мережах. Різні кольори представляють різні довжини хвиль світла, які передаються через один оптоволоконний кабель. Це дозволяє значно збільшити загальну пропускну спроможність мережі, передаючи багато каналів даних паралельно без необхідності прокладання додаткових кабелів.

Кожна синусоїда на діаграмі символізує різну довжину хвилі, що використовується для передачі окремих потоків даних. Наприклад, довжини хвиль 1550, 1560, 1570 та 1580 нанометрів, представлені відповідними кольорами (червоний, зелений, синій, фіолетовий), можуть одночасно передаватися через один і той же оптоволоконний кабель, забезпечуючи високу пропускну спроможність необхідну для сучасних стільникових мереж.

3.2. Пристрої та мережі DWDM

Системи WDM/DWDM складаються з багатьох компонентів, які необхідно керувати та контролювати. Основними компонентами є:

Оптичні передавачі перетворюють електричні сигнали в оптичні. Вони зазвичай складаються з лазера та модулятора випромінювання. Лазер генерує оптичний сигнал, а модулятор змінює його інтенсивність відповідно до електричного сигналу.

Оптичні фотоприймачі перетворюють оптичні сигнали в електричні. Вони зазвичай складаються з фотодіода, який поглинає світло, та підсилювача, який посилює електричний сигнал.

Оптичні мультиплексори об'єднують оптичні сигнали на різних довжинах хвиль у один сигнал.

Оптичні демультимплексори розділяють оптичні сигнали, що були об'єднані мультиплексором.

Оптичні підсилювачі посилюють оптичні сигнали. Вони зазвичай використовуються для компенсації втрат сигналу, які виникають при поширенні по оптичному волокну.

Оптичні передавачі:

Сучасні оптичні передавачі мають гібридну структуру. Лазер та модулятор випромінювання об'єднані в один модуль, що забезпечує високі частоти модуляції з високою надійністю.

Передавачем для оптичного каналу зазвичай є лазер з розподіленим зворотним зв'язком з вихідною потужністю в ОВ не менше 1 мВт (0 дБм).

Використовуючи методи інтегральної оптики, розроблено недорогі та прості у використанні модулі оптичної передачі, які поєднують лазер, оптичний модулятор та ОП-напівпровідник в одному кристалі.

Оптичні фотоприймачі:

Оптичні фотоприймачі зазвичай складаються з фотодіода, який поглинає світло, та підсилювача, який посилює електричний сигнал.

Фотодіоди можуть бути чутливими до різних довжин хвиль.

Широко використовуються фотодіоди, чутливі до довжини хвилі 1550 нм.

Оптичні мультиплексори:

Оптичні мультиплексори бувають двох основних типів: лінійні та матричні.

Лінійні мультиплексори об'єднують оптичні сигнали, що проходять по одному каналу.

Матричні мультиплексори об'єднують оптичні сигнали, що проходять по різних каналах.

Оптичні демультиплексори:

Оптичні демультиплексори бувають двох основних типів: лінійні та матричні.

Лінійні демультиплексори розділяють оптичні сигнали, що проходять по одному каналу.

Матричні демультиплексори розділяють оптичні сигнали, що проходять по різних каналах.

Оптичні підсилювачі:

Оптичні підсилювачі EDFA на основі волокон, легованих ербієм, за останні роки зробили революцію в системах оптичного зв'язку.

Такі підсилювачі забезпечують пряме посилення оптичних сигналів без перетворення їх в електричні і навпаки, мають низький рівень шуму, а їх робочий діапазон довжин хвиль практично відповідає вікну прозорості ОМ на основі кварцового скла.

Оптичний підсилювач EDFA складається з легованого ербієм ОВ-сегмента, в якому оптичні сигнали певних довжин хвиль можуть посилюватися зовнішньою енергією випромінювання насоса.

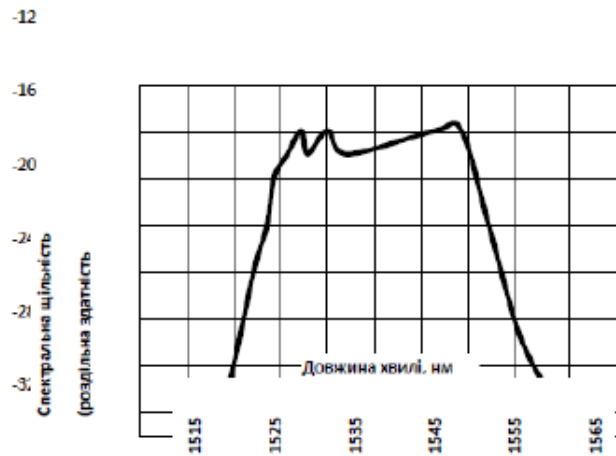


Рис. 3.8. Залежність коефіцієнта підсилення EDFA від довжини хвилі

Лазери накачування на довжині хвилі 980 нм дають більший коефіцієнт посилення, але вони більш чутливі до температурних коливань і мають більш високий рівень шуму. Лазери накачування на довжині хвилі 1480 нм мають нижчий коефіцієнт посилення, але вони більш надійні, стабільні і мають нижчий рівень шуму.

Традиційні електронні підсилювачі працюють так:

Сигнал з оптичного волокна зчитується і перетворюється в електричний сигнал.

Електричний сигнал підсилюється.

Підсилений електричний сигнал перетворюється назад в оптичний сигнал.

Підсилений оптичний сигнал повторно передається через оптичне волокно.

EDFA працюють інакше:

Вони посилюють оптичний сигнал безпосередньо, без перетворення його в електричний сигнал.

Вони не залежать від протоколу, формату, швидкості передачі або довжини хвилі оптичного сигналу.

Їх можна підключати безпосередньо до різних пристроїв, без побоювань про взаємодію.

Переваги EDFA:

Вони прозорі для протоколу, що дозволяє підключати їх до різних пристроїв.

Вони мають високу ефективність, що дозволяє їм посилювати сигнал на великі відстані.

Вони мають низький рівень шуму, що дозволяє отримувати високоякісний сигнал.

Недоліки EDFA:

Вони мають нерівномірне спектральне підсилення, що може призвести до спотворення сигналу.

Вони створюють шум, який може бути шкідливим для інших пристроїв у мережі.

Переваги мереж з повторювачами EDFA:

Вони мають високу пропускну здатність, що дозволяє їм підтримувати зростаючі потреби користувачів.

Вони економічні, оскільки дозволяють поступово збільшувати пропускну здатність мережі, додаючи нові канали.

Вони гнучкі, що дозволяє їм підтримувати різні протоколи і формати даних.

Загалом, EDFA є ефективним і економічним способом посилення оптичних сигналів у системах DWDM. Вони мають ряд переваг перед традиційними електронними підсилювачами, включаючи прозорість для протоколу, високу ефективність і низький рівень шуму.

Підсумовуючи можна сказати, що оптичні підсилювачі EDFA дозволяють будувати повністю оптичні мережі, які є надійнішими, економічнішими та гнучкішими, ніж традиційні мережі. Вони також дозволяють збільшити пропускну здатність мережі.

3.3. Розрахунок оптичного каналу DWDM системи

У разі розрахунку енергетичних параметрів суперканала не можна проводити розрахунок OSNR за методикою ITU-T G.680, а зважаючи на те, що накопичення шумів за рахунок нелінійних перешкод буде перебувати у вузькому діапазоні частот. З цієї причини експериментально отримана формула розрахунку суперканалів з N-секціями:

$$OSNR = \frac{P_{ch}}{P_{ASE} + P_{NLI}}$$

де P_{ch} - рівень потужності в каналі;

P_{ASE} - шум підсилувача;

P_{NLI} - потужність продуктів, що визначається також по формулі:

$$P_{NLI} = \frac{\left(\frac{2}{3}\right)^3 N_s \gamma^2 L_{eff} P_{ch}^3 (\log_2 \left[\left(\pi^2 |\beta_2| L_{eff} N_{ch}^2 R_s^2 \right) \right])}{\pi^2 |\beta_2| R_s^2} B_n$$

де N_s - кількість WDM секцій;

L_{eff} - ефективна довжина волокна (для ділянки в 100 км становить 23 км), км;

β_2 - коефіцієнт дисперсії волокна (-20 пс² / км для SMF), пс² / км;

N_{ch} - кількість каналів в DWDM системі;

B_n - смуга частот, на яку впливає шум (близько 0,1 нм), нм;

R_s - даний параметр відповідає бітовій швидкості, біт / с. При розрахунку суперканалів слід також враховувати параметри оптичного фільтра Найквіста, необхідного для формування смуги частот каналу Δf . Вибір смуги залежить від відповідного формату модуляції, що використовується в системі (найчастіше використовується DP-QPSK, DP-16 QAM).

При використанні квадратурної модуляції $\Delta f \cong R_s$, а в разі використання квадратурної-амплітудної модуляції $\Delta f \cong 1.1 \cdot R_s$.

амплітудної модуляції $\Delta f \cong 1.1 \cdot R_s$. Даний фільтр має наступну прямокутну передавальний характеристику:

$$\left(\alpha, \left(f_c - \frac{B}{\alpha} < f < f_c + \frac{B}{\alpha} @d \right) \right)$$

де α - параметр, що оцінює згукання, дБ;

d - глибина загасання, дБ;

f_c - центральна частота оптичного сигналу, ГГц;

B - оптична смуга, ГГц. В оптичних суперканалах, також істотне значення має вибір оптимального значення оптичної потужності. На рисунку 3.8 наведені оцінки дальності системи передачі для SMF і NZDSF - волокон при $L_{eff} = 23$ км, $R_s = 32$ Гбод / с.

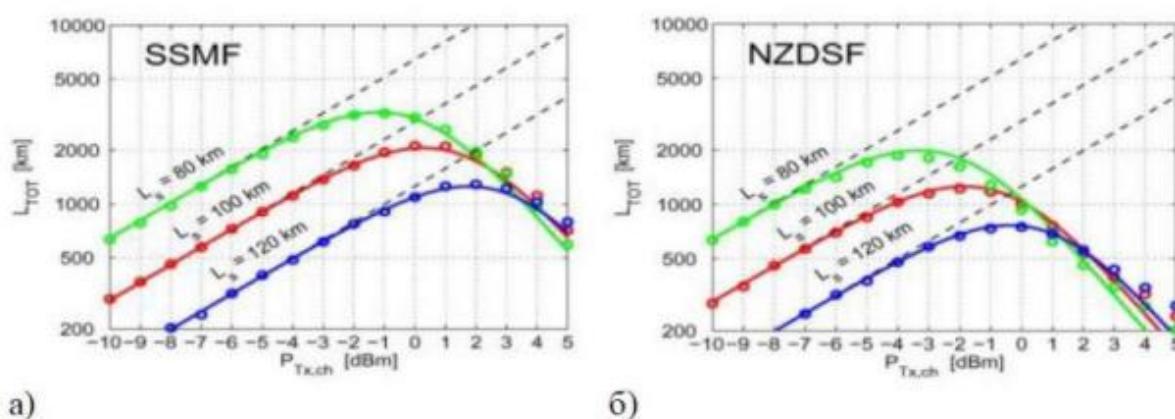


Рис.3.9. Дальність передачі суперканала для оптичної секції з а) SMF - волокном; б) NZDSF - волокном (маркери - симуляція, суцільна лінія - аналітична модель)

Концепція формування суперканала ґрунтується на наявності декількох оптичних піднесуть, але метод їх формування в тракті може бути використаний різний. На рисунку 3.10 представлені спектральні характеристики суперканалу на основі: а) WDM системи;

б) оптичної системи з OFDM;

в) WDM з використанням закону Найквіста;

г) OFDM суперканалу.

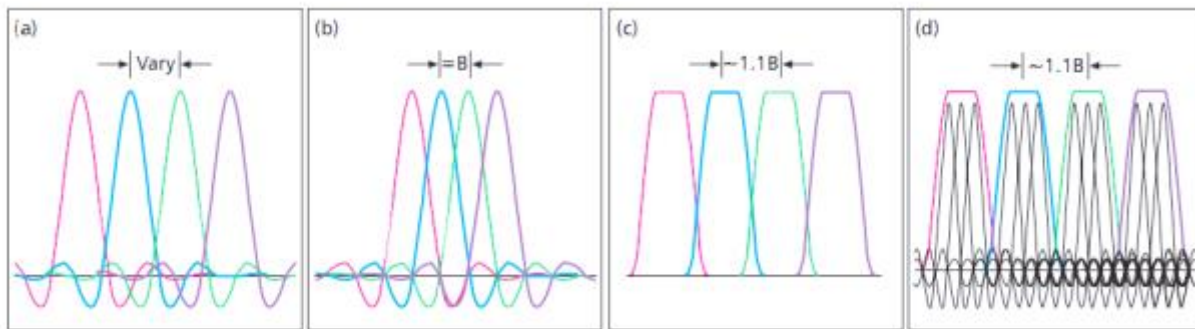


Рис.3.10. Спектральна характеристика різних типів суперканалів

Характеристики магістральних систем зв'язку в основному обмежують дві основні причини: спонтанні шуми підсилювачів в тракті, а також генерація нелінійних перешкод, за рахунок ефекту Керра в оптичному волокні.

75 За рахунок когерентного детектування на приймальній стороні, що включає кодування з виправленням помилок на основі різних алгоритмів (FEC, superFEC, softFEC), стає можливою оптична передача без використання компенсаційних елементів (DCM модулі, DSF волокна і т.д.) [10].

Зближення оптичних каналів і перехід до частотної сітки 33ГГц і менш дозволяє значно збільшити пропускну здатність WDM-мережі. При цьому, для оцінки оптичних систем використовується розрахункове співвідношення сигнал-шум (OSNR).

