

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

Кафедра радіотехнічних систем

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня


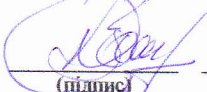
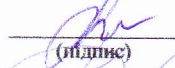

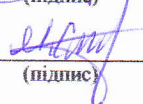
магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: «Дослідження ефективності використання оптоволоконних ліній при організації мобільного зв'язку в міських умовах»

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи РРм-61
спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

	 (підпис)	<u>Томс Б.Є.</u> (прізвище та ініціали)
Керівник	 (підпис)	<u>Дунець В.Л.</u> (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	 (підпис)	<u>Хвостівська Л.В.</u> (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	 (підпис)	<u>Дунець В.Л.</u> (прізвище та ініціали)
Рецензент	 (підпис)	<u>Стрельчівський М.О.</u> (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
Кафедра Радіотехнічних систем
Освітній ступінь Магістр
Напрямок підготовки _____
(шифр і назва)
Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Дунець В.Л.
« » _____ 20 р.

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Томе Богдан Євгенович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) «Дослідження ефективності використання оптоволоконних ліній при організації мобільного зв'язку в міських умовах»

Керівник проекту (роботи) Кандидат технічних наук, Доцент. Дунець В.Л.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

2. Затверджені наказом по університету від «06» грудня 2022 року № 7/7-989

3. Термін подання студентом проекту (роботи) 12 грудня 2022 р.

4. Вихідні дані до проекту (роботи) мережа DWDM - 8 каналів
швидкість передачі даних - ≥ 4 Тбіт/сек
мультиплексор ≥ 10 -хорів
демультиплексор ≥ 10 -хорів

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Розділ 1 Аналітична частина
Аналіз технологічних тенденцій ВОЛЗ
Розділ 2 Основна частина
Принципи проектування ВОЛЗ
Розділ 3 Науково-дослідна частина
Аналіз DWDM на 8 каналів дослідження мережу
Розділ 4 Охорону праці, БЖД. Станція мнур. у вейши Сос

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Слайди: 1. Титулка; 2, 3. Вступ; 4. Еволюція технології
оптоволоконного доступу; 5. Передача сигналу по ВОЛЗ;
6. Структура ВОЛЗ; 7. Схема передачі даних до допоміжного
DWDM; 8. Оптичний підсилювач EDFA; 9-18. Моделювання
ВОЛЗ з використанням DWDM мультиплексування та
EDFA підсилювачів; 19. Висновки.

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Дослідження ефективності використання оптоволоконних ліній при організації мобільного зв'язку в міських умовах» // Дипломна робота // Томс Богдан Євгенович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії, група РРм-61 // Тернопіль, 2022 // с. – 60, рис. - 30 , табл. - 1 , додат. - 1, бібліогр. - 25.

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

В цій роботі описано дослідження ефективності використання оптоволоконних ліній при організації мобільного зв'язку в міських умовах.

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 ВОЛЗ та 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. Здійснено детальний аналіз та дослідження DWDM на 8-м каналів у вигляді рисунків та графіків.

ANNOTATION

The topic of the qualification work: "Investigation of the effectiveness of the use of optical fiber lines in the organization of mobile communication in urban conditions" // Diploma thesis // Toms Bohdan Yevhenovich // Ternopil National Technical University named after Ivan Pulyu, Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering, group RRm-61 // Ternopil, 2022 // p. – 60, fig. - 30, tab. - 1, add. - 1, bibliography - 25.

Keywords: OPTICAL FIBER, MOBILE COMMUNICATION, EFFICIENCY, IMPLEMENTATION, DWDM NETWORK, SPECTRUM.

This work describes the study of the efficiency of using fiber optic lines in the organization of mobile communication in urban conditions.

The new technological trends of fixed access technologies are analyzed. The development of optical fiber technologies is described and researched in detail, the general and physical and technical characteristics of optical fiber are analyzed, the advantages and disadvantages of optical fiber and the structure and components of optical fiber are carried out, as well as the general principles of optical fiber design are shown.