Згідно з рекомендацією ITU-T G.680 при каскадуванні деякого N-ного числа ONE результуюче значення $OSNR_{out}$ можна визначити як:

$$OSNR_{out} = -10 \lg \left(10^{-0,1(OSNR_{in})} + 10^{-0,1(P_{in} - NF - 10 \lg(hf\Delta f))} \right), \quad (3.4)$$

де $OSNR_{out}$ - відношення оптичний сигнал / шум на виході ONE; $OSNR_{in}$ - відношення оптичний сигнал / шум на вході ONE;

P_{in} - рівень потужності сигналу оптичного каналу на вході ONE;

NF - коефіцієнт шуму ONE; h - постійна Планка, узгоджена з рівнем потужності (мДж × с);

f - центральна частота оптичного каналу (Гц);

L - втрати на прольоті, дБ;

Δf - смуга частот оптичного каналу (Гц).

Необхідно відзначити, що дане співвідношення враховує тільки накопичення шумів, створюваних підсилювачами, а також загасання в лінії. Дослідження в цій галузі пропонують здійснювати оцінку енергетичних параметрів системи за допомогою різних розрахункових співвідношень. Наведене співвідношення оцінює вплив чотирьох хвильового зміщення, а також стимульованого розсіювання Рамана:

$$OSNR = 10 \lg \left(\frac{P_{SRS}}{P_{ASE} + P_{FWM}} \right),$$

де P_{SRS} - потужність в каналі, з урахуванням ефекту Рамана; P_{ASE} - потужність спонтанних шумів оптичного підсилювача;

P_{FWM} - потужність шумів, викликаних зміщенням; Вимушене розсіяння Рамана є істотним оптичним ефектом в DWDM системі.

Дане явище враховує частку потужності, яка переходить з нижчестоящих каналів в вищестоящі в оптичному діапазоні (рисунок 3.11).

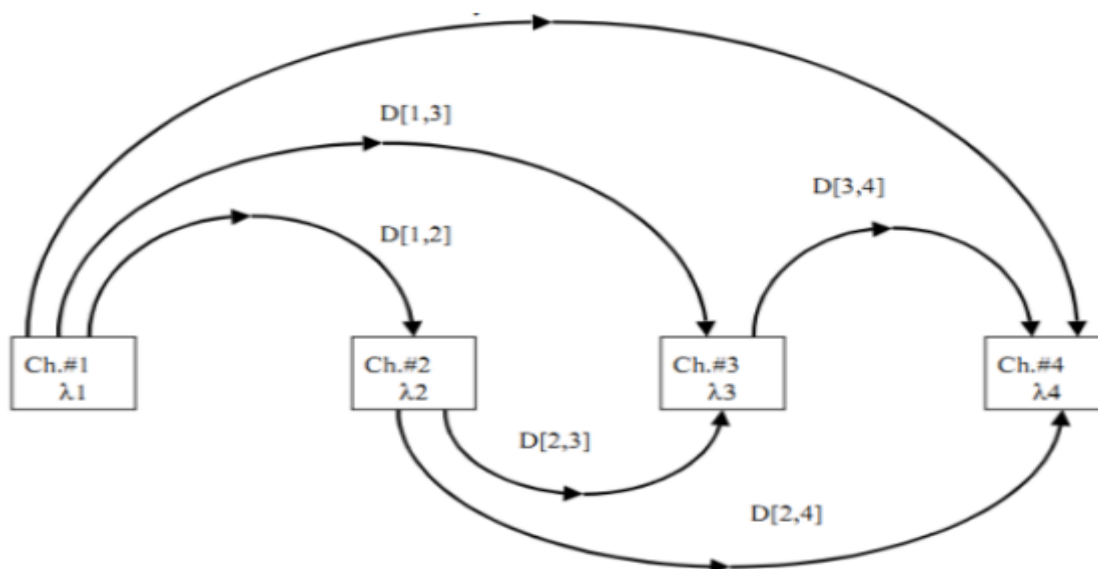


Рис.3.11. Алгоритм міграції оптичної потужності

Розрахункова формула для оптичної потужності при цьому дається у вигляді:

$$P_M(k) = P_T(k) - P_T(k) \cdot \sum_{i=k+1}^N D[k,i] + \sum_{j=1}^{k-1} P_T(j) D[j,k]$$

де $P_T(k)$ - потужність, яку випромінює з k -го каналу;

$P_M(k)$ - потужність в k -му каналі, що отримується за рахунок впливу раманівського розсіювання;

$D[k,i]$ - частка потужності, яка перетворюється з j -го каналу в k -ий, за рахунок нелінійності.

Використання двополярного сигналу ускладнюється передача тим, що NRZ сигнали займають суттєву оптичну смугу, що неприйнятно для щільного мультиплексування. Відповідно до формули 3.4 був проведений розрахунок для декількох смуг оптичного сигналу.

На рисунку 3.12 наведено розрахунок OSNR для 10Гбіт / с системи з різною довжиною прольотів.

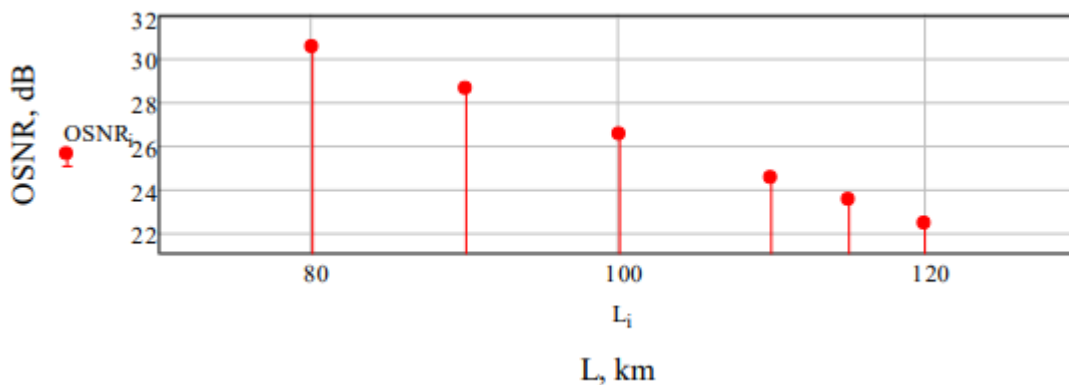


Рис.3.12. Залежність OSNR від довжини секції DWDM

Оптична потужність в DWDM секції розрахована за формулою 4.6, розподіл в спектрі наведено на рисунку 3.2. Оптичні канали розташовуються з сіткою 100ГГц в C- L-діапазонах.

Розрахункові формули одного враховують параметри SSMF волокна стандарту G.652

$$(A_{eff} = 80 \text{ мкм}^2, g_R = 0,4 \cdot 10^{-13} \text{ Вт}^{-1} \cdot \text{км}^{-1}).$$

Розрахунок оптичної потужності проводився для однопрогонової DWDM секції з 80 оптичними каналами.

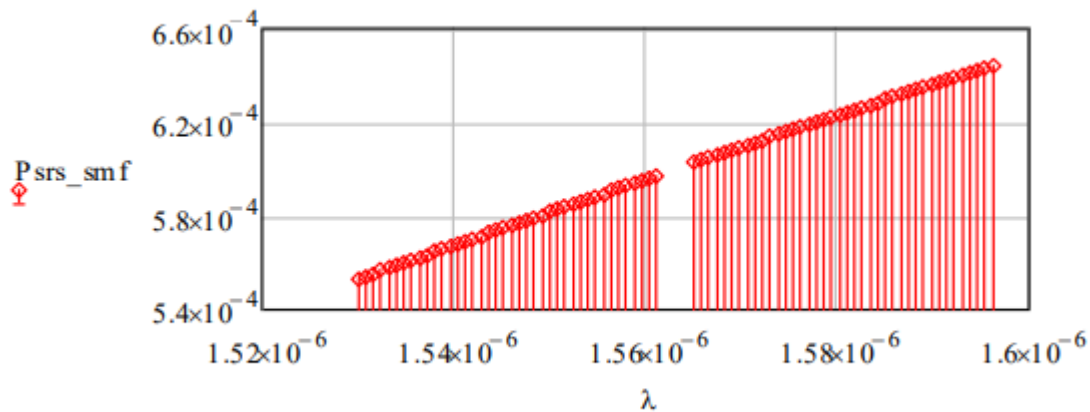


Рис.3.13. Розподіл оптичної потужності в DWDM спектрі

Як видно з рисунку 3.13, розподіл оптичної потужності в спектральних каналах виглядає практично лінійно. Нелінійність потужності по краях C- і L-діапазону викликана нерівномірністю загасання в вікнах прозорості. При цьому розрахунок співвідношення сигнал шум можна розрахувати за формулою 3.4. На рисунку 3.13 наведена залежність для нульового каналу, який терпить найбільший вплив нелінійності.

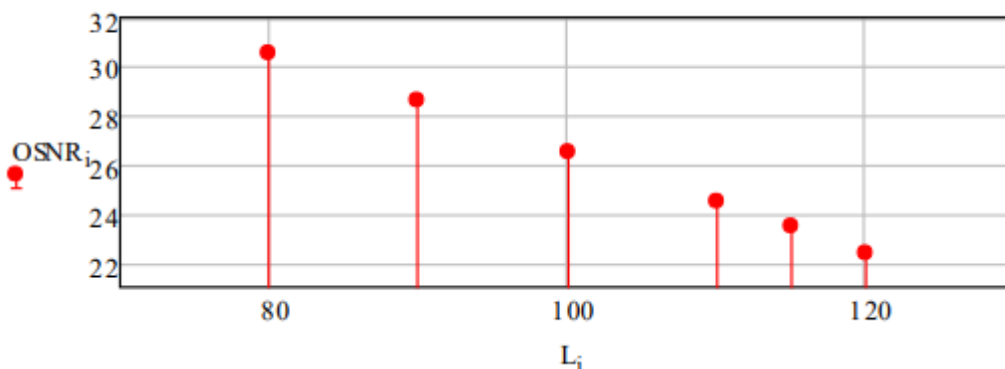


Рис.3.14. Залежність OSNR від довжини секції DWDM для нульового каналу

Провівши апроксимацію даних залежностей можна зробити аналіз OSNR при двох методах розрахунку (рисунок 3.15).

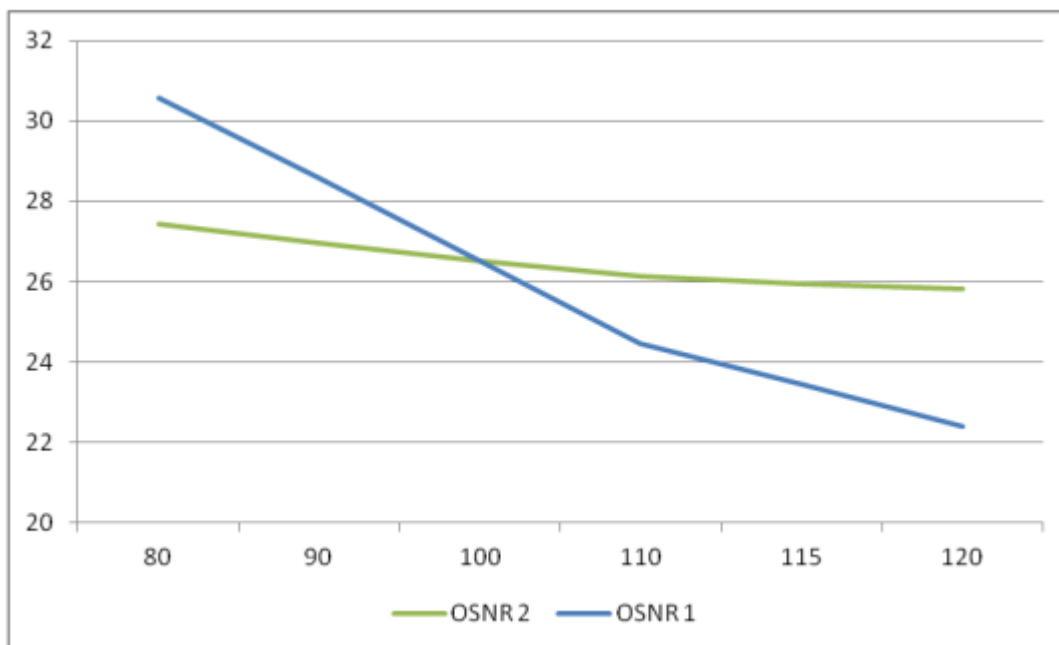
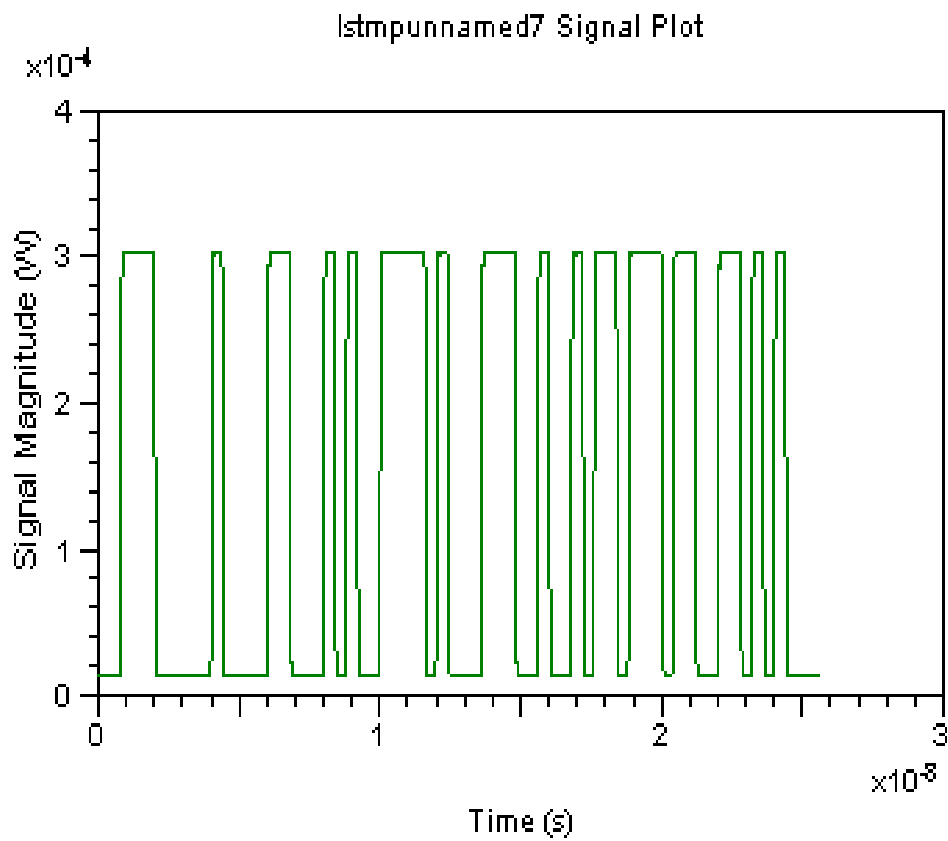


Рис.3.15. Сімейство характеристик OSNR при різних методиках розрахунку на швидкості 10Гбіт / с

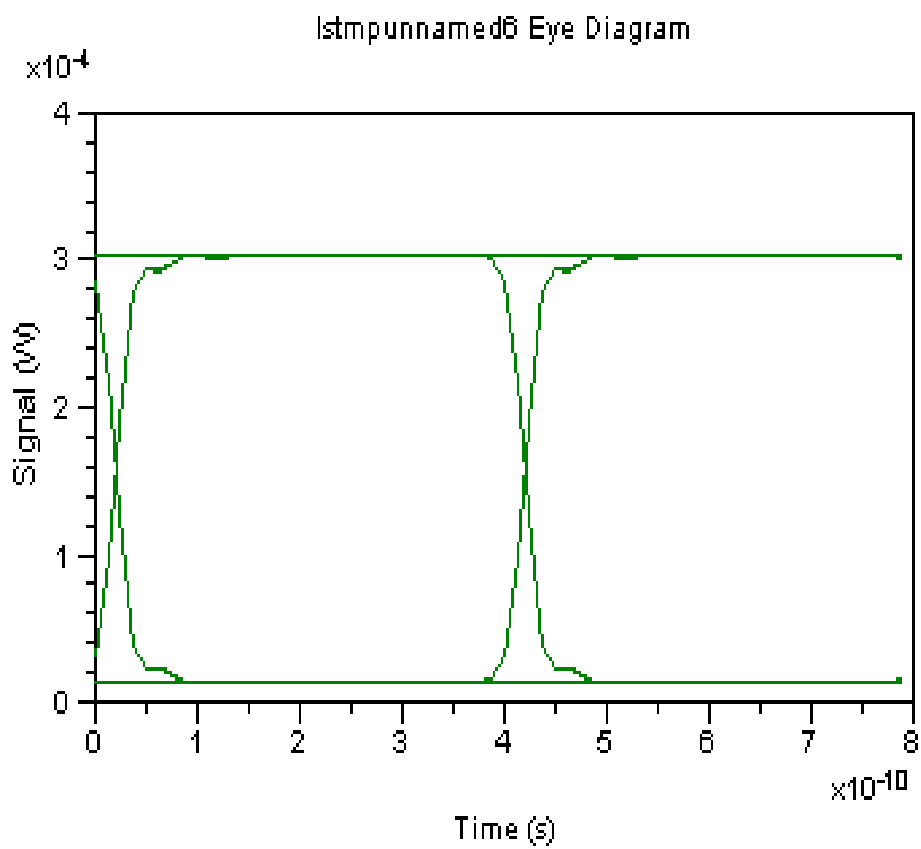
Крива OSNR 1 відповідає розрахунковому співвідношенню 1, відповідно до рекомендації ITU-T. Крива OSNR 2 відповідає розрахунковому співвідношенню 2. Як видно з аналізу рисунків, різниця між кривими при довжині секції 120 км складає 3,42 дБ.

3.4. Дослідження та аналіз DWDM на 8-м каналів

У моделюванні ВОЛЗ, яка використовує DWDM-мультиплексор та EDFA-підсилювач, необхідно спочатку створити сигнали, які будуть передаватися по мережі..



a)

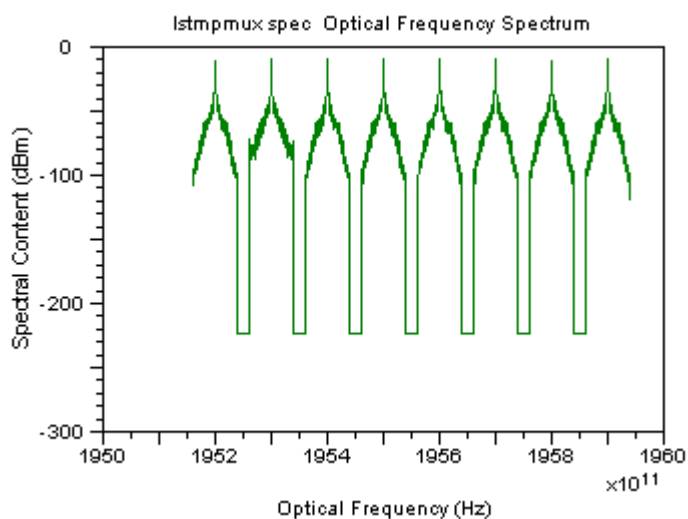
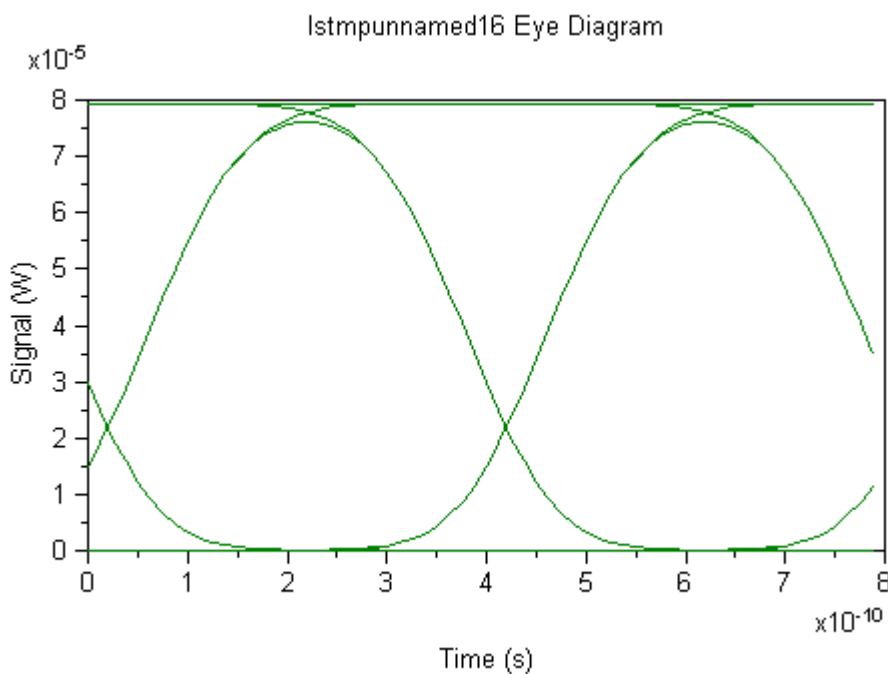


б)

Рис. 3.16. а) Оптичний сигнал на виході модулятора б) Збільшена діаграма оптичного сигналу на виході модулятора.

Сигнал з джерела випромінювання має потужність 1 мВт, що відповідає 0 дБм. Після проходження модулятора потужність сигналу знижується до $3 \cdot 10^{-4}$ Вт, що відповідає ослабленню на 5 дБ. Потім сигнали від модуляторів надходять на оптичний мультиплексор, який об'єднує їх у один сигнал (діаграма (а) і спектрограма (б)).

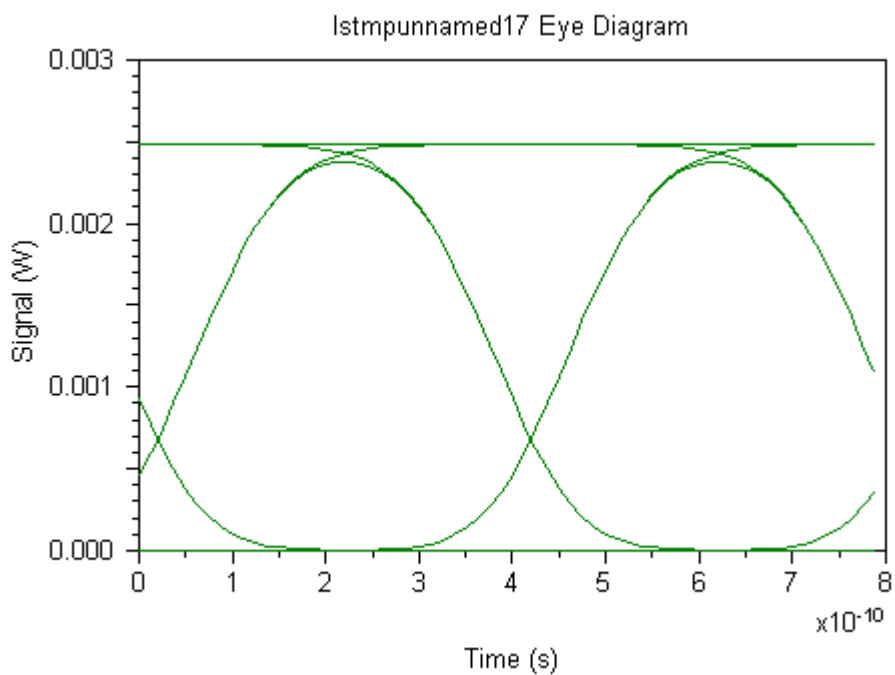
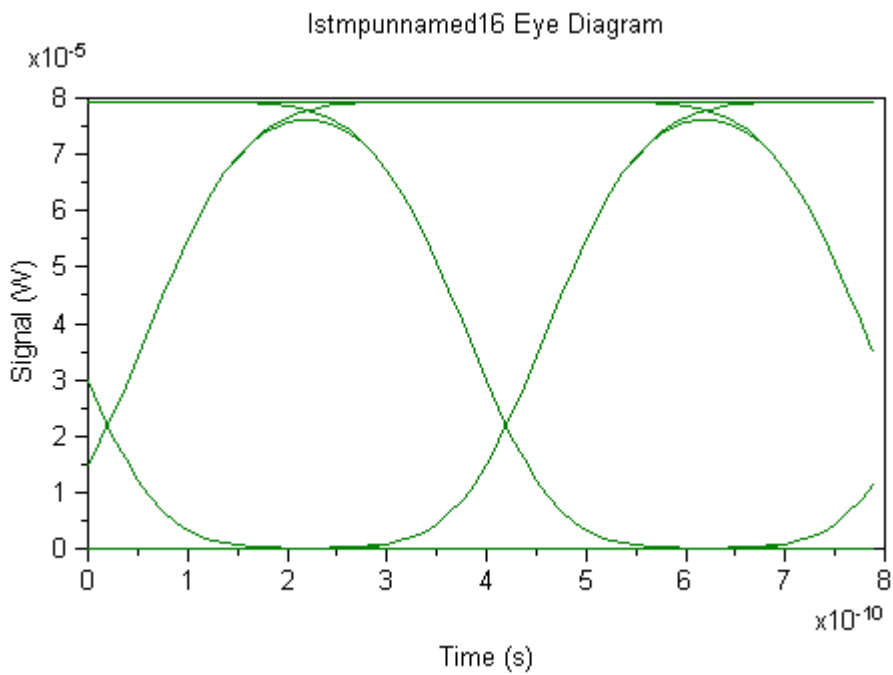
На спектрограмі видно, що канали розташовані з кроком 100 ГГц, як це передбачено стандартом. На виході мультиплексора (рис. 3.17.а) потужність сигналу становить 10^{-5} Вт, що на 6 дБм менше, ніж на вході мультиплексора. Це означає, що модулятор з мультиплексором вносив перешкоди на рівні 11 дБм.а)



б)

Рис. 3.17. а) Діаграма б) спектрограма сигнала, після мультиплексора

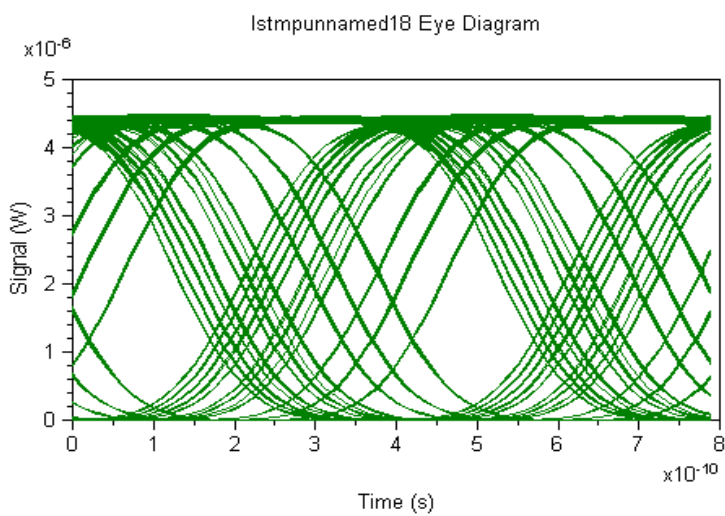
Для компенсації втраченої потужності сигналу його необхідно посилити перед тим, як він потрапить у волокно. Це здійснюється за допомогою підсилювача потужності на основі EDFA (Erbium – Dopped Fiber Amplifier).а)



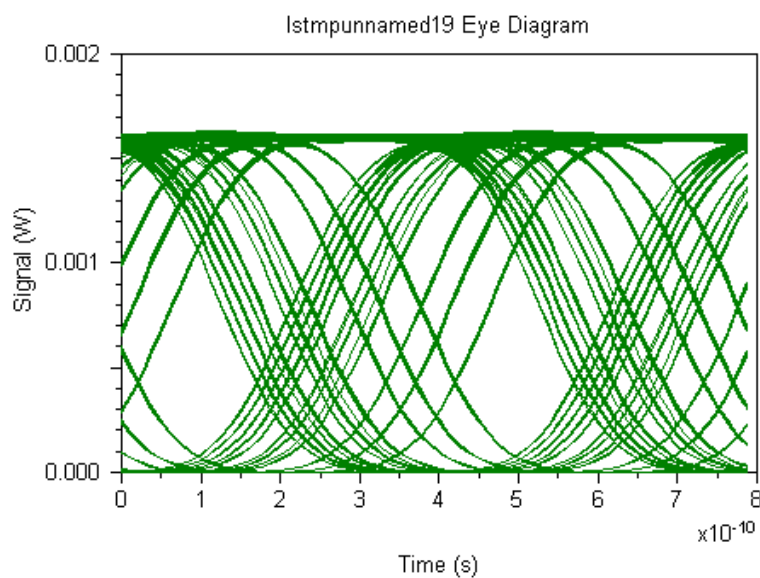
б)

Рис. 3.18. а) Діаграма сигналу до та б) після попереднього підсилювача

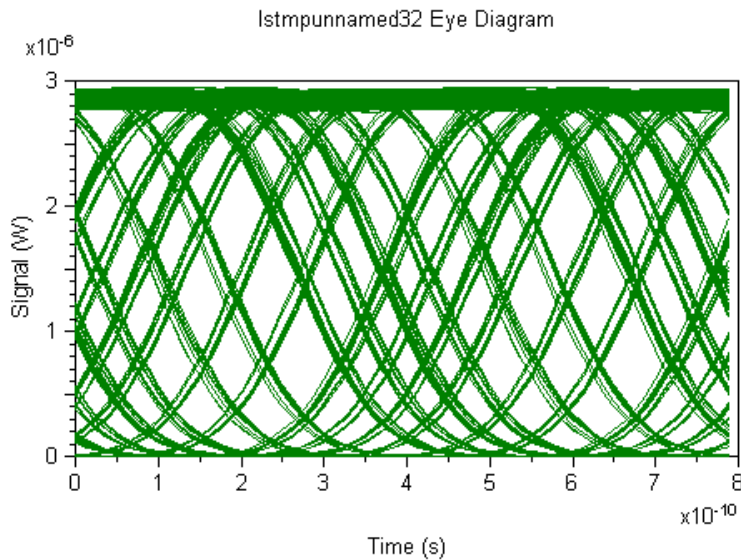
Як видно на рис. 3.18б, підсилювач потужності збільшує потужність сигналу до 2,5 мВт, що відповідає посиленню на 16 дБ. Розрахунки показують, що довжина дисперсії волокна LEAFTM на 2,5 Гбіт/с із стисненням DWDM становить близько 1750 км. Це означає, що дисперсія не є обмеженням для 550 км ВОЛЗ. Однак сигналу не вистачить потужності, щоб подолати 550 км. Якщо збільшити потужність лазера або посилення EDFA, в оптичному волокні почнуть проявлятися нелінійні ефекти, які погіршать сигнал. Тому необхідно відновити потужність сигналу, не впливаючи на інші його властивості. Це можна зробити за допомогою оптичного підсилювача EDFA, який є регенератором 1R.



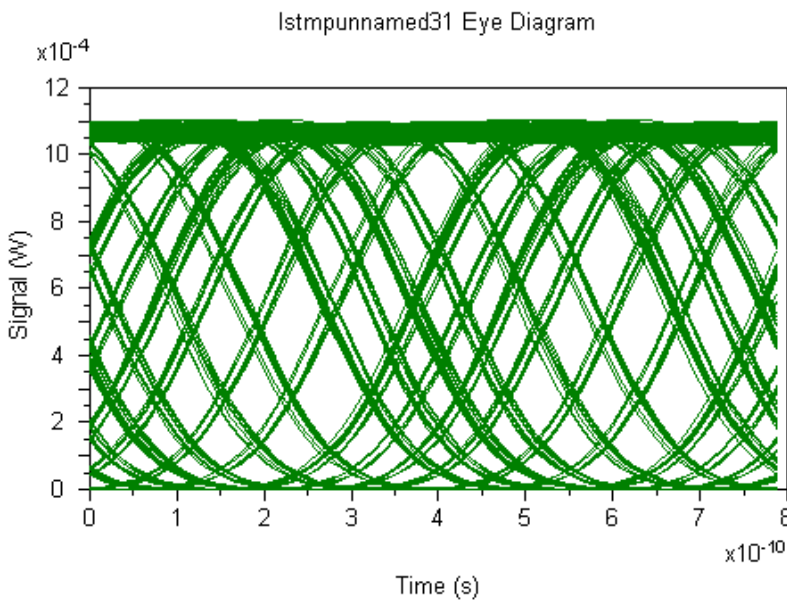
a)



б)



В)

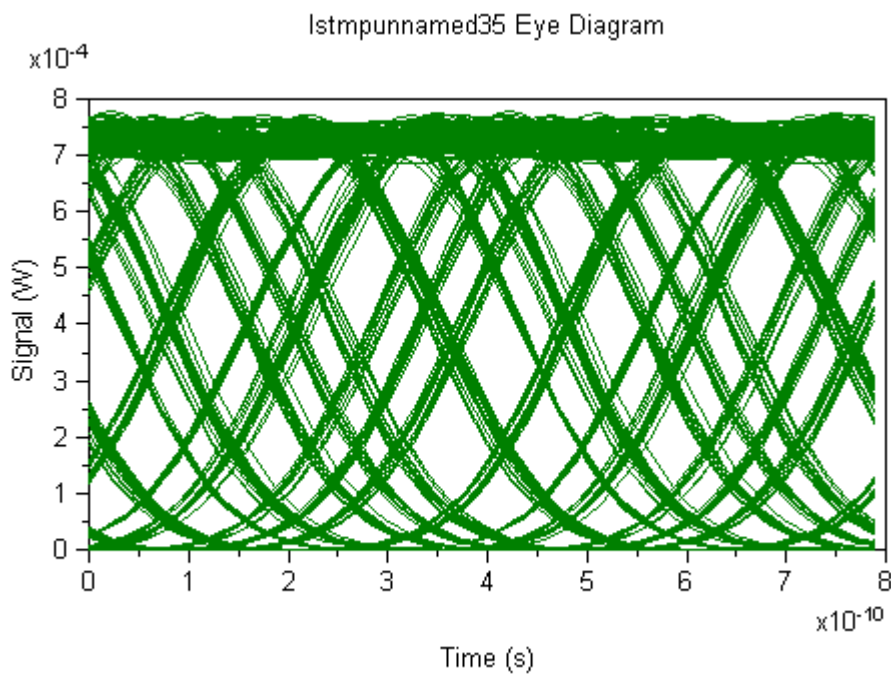
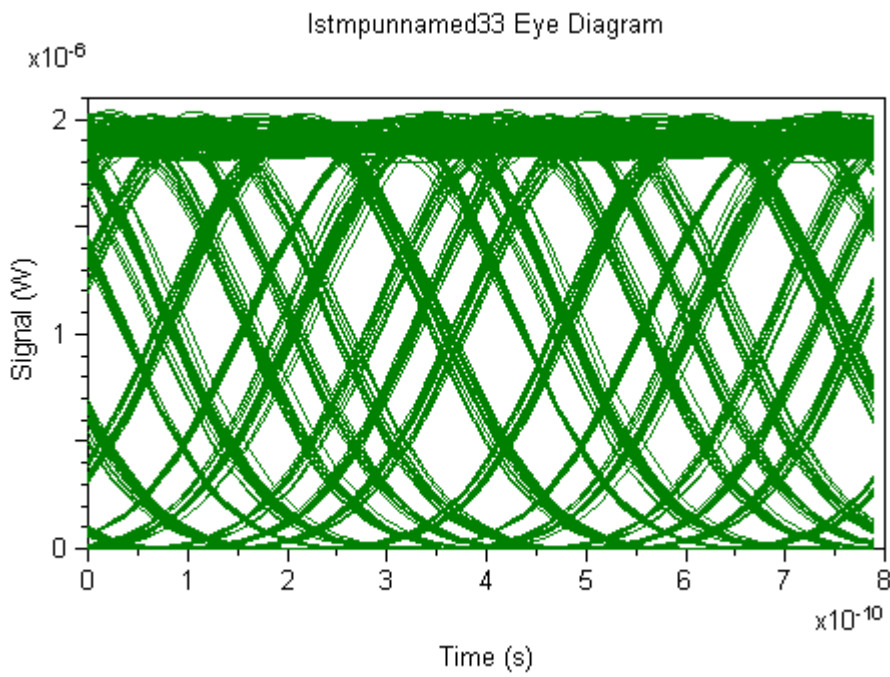


Г)

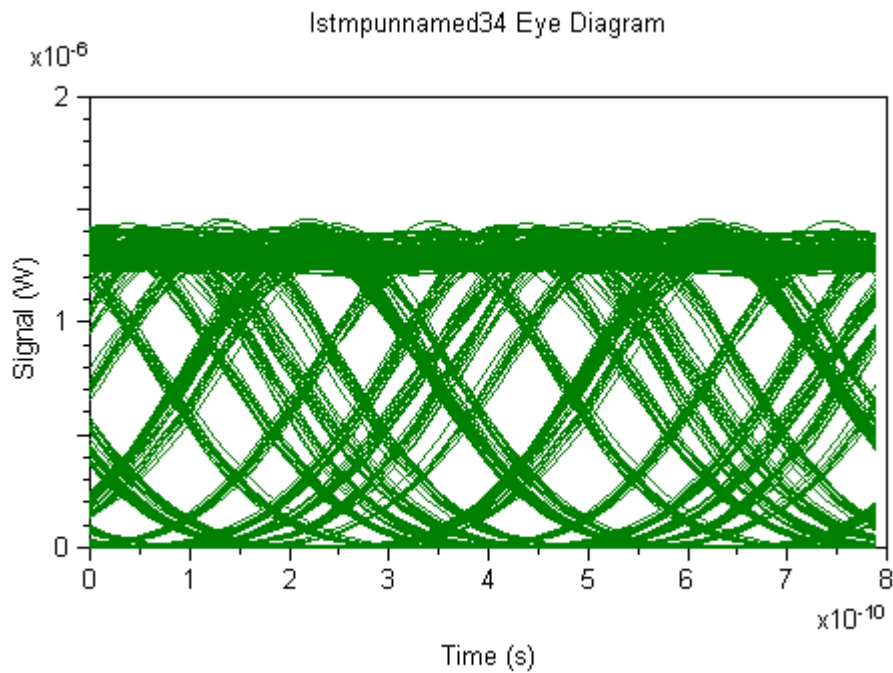
Рис. 3.19. Діаграма сигналу: а) по виходу після волокна (110 км), б) після підсилення на першому лінійному підсилювачі, в) на виході після волокна (220 км), г) після підсилення на другому лінійному підсилювачі.

На виході оптоволоконного кабелю довжиною 110 км потужність сигналу становить $4,4 \cdot 10^{-6}$ Вт, що відповідає ослабленню на 23,5 дБм. Після підсилення на першому лінійному підсилювачі потужність сигналу збільшується до $1,6 \cdot 10^{-3}$ Вт, що відповідає посиленню на 2 дБм. На виході оптоволоконного кабелю довжиною 220 км потужність сигналу становить $2,8 \cdot 10^{-6}$ Вт, що відповідає ослабленню на 25,5 дБм. Після підсилення на другому лінійному підсилювачі потужність сигналу

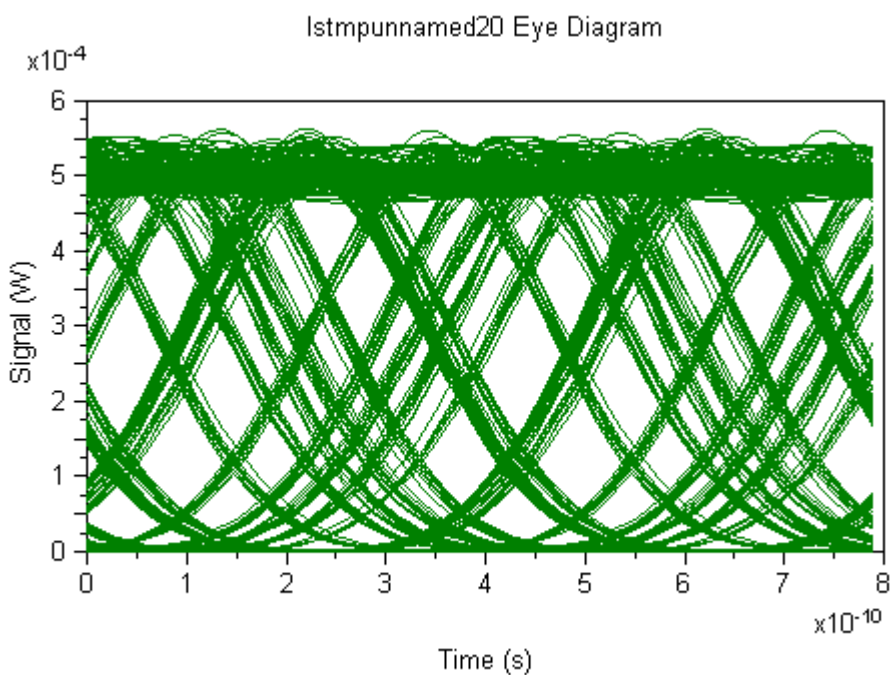
збільшується до $11 \cdot 10^{-4}$ Вт, що відповідає посиленню на 0,4 дБм.а)



б)



в)



г)

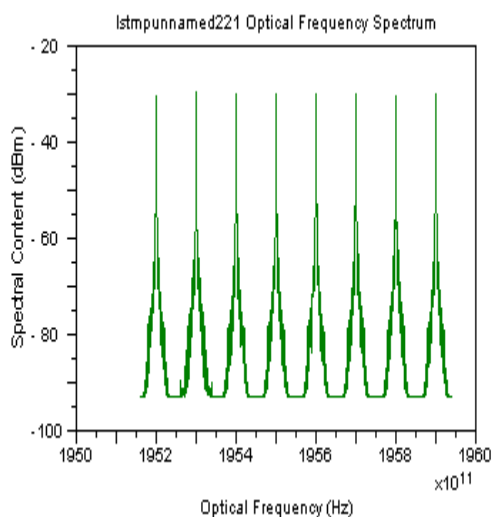
Рис. 3.20. Діаграма сигналу: а) на виході після волокна (330 км); б) після підсилення на третьому лінійному підсилювачі; в) на виході після оптоволокна (440 км); г) після підсилення на четвертому лінійному підсилювачі

Після проходження 330 км оптоволокна потужність сигналу зменшується до $1,9 \cdot 10^{-6}$ Вт, що відповідає втраті 27,5 дБм. Третій лінійний підсилювач відновлює потужність сигналу до $7,5 \cdot 10^{-4}$ Вт, що відповідає посиленню на 1,3 дБм. Після проходження ще 440 км оптоволокна потужність сигналу зменшується до $1,3 \cdot 10^{-6}$

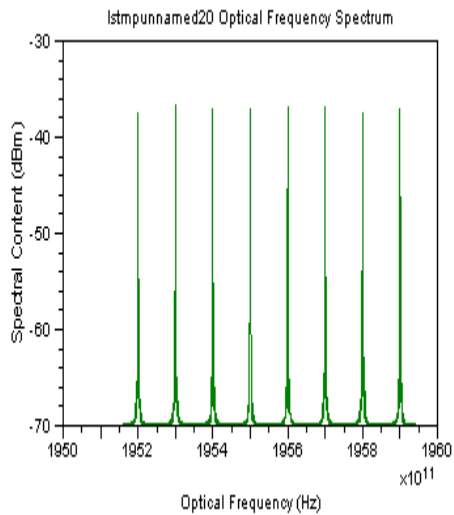
Вт, що відповідає втраті 28,8 дБм. Четвертий лінійний підсилювач відновлює потужність сигналу до $5 \cdot 10^{-4}$ Вт, що відповідає посиленню на 3 дБм.

Давайте оцінимо співвідношення сигнал/шум (S/N). На виході передпідсилювача (ПП) потужність сигналу становить -5 дБм. ПП і підсилювач потужності (ПУ) не дуже чутливі до шуму, тому потужність шуму на виході ПП становить близько -30 дБм. Звідси випливає, що співвідношення сигнал/шум становить $S/N = 5 - (-30) = 35$ дБм. Гетеродин більш чутливий до шуму, тому після кожного підсилення співвідношення сигнал/шум зменшується на 4 дБм. Після четвертого лінійного підсилювача (ЛП) співвідношення сигнал/шум становить $S/N = 35 - 16 = 19$ дБм. Основною функцією ПУ є забезпечення необхідної потужності та співвідношення сигнал/шум на вході приймача. Для стандарту STM-16 мінімальне співвідношення сигнал/шум становить 18-21 дБ.

Для ПУ важливо підтримувати співвідношення сигнал/шум на одному рівні, а також забезпечувати необхідну потужність сигналу на вході приймача. На спектральних кривих сигналу після проходження 330 і 550 км волокна рознос каналів становить 100 ГГц, що є стандартним значенням. Зі спектральної діаграми видно, що спектр сигналу звужується після проходження волокна, а потужність сигналу зменшується на близько 27 дБм.



a)



б)

Рис. 3.21. Спектр-діаграма сигналів а) після (330 км) б) після (550 км)

У нашому випадку відстань між лінійними оптичними підсилювачами була встановлена на рівні 110 км. Це означає, що для регенерації сигналу на відстані 550 км достатньо використовувати 1 підсилювач потужності, 4 лінійних підсилювача та 1 попередній підсилювач. Теоретична довжина дистанції регенерації становить близько 1700 км, на якій BER становить $2 \cdot 10^{-14}$. У цій роботі було поставлено завдання забезпечити BER на рівні 10^{-13} на відстані 550 км.

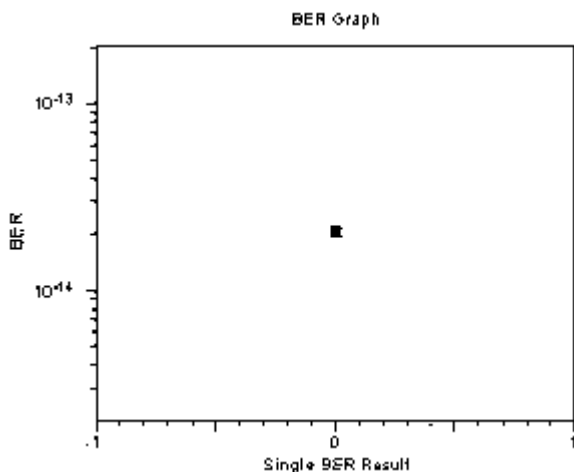
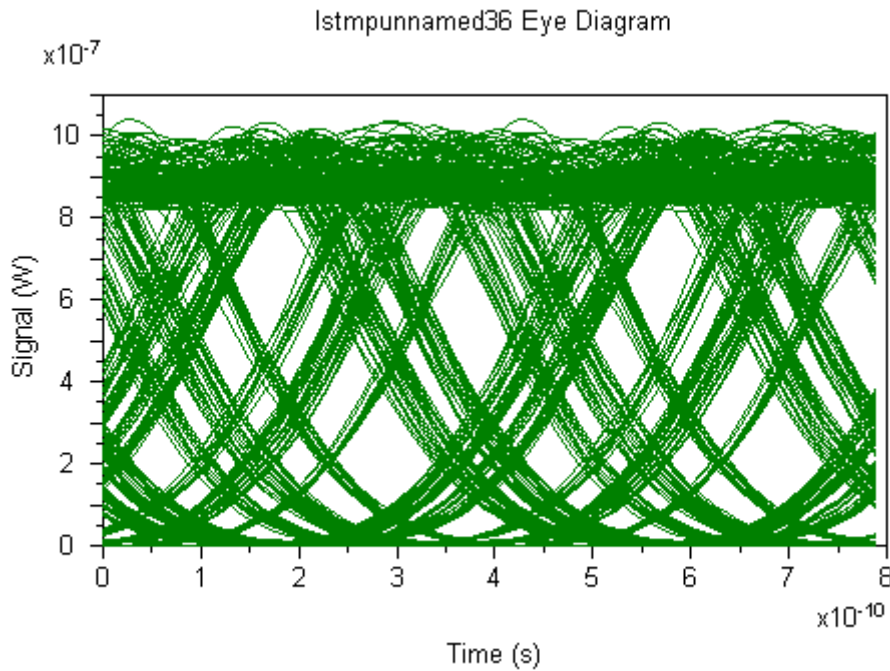


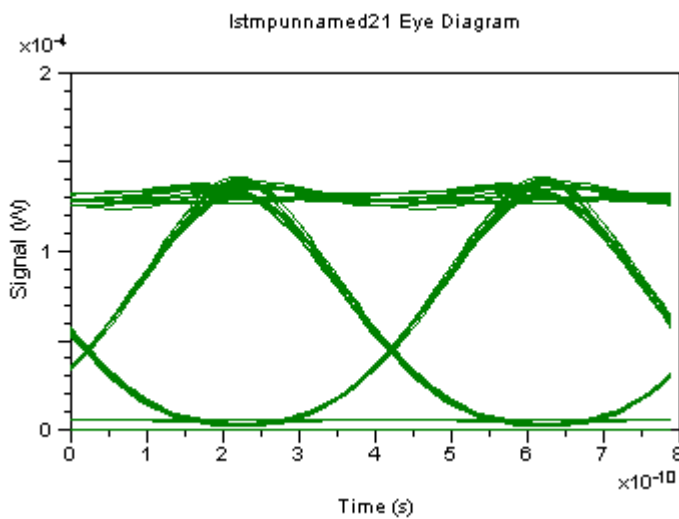
Рис.3.22. Імовірність появи помилки (BER)

Розглянемо, як сигнал змінюється на шляху від оптичного волокна до приймача. На виході волокна потужність сигналу становить $9 \cdot 10^{-7}$ Вт (3.23. а), що відповідає ослабленню на 30,4 дБм. Потім сигнал посилюється на 30 дБ попереднім підсилювачем. Далі подається на Демультіплексор який розбиває сигнал на

окремі канали, де кожен вихід DEMUX має свою власну довжину хвилі що також призводить до ослаблення сигналу на 6 дБ. (Рис 3.23.б).



а)



б)

Рис. 3.23. Діаграма сигналів: а) на виході оптоволокна (550 км); б) на виході демультиплексора

Після демультиплексування потужність сигналу становить $1,3 \cdot 10^{-4}$ Вт, що відповідає ослабленню на 8,8 дБм (рис. 3.23). Чутливість приймального пристрою для інтерфейсу STM16 становить близько -10 - -20 дБм. Таким чином, ми забезпечили достатню потужність сигналу для його належного виявлення. Потужність детектованого сигналу становить близько $5 \cdot 10^{-2}$ Вт, що відповідає 50 мВт.

Порівнюючи форми хвиль перед входом у MUX і після виходу з DEMUX (рис. 3.24). спостерігаємо, що отриманий сигнал практично не відрізняється від сигналу, що передається, за винятком, звичайно, рівня потужності. При передачі по оптичному каналу також накопичуються перешкоди, які, однак, не перешкоджають розпізнаванню прийнятого сигналу.

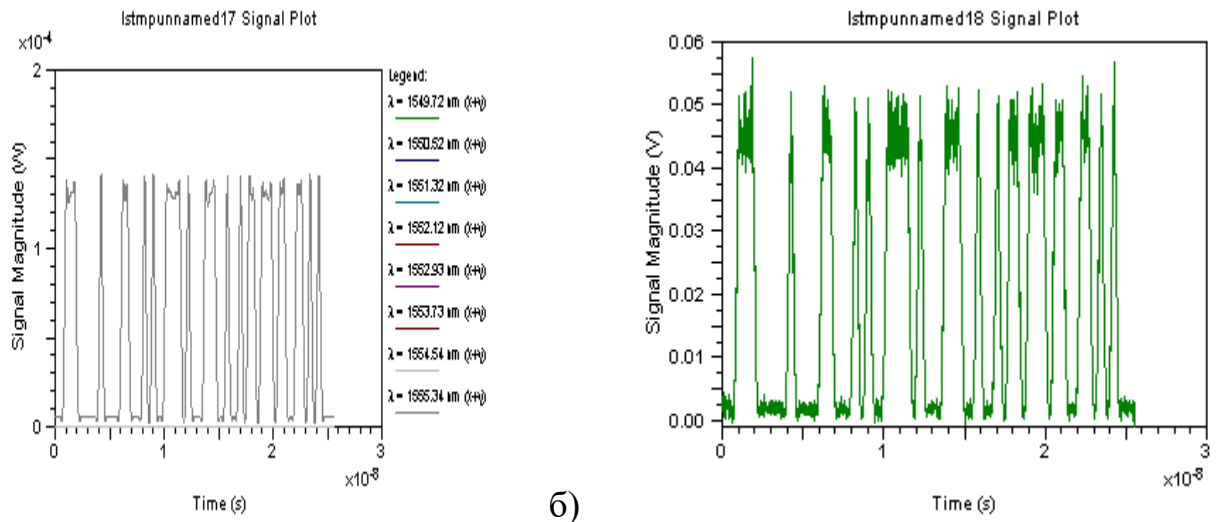


Рис.3.24. Осцилограми сигналів: а) до входу в мультиплексор; б) після виходу із демультиплексора.

Прийнятий сигнал обробляється в приймачі, але при цьому виникають перешкоди, які можуть спотворювати сигнал. (рис. 3.25).

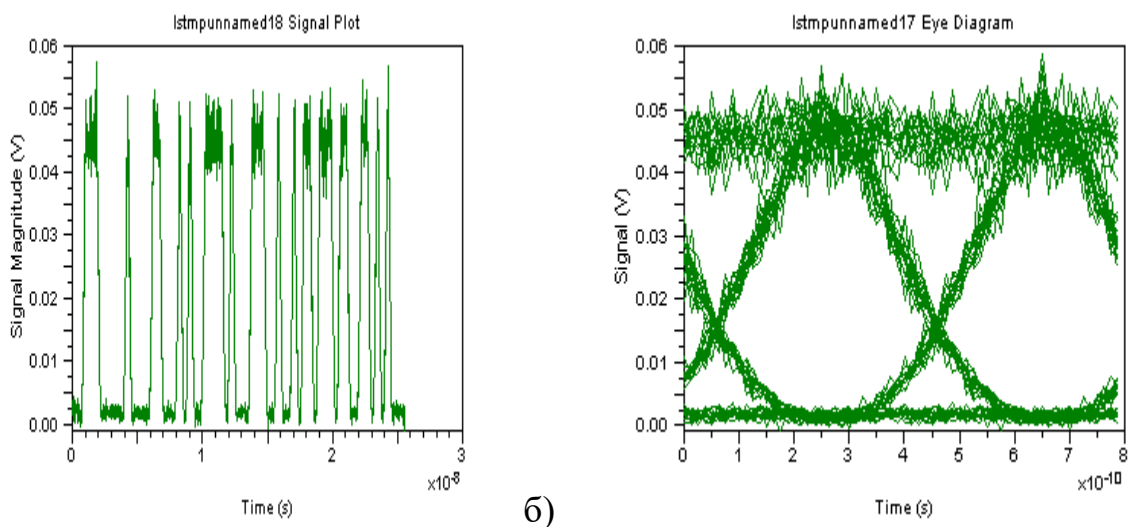


Рис. 3.25. а) Осцилограма б) діаграма продетектованого сигналу

На рисунку 3.25 показано, що загасання в оптичному волокні призводить до втрати потужності сигналу на приймальному кінці. Це може призвести до спотворення сигналу або навіть до його втрати. Для надійного виявлення сигналу

необхідно, щоб рівень потужності сигналу на приймальному кінці був достатнім. Запас по фазі становить $4 \cdot 10^{-10}$, а запас по амплітуді становить $4,5 \cdot 10^{-2}$ Вт.

Як бачите, для розширених ВОЛЗ існують суворі вимоги як до обладнання інтерфейсу, так і до волокна. Для розробленого ВОЛЗ основним обмеженням є продуктивність. Залежність коефіцієнта помилок (BER) від загасання в оптичному волокні BERf (втрати); від коефіцієнта посилення в лінійному підсилювачі BERf (підсилення); на BERf (бітрейт) було досліджено.

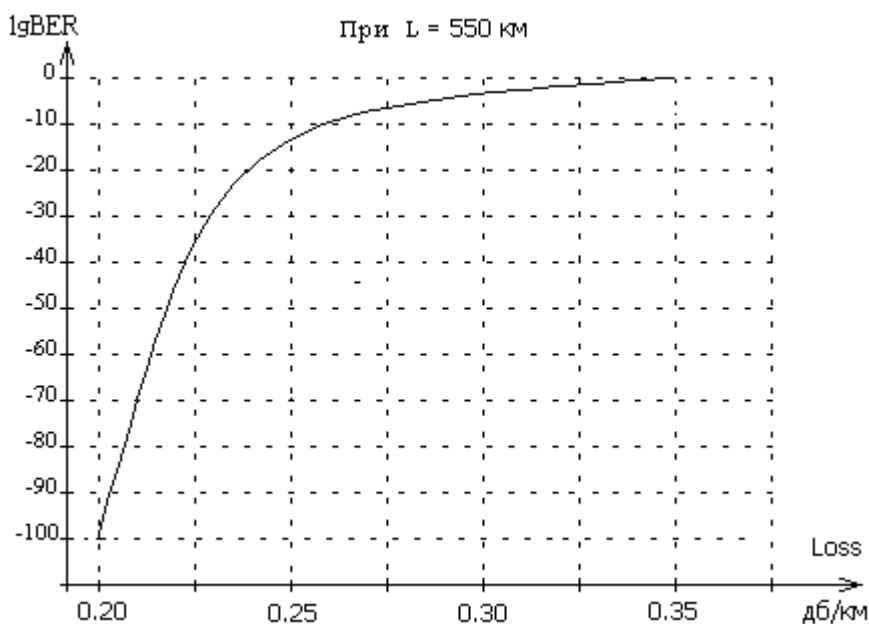


Рис.3.26. Графік залежності BERf (loss)

Як показано на рисунку 3.26, загасання в оптичному волокні є критичним фактором для забезпечення високої продуктивності ВОЛЗ. При загасанні 0,30 дБ/км на відстані 550 км і швидкості передачі даних 2,5 Гбіт/с коефіцієнт помилок (BER) стає неприйнятно високим. Волокна NZDSF, які мають загасання 0,20–0,25 дБ/км у третьому вікні прозорості, відповідають вимогам до таких систем. У своїй роботі я використовував одномодове волокно NZDSF LEAFTM.

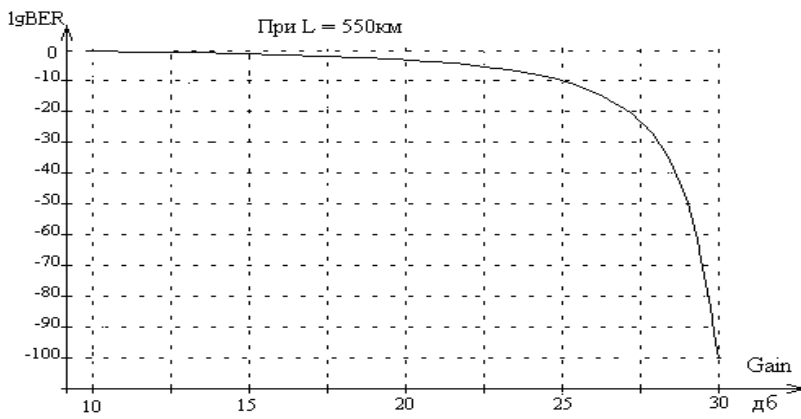


Рис. 3.27. Графік залежності BERf (Gain) 48

Як показано на рисунку 3.27, коефіцієнт підсилення лінійного підсилювача є важливим фактором, що впливає на коефіцієнт помилок (BER). При низькому коефіцієнті підсилення сигнал на приймальному кінці може бути недостатньо потужним для надійного виявлення, а при високому коефіцієнті підсилення через виникнення нелінійних ефектів співвідношення сигнал/шум може зменшитися. У моделюванні ВОЛЗ використовувався коефіцієнт підсилення $G=26$

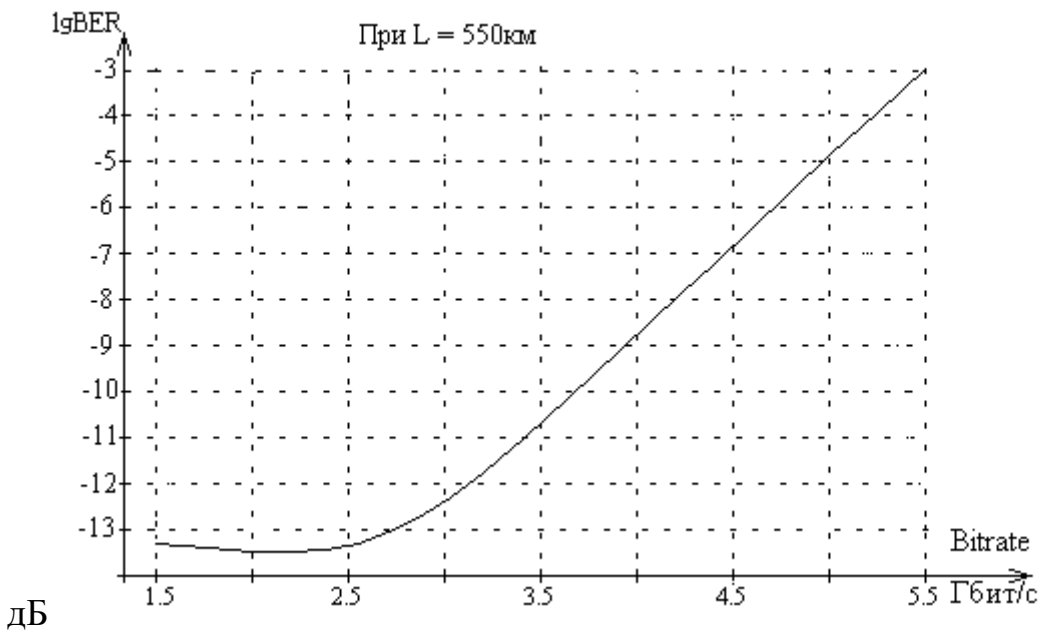


Рисунок 3.28 показує, що коефіцієнт помилок (BER) зменшується зі збільшенням швидкості передачі даних. Це означає, що для забезпечення високої продуктивності

ВОЛЗ необхідно використовувати обладнання інтерфейсу з більш високими характеристиками. Наприклад, кількість використовуваних лінійних підсилювачів може бути зменшена до 2-3, а відношення сигнал/шум має бути не менше 29-31 дБ.

3.5. Висновок до розділу 3

Це дослідження підкреслює ефективність використання восьмиканальної DWDM системи для стільникових мереж. Досягнуті показники, зокрема, стабільний рівень потужності сигналу (-8,8 дБм) та задовільне відношення сигнал/шум (-19 дБ) на відстані 550 км, вказують на високу ефективність цієї технології. Особливо важливим є те, що ця система забезпечує високу швидкість передачі даних (2,5 Гбіт/с) без необхідності оптико-електронного перетворення, що значно знижує витрати та спрощує експлуатацію.

Ці результати підтверджують, що застосування DWDM у стільникових мережах може значно підвищити пропускну спроможність мережевої інфраструктури, забезпечуючи ефективніше використання оптоволоконних каналів. Таким чином, DWDM є ключовим елементом у розвитку сучасних стільникових мереж, особливо в контексті зростаючого попиту на передачу великих обсягів даних та підтримку послуг 5G.

Загалом, висновки цього дослідження підкреслюють важливість продовження інновацій та розвитку в сфері оптоволоконних технологій для задоволення потреб сучасного стільникового зв'язку.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Охорона праці при роботі з оптичним волокном

Оптичне волокно - це важливий компонент сучасних комунікаційних мереж. Воно використовується для передачі даних на великі відстані з високою швидкістю і надійністю. Однак, при роботі з оптичним волокном важливо дотримуватися заходів безпеки, щоб не завдати шкоди здоров'ю працівника.

Основні ризики, пов'язані з роботою з оптичним волокном, можна розділити на три групи:

***Ризики, пов'язані з механічними травмами:**

Оптичні волокна є тонкими і крихкими, тому вони можуть легко пошкодитися. При роботі з оптичним волокном необхідно дотримуватися правил безпеки, щоб не поранити себе. Наприклад, не слід кидати або розбивати оптичні волокна, а також слід використовувати захисні рукавички, щоб не порізатися.

***Ризики, пов'язані з електричним струмом:**

При спаюванні оптичних волокон використовується спеціальне обладнання, яке може бути підключено до мережі електроживлення. Неправильне використання цього обладнання може призвести до ураження електричним струмом. При роботі з обладнанням для спаювання оптичних волокон необхідно дотримуватися правил безпеки, щоб не отримати електротравму. Наприклад, необхідно використовувати діелектричні рукавички і взуття, а також слід переконатися, що обладнання правильно заземлено.

***Ризики, пов'язані з хімічними речовинами:**

При виробництві оптичних волокон використовуються різні хімічні речовини, які можуть бути шкідливими для здоров'я. При роботі з оптичним волокном необхідно дотримуватися правил безпеки, щоб не наразити себе на вплив цих речовин. Наприклад, необхідно використовувати захисні маски і окуляри, а також слід дотримуватися правил техніки безпеки при роботі з хімічними речовинами.

Для забезпечення безпеки праці при роботі з оптичним волокном необхідно дотримуватися таких заходів:

- Проводити інструктаж з охорони праці з усіма працівниками, які працюють з оптичним волокном. Інструктаж повинен включати в себе вивчення правил безпеки при роботі з оптичним волокном, а також надання практичних навичок з безпечного використання обладнання для роботи з оптичним волокном.

- Забезпечити працівників необхідним обладнанням та засобами індивідуального захисту. До обладнання та засобів індивідуального захисту, які необхідно використовувати при роботі з оптичним волокном, відносяться:

* Захисні рукавички, щоб не порізатися;

* Діелектричні рукавички і взуття, щоб не отримати електротравму;

* Захисні маски і окуляри, щоб захистити органи дихання і зору від впливу хімічних речовин.

- Створювати на робочому місці безпечні умови праці. Це включає в себе забезпечення достатнього освітлення, чистоти і порядку на робочому місці, а також дотримання правил пожежної безпеки.

Крім того, необхідно дотримуватися таких правил при роботі з оптичним волокном:

*Не кидати і не розбивати оптичні волокна.

*Використовувати захисні рукавички при роботі з оптичним волокном.

*Переконайтеся, що обладнання для спаювання оптичних волокон правильно заземлено.

*Використовувати захисні маски і окуляри при роботі з хімічними речовинами.

Дотримуючись цих заходів, забезпечується безпеку праці при роботі з оптичним волокном.

*Не робити ремонт обладнання для роботи з оптичним волокном самостійно.

*При виникненні аварійної ситуації негайно припини роботу і повідомити про це керівництву.

4.2. Робота підприємств мобільного зв'язку у воєнний час

Під час дії воєнного стану мобільна мережа на території України зіткнулася з рядом проблем та факторів через які якісь цієї самої мережі знизилася. Провідним телекомунікаційним компаніям України довелося швидко орієнтуватися та проводити ряд дій для забезпечення стабільності роботи мережі у воєнний час.

Основними проблемами, з якими зіткнулася мобільна мережа в Україні, були:

Пошкодження кабельної інфраструктури. Військові дії призвели до пошкодження телекомунікаційних ліній, що обмежив доступ до мобільного зв'язку в деяких районах країни.

Проблеми електропостачання. Без електропостачання мобільні оператори не можуть забезпечувати роботу мережі. У деяких районах України електропостачання було відключено, що призвело до перебоїв у роботі мобільного зв'язку.

Неможливість доступу ремонтних груп до об'єктів мережі. У разі бойових дій доступ ремонтних груп до об'єктів мережі може бути обмежений або неможливим. Це може призвести до тривалих перебоїв у роботі мережі.

Мобільні мережі провідних українських компаній побудовані таким чином, що вони можуть адаптуватися до будь-яких змін. Це дозволяє операторам підтримувати роботу мережі навіть у разі пошкодження окремих об'єктів.

Ось деякі з заходів, які вжили українські оператори для забезпечення стабільності мережі:

Міцна архітектура мережі дозволяє перенаправляти трафік через інші вузли, якщо один із них буде пошкоджений. Це означає, що навіть якщо одна базова станція вийде з ладу, інші будуть продовжувати працювати.

Базові станції забезпечені резервним електропостачанням, що дозволяє їм працювати навіть у разі відключення електропостачання.

Оператори зарезервували додаткові канали для телекомунікаційних з'єднань. Це означає, що навіть якщо один канал буде пошкоджений, інші залишаться доступними.

Компанії посилили фізичну охорону ключових об'єктів мережі. Це допоможе запобігти пошкодженню цих об'єктів у разі бойових дій.

Провайдери використовують сучасні сервіси кібербезпеки для захисту своїх інформаційних систем. Це допомагає запобігти кібератакам, які можуть призвести до збоїв у роботі мережі.

Завдяки цим заходам мережа залишається стабільною та надійною навіть у воєнний час.

Фіксований зв'язок можна вивести з ладу, пошкодивши кабельну мережу. У містах кабелі проходять під землею в кабельній каналізації, а потім заходять у будинки через канали в підвальних приміщеннях. Однак деякі оператори фіксованого інтернету прокладають кабелі по дахах будівель, що робить їх більш вразливими для пошкодження.

Фіксований телефон працює навіть без електроживлення в будинку, оскільки живиться від АТС. АТС має резервні потужності у разі аварійного відключення електроенергії, наприклад, стаціонарні або мобільні генератори.

Оптична мережа (GPON) також забезпечить зв'язок, якщо є живлення на роутері вдома та на мережевому вузлі оператора.

Ось кілька способів виводу з ладу фіксованого зв'язку:

Пошкодження кабелів під землею або на дахах будівель.

Відключення електроенергії в будинках.

Відключення електроенергії на АТС.

Кібератака на мережу оператора.

Заходи захисту фіксованого зв'язку від виводу з ладу:

Захист кабелів від пошкодження.

Забезпечення резервного електропостачання для АТС.

Захист мережі від кібератак.

З точки зору надійності зв'язку в надзвичайних умовах та при використанні засобів радіоелектронної боротьби, найбільш доступним і ефективним рішенням для громадян є поєднання фіксованого оптичного доступу в інтернет, фіксованого телефону та мобільного зв'язку від двох операторів.

Ось чому:

Фіксований оптичний доступ в інтернет є найбільш надійним видом зв'язку, оскільки він не залежить від електроенергії та не піддається глушенню засобами радіоелектронної боротьби.

Фіксований телефон також є відносно надійним видом зв'язку, оскільки він також не залежить від електроенергії.

Мобільний зв'язок від двох операторів підвищує ймовірність того, що хоча б один з операторів зможе забезпечити зв'язок, навіть якщо один з них буде виведений з ладу.

В провідних компаніях України є розроблені та діючі правила роботи та інформування в разі позаштатних ситуацій. Ці правила застосовуються як для співробітників компанії, так і для її клієнтів.

Розроблені алгоритми взаємодії з державними органами влади у разі надзвичайних ситуацій різного характеру. Крім того, проводять спеціальні навчання з інформування населення про те, як діяти в надзвичайних ситуаціях.

Ці заходи спрямовані на забезпечення ефективної та злагодженої взаємодії в будь-яких надзвичайних ситуаціях.

Після запровадження військового стану в Україні, управління телекомунікаційними мережами країни перейшло до Національного центру оперативного-технічного управління мережами телекомунікацій (НЦУ).

НЦУ є державною установою, створеною на базі Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації України. НЦУ має право координувати роботу телекомунікаційних мереж та визначати, як мають діяти та взаємодіяти оператори зв'язку.

Ці заходи спрямовані на забезпечення стабільної роботи телекомунікаційних мереж у разі військових дій.

Ось деякі конкретні приклади того, як НЦУ використовує свої повноваження:

НЦУ перерозподіляє ресурси телекомунікаційних мереж для забезпечення пріоритетних потреб, таких як зв'язок для військових та органів влади.

НЦУ за потреби обмежити доступ до деяких телекомунікаційних послуг, щоб запобігти їхньому використанню ворогом.

НЦУ забезпечує взаємодію між різними операторами зв'язку, щоб забезпечити безперебійну роботу мережі.

Запровадження таких заходів допомагає зберегти телекомунікаційну інфраструктуру України та забезпечити її ефективне використання в період військових дій.

Стосовно відновлення роботи базових станцій мобільного зв'язку в зоні проведення бойових дій, це є складним завданням, оскільки вимагає фізичного доступу технічних спеціалістів до місця розташування станції.

Такий доступ може бути наданий лише за дозволу військового командування, яке оцінює ступінь загрози для життя людей.

Тому прогнозувати строки відновлення роботи базових станцій у випадку їх руйнування неможливо, оскільки це залежить від багатьох факторів, включаючи масштаби бойових дій, наявність руйнувань, а також наявність у військового командування пріоритетів щодо відновлення телекомунікаційної інфраструктури.

Ось кілька конкретних прикладів того, що може вплинути на строки відновлення роботи базових станцій:

Якщо базова станція була повністю зруйнована, її відновлення може зайняти кілька тижнів або навіть місяців.

Якщо базова станція була пошкоджена, її відновлення може зайняти кілька днів або навіть годин.

Якщо в зоні бойових дій є багато пошкоджених базових станцій, військове командування може надати пріоритет відновлення тих, які розташовані в найбільш важливих для забезпечення безпеки районах. За таких умов оператори мобільного зв'язку докладають усіх зусиль для якнайшвидшого відновлення роботи базових станцій у зоні проведення бойових дій.

Підсумовуючи можна сказати, що загальна мобільна мережа України побудована таким чином, що вона може адаптуватися до будь-яких змін. Це дозволяє операторам підтримувати роботу мережі навіть у разі пошкодження окремих об'єктів.

4.3. Примірний розподіл функціональних обов'язків з охорони праці керівників, посадових осіб і фахівців підприємств галузі

Керівництво організації має регулярно оцінювати ефективність функціонування системи управління охороною праці (СУОП). При цьому оцінюється, чи відповідає система загальним цілям організації, а також її вимогам і потребам. Також визначається доцільність змін у структурі системи та прогнозуються подальші заходи щодо її удосконалення.

При оцінці ефективності системи управління охороною праці (СУОП) необхідно враховувати такі фактори:

Результати розслідування нещасних випадків на виробництві, випадків погіршення здоров'я і виникнення професійних захворювань, а також причини виникнення небезпечних ситуацій. Це дозволяє визначити, чи ефективна система в запобіганні виробничим травмам, професійним захворюванням та іншим небезпечним ситуаціям.

Додаткові внутрішні та зовнішні фактори, а також зміни, включаючи організаційні, що можуть вплинути на стан охорони праці. Це дозволяє врахувати вплив таких факторів, як зміна технології виробництва, нові нормативні вимоги, а також зміни в організації праці.

Висновки аналізу ефективності СУОП повинні бути документально оформлені та донесені до всіх працівників та їх представників. Це дозволяє забезпечити розуміння ефективності системи управління охороною праці та сприяє її вдосконаленню.

Облік, аналіз та оцінка показників охорони праці та функціонування системи управління охороною праці (СУОП) – це систематична діяльність, спрямована на отримання, накопичення, аналіз та узагальнення інформації про стан охорони праці в організації. Ця інформація використовується для розробки та прийняття управлінських рішень, спрямованих на покращення стану охорони праці.

До показників охорони праці відносяться:

кількість та тяжкість нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань;

виконання вимог законодавчих та нормативних документів з охорони праці;

стан умов праці на робочих місцях;

ефективність заходів з охорони праці.

Облік, аналіз та оцінка показників охорони праці здійснюється за такими етапами:

Збір інформації. На цьому етапі здійснюється збір інформації про стан охорони праці в організації з різних джерел, таких як:

матеріали розслідування нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань;

результати всіх видів контролю за станом охорони праці;

дані паспортів санітарно-технічного стану умов праці;

матеріали спеціальних обстежень будівель, споруд, приміщень, обладнання.

Аналіз інформації. На цьому етапі здійснюється аналіз інформації про стан охорони праці з метою виявлення проблем та недоліків.

Оцінка інформації. На цьому етапі здійснюється оцінка інформації про стан охорони праці з метою визначення ефективності системи управління охороною праці.

Результати обліку, аналізу та оцінки показників охорони праці використовуються для таких цілей:

розробка та прийняття управлінських рішень з питань охорони праці;

внесення змін до планів роботи з охорони праці;

стимулювання діяльності працівників та структурних підрозділів з питань охорони праці.

Система управління охороною праці (СУОП) на підприємстві – це багаторівнева система, що складається з кількох ланок. Принципова відмінність низової ланки від усіх наступних полягає в тому, що вона безпосередньо відповідає за створення безпечних і нешкідливих умов праці на робочих місцях.

Травматизм, як явище, формується саме на робочих місцях, тому низова ланка СУОП фокусується на тому, щоб запобігти йому на самому початку

На низовому рівні управління охороною праці на підприємстві робітники та ІТП (інженерно-технічні працівники) відповідають за створення безпечних умов праці на своїх робочих місцях. Вони повинні вживати всіх заходів, щоб запобігти нещасним випадкам та професійним захворюванням.

На рівні проектів і в організаціях більш високого рівня управління під об'єктом управління розуміють діяльність структурних підрозділів та функціональних служб, спрямовану на забезпечення здорових і безпечних умов праці. Ці підрозділи повинні розробляти та впроваджувати заходи щодо покращення стану охорони праці на підприємстві.

Повну відповідальність за створення безпечних і нешкідливих умов праці на підприємстві несе роботодавець. Він зобов'язаний забезпечити виконання всіх вимог законодавства в галузі охорони праці.

Працівник зобов'язаний дотримуватися вимог законодавства в галузі охорони праці. Ці вимоги визначаються нормативно-правовими актами та кваліфікаційними характеристиками працівників.

Крім того, обов'язки з охорони праці несуть посадові особи, які відповідають за планування, фінансування, організацію та впровадження заходів щодо забезпечення безпеки праці на робочих місцях.

Обов'язки працівників і посадових осіб з охорони праці визначаються законом, правилами та інструкціями, а також внутрішніми документами організації. При цьому враховуються особливості роботи конкретної організації.

Обов'язки посадових осіб з охорони праці розробляються на основі закону та затверджуються керівником організації. Вони повинні відповідати посаді та узгоджуватися з іншими службами організації.

Для всіх працівників і посадових осіб з охорони праці важливо знати основи законодавства з охорони праці, технології, організації, управління й економіки виробництва.

Оцінка роботи в сфері охорони праці посадових осіб і робітників здійснюється на основі оцінки якості виконання ними своїх обов'язків.

Для ефективної роботи системи управління охороною праці (СУОП) необхідно визначити обов'язки, відповідальність та повноваження керівників, працівників та інших зацікавлених осіб у сфері охорони праці.

Ці обов'язки та повноваження повинні бути пов'язані з розробкою, впровадженням та удосконаленням СУОП. Вони також повинні стосуватися управління ризиками виникнення небезпечних ситуацій, пов'язаних з діяльністю організації, устаткуванням та робочими процесами.

Обов'язки та повноваження повинні бути документовані та доведені до відома працівників. Це допоможе забезпечити ефективне управління охороною праці в організації.

Суб'єкт господарювання повинен розробити Положення про службу охорони праці, що має відповідати Типовому положенню про службу охорони праці (НПАОП 0.00-4.35-04), затверджене наказом Держнаглядохоронпраці України від 15.11.2004 № 255, зареєстрованому в Мін'юсті України 01.12.2004 за № 1526/10125.

Основні завдання і повноваження комісії з питань охорони праці мають відповідати Типовому положенню про комісію з питань охорони праці підприємства (НПАОП 0.00-4.09-07), затверджене наказом Держгірпромнагляду № 55 від 21.03.2007, зареєстрованому Мін'юстом 04.04.2007 за № 311/13578, а компетенція уповноважених найманими працівниками – Типовому положенню про діяльність

уповноважених найманими працівниками осіб з питань охорони праці (НПАОП 0.00-4.11-07), затвердженому наказом Держгірпромнагляду № 56 від 21.03.2007, зареєстрованому в Мін'юсті 06.04.2007 за № 316/13583.

4.4. Висновок до розділу 4

У четвертому розділі описано охорону праці при роботі з оптоволоконном, проаналізовано підвищення стійкості роботи підприємств мобільного зв'язку у воєнний час, а також описано загальне поняття таке як, примірний розподіл функціональних обов'язків з охорони праці керівників, посадових осіб і фахівців підприємств галузі.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1. Охорона навколишнього середовища при роботі з оптичним волокном

Оптичне волокно - це важливий компонент сучасних комунікаційних мереж. Воно використовується для передачі даних на великі відстані з високою швидкістю і надійністю. Однак, при роботі з оптичним волокном важливо дотримуватися заходів безпеки, щоб не завдати шкоди навколишньому середовищу

Одним з основних ризиків, пов'язаних з роботою з оптичним волокном, є забруднення навколишнього середовища. Оптичні волокна зазвичай виготовляються з скла або пластику. При їх виробництві використовуються різні хімічні речовини, які можуть бути шкідливими для навколишнього середовища. Наприклад, при виготовленні скловолкна використовуються такі речовини, як плавиковий луг, сірка, оксид алюмінію та інші. При виготовленні пластикових оптичних волокон використовуються такі речовини, як фенолформальдегідні смоли, поліетилентерефталат (ПЕТ) та інші.

Щоб зменшити ризик забруднення навколишнього середовища при виробництві оптичних волокон, необхідно використовувати екологічно чисті технології. Наприклад, для плавлення скла можна використовувати альтернативні джерела енергії, такі як сонячна або вітрова енергія. Для виробництва пластикових оптичних волокон можна використовувати біорозкладні матеріали. Іншим ризиком, пов'язаним з роботою з оптичним волокном, є викиди в атмосферу. При спаюванні оптичних волокон використовуються спеціальні припої, які містять свинець або інші важкі метали. При спаюванні ці метали можуть потрапляти в атмосферу у вигляді пари або дрібнодисперсних частинок.

Щоб зменшити ризик викидів в атмосферу при спаюванні оптичних волокон, необхідно використовувати екологічно чисті припої, які не містять важких металів. Також необхідно використовувати обладнання для відбору та очищення викидів.

Ось кілька конкретних заходів, які можна вжити для захисту навколишнього середовища при роботі з оптичним волокном:

Використання екологічно чистих матеріалів і технологій при виробництві оптичних волокон.

Використання екологічно чистих припоїв при спаюванні оптичних волокон.

Використання обладнання для відбору та очищення викидів.

Відправка старих або пошкоджених оптичних волокон на утилізацію.

Підтримка компаній, які займаються виробництвом екологічно чистих оптичних волокон.

Важливо також дотримуватися правил безпечної експлуатації оптичних волокон. Наприклад, не слід кидати або розбивати оптичні волокна. При роботі з оптичними волокнами необхідно використовувати захисні рукавички, щоб не порізатися.

Дотримуючись цих заходів, можна допомогти захистити навколишнє середовище при роботі з оптичним волокном.

.5.2. Висновок до розділу 5

В даному розділі розглянуті основні ризики, пов'язані з роботою з оптичним волокном, це забруднення навколишнього середовища при виробництві оптичних волокон та викиди в атмосферу при спаюванні оптичних волокон. Також надані та проаналізовані конкретні методи та заходи, які допоможуть зменшити негативний вплив на навколишнє середовище.

ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі проаналізовано нові технологічні тенденції технологій фіксованого доступу. Детально описано та досліджено розвиток оптоволоконних технологій, їх загальні та фізико-технічні характеристики. Проведено аналіз переваг і недоліків ВОЛЗ, описано їх будову та складові частини, а також наведено загальні принципи проектування. Проаналізовано переваги та недоліки використання ВОЛЗ у стільникових мережах зв'язку

У науково-дослідницькій частині статті йдеться про системи управління мережами DWDM та WDM, їх застосування та вплив на роботу стільникових систем. Описано пристрої та мережі DWDM, які використовуються у ВОЛЗ. Здійснено детальний аналіз та дослідження DWDM на 8 каналів у вигляді рисунків та графіків.

Також у статті визначено, що найважливішими елементами високошвидкісних оптичних мереж є передавальні та приймальні модулі, модулятори, широкосмугові оптичні підсилювачі, компенсатори дисперсії, демультиплексори та комутатори. Описано питання підвищення стійкості роботи підприємств мобільного зв'язку у воєнний час та примірний розподіл функціональних обов'язків з охорони праці керівників, посадових осіб і фахівців підприємств галузі. Розглянуто чинники які впливають на навколишнє середовище при роботі з ВОЛЗ та приведено методи зменшення впливу цих чинників.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. FIBEROPTIC [Compatibility Mode].[Електронний ресурс]//Стаття.
2. Режим доступу:
3. <https://personal.utdallas.edu/~torlak/courses/ee4367/lectures/FIBEROPTICS.pdf>
4. /(12.09.2022). Назва з екрану.
5. Recent trends in wireless and optical fiber communication. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу:
6. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666285X22000280>
7. /(19.09.2022). Назва з екрану.
8. Basic Elements of a Fiber Optic Communication System. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <https://www.elprocus.com/basic-elements-offiber-optic-communication-system-and-its-working/> (12.09.2022). Назва з екрану.
9. The advantages of a fibre optic network. Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <https://www.opticalsolutions.com.au/the-advantages-of-fibreoptic-network/> (19.09.2022). Назва з екрану.
10. FIBER OPTIC CABLE ESTABLISHMENT ON ROAD NETWORK [
11. Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу:
12. https://www.unescap.org/sites/default/files/g_Mr%20Murat%20Barut.pdf
13. (19.09.2022). Назва з екрану.
14. The advantages of a fibre optic network. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <https://www.opticalsolutions.com.au/the-advantages-of-fibreoptic-network/> (12.09.2022). Назва з екрану.
15. Concept Paper on Optical Fibre and Cable. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу:
16. <https://www.tec.gov.in/pdf/StudyPaper/Concept%20paper%20on%20OFC.pdf>
17. (12.09.2022). Назва з екрану.
18. Project Completion Report On The Project for Optical Fiber Techniques in Telecommunications Engineering. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12284055_01.pdf (19.09.2022).

19. Назва з екрану.
20. 9.FIBER OPTICAL COMMUNICATIONS [Електронний ресурс]//Стаття.
21. Режим доступу:
22. https://mrcet.com/downloads/digital_notes/ECE/III%20Year/FIBER%20OPTICAL
L
23. %20COMMUNICATIONS.pdf (21.09.2022). Назва з екрану.
24. Efficiency of Optical Fiber Communication for Dissemination of Information within the Power System Network.[Електронний ресурс]//Стаття.
25. Режим доступу:
26. https://www.academia.edu/7061105/Efficiency_of_Optical_Fiber_Communication_for_Dissemination_of_Information_within_the_Power_System_Network
n_for_Dissemination_of_Information_within_the_Power_System_Network
27. (21.09.2022). Назва з екрану.
28. Reasons Why IT Professionals Choose Fiber Optic Cables Instead of
29. Copper [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу:
30. <https://www.cablexpress.com/education/blog/5-reasons-why-it-professionalschoose-fiber-optic-cables-instead-of-copper/> (19.09.2022). Назва з екрану.
31. Study on the Efficiency of Temperature/Strain Measurement for UltraLong-Distance Optical Fiber Composite Overhead Power Transmission
32. Lines.[Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу:
<https://www.mdpi.com/2076-3417/12/21/11043> (21.09.2022). Назва з екрану.
33. Category_Communication methods — ETHW.[Електронний ресурс]//Стаття.
Режим доступу: <https://ethw.org/Category:Communications>
34. (21.09.2022). Назва з екрану.
35. Egypt - Information and Communications Technology; and Digital
36. Economy [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу:
37. <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/egypt-information-andcommunications-technology-and-digital-economy> (21.09.2022). Назва з екрану.
38. Factors affecting the speed and quality of internet connection _ Traficom

39. [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу:
<https://www.traficom.fi/en/communications/broadband-and-telephone/factorsaffecting-speed-and-quality-internet-connection> (21.09.2022). Назва з екрану.
40. FBG interrogators _ Optics11 Industrial Sensing [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: https://safibra.com/product-category/sensorsand-detectors/?gclid=EAIaIQobChMIkeqhuu70wIVmZSyCh0K6wtKEAAYASAAEgIu9vD_BwE (21.09.2022). Назва з екрану.
41. Fiber optic deployment challenges and their management in a developing country_ A tutorial and case study in Ghana - Nyarko-Boateng - 2020 - Engineering Reports - Wiley Online Library [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/eng2.12121> (21.09.2022). Назва з екрану.
42. Fiber optic work for efficient systems _ SCADA International [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: https://fischerconnectors.com/en/solutions/connectors/fiberopticseries/?gclid=EAIaIQobChMIo9SX9O70wIVE9WyCh1b8Q8qEAAAYASAAEgIt6vD_BwE (21.09.2022). Назва з екрану.
43. Fiber-optic communication - Wikipedia [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: https://www.glsun.com/products-c20-transmissionequipment.html?gclid=EAIaIQobChMI3rOqhu_0-wIVwuiAx2yKQdPEAAAYASAAEgKglvD_BwE (21.09.2022). Назва з екрану.
44. FTTP Brochure [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <https://www.btwholesale.com/assets/documents/products-and-services/data/wholesale-ethernet-ftp/learn-more/wholesale-ethernet-ftpbrochure.pdf> (21.09.2022). Назва з екрану.
45. Дунець В. Л. Дослідження режимів передачі мережі LTE 4G / В. Л. Дунець, А. М. Семеген // Збірник тез доповідей VI Міжнародної науковотехнічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 16-17 листопада 2017 року. — Т. : ТНТУ, 2017. — Том 2. — С. 59. — (Комп'ютерно-інформаційні технології та системи зв'язку).

51. Булич І. В. Дослідження методів побудови мереж зв'язку п'ятого покоління / І. В. Булич, В. Л. Дунець // Збірник тез доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів
52. „Актуальні задачі сучасних технологій“, 27-28 листопада 2019 року. — Т. : ТНТУ, 2019. — Том 1. — С. 48. — (Сучасні технології в будівництві, машино- та приладобудуванні).
53. Химич Г. П. Супутникові системи телекомунікацій на основі технологій 4g - 5g / Г. П. Химич, В. Л. Дунець // Матеріали міжнародної наукової конференції „Іван Пулюй: життя в ім'я науки та України“ (до 175ліття від дня народження), 28-30 вересня 2020 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2020. — С. 106–107. — (Важливі аспекти практичного застосування здобутків сучасної науки і новітніх технологій).
54. Процик П. П. Обґрунтування методів захисту мереж WI-FI / П. П. Процик, В. Л. Дунець // Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції „Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп'ютерних технологій“ присвячена 80-ти річчю з дня народження професора Я.І. Проця, 20-21 червня 2019 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2019. — С. 105–107. — (Обчислювальні методи та засоби в радіотехніці і приладобудуванні).
55. Дунець В.Л. Підвищення точності параметрів оглядового радіолокатора трлк-10тс / В. М. Дмиш, В. Л. Дунець, В. В. Лесів, А. С. Марценюк // Збірник тез доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 28-29 листопада 2018 року. — Т. : ТНТУ, 2018. — Том 1. — С. 86–87. — (Сучасні технології в будівництві, машино- та приладобудуванні).

Література.

1. П. М. Однорог, Є. В. Михайленко, М. О. Котенко, О. Б. Омецінська. Оптичні мережі доступу (xPON): навчальний посібник під ред. В. Б. Катка. – Київ, 2006. – 65с.
2. Дэвид Бэйли. Волоконная оптика: теория и практика/ Пер. с англ./

Эдвин Райт.– М. : Кудиц–образ, 2003. – 320 с. – С. 196.

3. Розорінов Г.М., Соловйов Д.О. Високошвидкісні волоконно-оптичні лінії зв'язку, 2014

4. G.984.1 (03/2008) Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics (Пасивні волоконно-оптичні мережі з підтримкою гігабітних швидкостей передачі: Основні характеристики).

5 L.90 (03/2012) Optical access network topologies for broadband services (Топології оптичних мереж доступу для широкосмугових послуг).

1. Закон України «Про Основні засади розвитку інформаційного суспільства в Україні на 2007-2015 роки» від 09 січня 2007 року № 537-V. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/537-16>

2. Стан і розвиток зв'язку в Україні за 2010 рік. Статистичний бюлетень. – К.: Державний комітет статистики України. – 2011. – 34 с.

3. Стан і розвиток зв'язку в Україні за 2011 рік. Статистичний бюлетень. – К.: Державна служба статистики України. – 2012. – 36 с.

4. Статистичний збірник «Регіони України» 2011. Ч. 1. – К.: Державна служба статистики України. – 2011. – 358 с.

5. Транспорт і зв'язок в Україні 2010. Статистичний збірник. – К.: Державна служба статистики України. – 2011. – 295 с.

6. Транспорт і зв'язок в Україні 2011. Статистичний збірник. – К.: Державна служба статистики України. – 2012. – 345 с.

7. Human Development Report 2002. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://hdr.undp.org/en/media/HDR_2002_EN_Complete.pdf

8. Human Development Report 2004. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://hdr.undp.org/en/media/hdr04_complete.pdf

9. Human Development Report 2006. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://hdr.undp.org/en/media/HDR06-complete.pdf>

10. Human Development Report 2008. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://hdr.undp.org/en/media/HDR_20072008_RU_Complete.pdf

11. Human Development Report 2010. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://hdr.undp.org/en/media/HDR_2010_EN_Complete_reprint.pdf
12. Information Economy Report 2005. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://unctad.org/en/docs/sdteedc20051_en.pdf
13. Information Economy Report 2007-2008. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://unctad.org/en/docs/sdteecb20071_en.pdf
14. Information Economy Report 2009. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://unctad.org/en/docs/ier2009_en.pdf
15. Information Economy Report 2011. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://unctad.org/en/PublicationsLibrary/ier2011_en.pdf
16. The Global Information Technology Report 2008-2009. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://members.weforum.org/pdf/gitr/2009/gitr09_fullreport.pdf
17. The Global Information Technology Report 2009-2010. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www3.weforum.org/docs/WEF_GITR_Report_2010.pdf
18. The Global Information Technology Report 2010-2011. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www3.weforum.org/docs/WEF_GITR_Report_2011.pdf