The research part deals with DWDM and WDM network management systems and describes the DWDM devices and networks used in VOLZ. A detailed analysis was carried out.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	.....
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	.....
1.1 Нові технологічні тенденції технологій фіксованого доступу.....	.....
1.2 Висновок до розділу 1.....	.....
РОЗДІЛ 2 ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	.....
2.1 Розвиток оптоволоконних технологій.....	.....
2.2 Загальні та фізико-технічні характеристики оптоволоконна .....	.....
2.3 Переваги і недоліки ВОЛЗ .....	.....
2.4 Будова та складові частини ВОЛЗ .....	.....
2.5 Загальні принципи проектування ВОЛЗ .....	.....
2.6 Висновок до розділу 2.....	.....
РОЗДІЛ 3 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	.....
3.1 Системи управління мережами DWDM, WDM.....	.....
3.2 Пристрої та мережі DWDM, котрі використовуються у ВОЛЗ .....	.....
3.3 Аналіз та дослідження DWDM на 8-м каналів .....	.....
3.4 Висновок до розділу 3.....	.....
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	.....
4.1 Підвищення стійкості роботи підприємств мобільного зв'язку у воєнний час.....	.....
4.2 Примірний розподіл функціональних обов'язків з охорони праці керівників, посадових осіб і фахівців підприємств галузі.....	.....
4.3 Висновок до розділу 4.....	.....
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	.....
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	.....
ДОДАТКИ.....	.....

ВСТУП

Актуальність. Волоконно-оптична лінія зв'язку (ВОЛЗ) — це волоконно-оптична система, що складається з пасивних і активних компонентів і використовується для передачі інформації в оптичній області. З розвитком електроніки постійно спостерігається тенденція до використання електромагнітних хвиль все більш високих частот. Припущення, що електроніка та радіотехнології досягнуть оптичного діапазону довжин хвиль, стає все більш імовірним. Основною тенденцією в бездротових широкосмугових підключеннях і трафіку є постійно зростаючий попит на спектр, що призводить до значного та постійного збільшення кількості пристроїв, підключених до широкосмугового Інтернету, а також збільшення використання бездротової передачі даних, як за допомогою мобільного широкосмугового. Сучасний рівень розвитку волоконно-оптичних систем зв'язку в світі характеризується серйозним технологічним проривом в елементній базі, який дав змогу зробити значний ривок у збільшенні пропускної здатності ВОЛЗ. На порядку денному – практичне впровадження ВОЛЗ з пропускною здатністю 1 Тбіт/с і більше. Найважливішими елементами високошвидкісних оптичних мереж є передавальні та приймальні модулі, модулятори, широкосмугові оптичні підсилювачі, компенсатори дисперсії, демультіплексори та комутатори.

Мета та задачі дослідження є вивчення фізичних основ ВОЛЗ та розрахунок конструктивних і технологічних параметрів ВОЛЗ.

Об'єкт дослідження є побудова 8-канального ВОЛЗ з мультіплексуванням і демультіплексуванням хвиль на оптичній лінії.

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

Методи дослідження. Здійнено дослідження типових методів мультіплексування оптичних сигналів у ВОЛЗ.

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.

Практичне 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.

Публікації. Апробація та оприлюднення результатів досліджень відбулось на XI Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ» 7-8 грудня 2022, збірник тез доповідей.

Структура роботи. У магістерську роботу входять вступ, 4 описані розділи, висновки та список використаної літератури та додатки. Обсяг роботи: аналіз та ознайомлення - аркушів. Формат А4 та додатки

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Нові технологічні тенденції технологій фіксованого доступу

Керуючись поєднанням конкурентних сил і ініціатив державної політики, постійні оператори на багатьох ринках зазнали дедалі більшого тиску в останнє десятиліття, щоб замінити свою мідну мережу доступу технологією волокна до дому (FTTH). Сама технологія ніколи не була основною проблемою вартості. Натомість дороге розгортання технології зробило окупність довгостроковою — і часто невизначеною — перспективою. Наявність існуючого мідного заводу також була величезною стримівкою для нових інвестицій в інфраструктуру.

Таким чином, багато чинних операторів вибрали короткотермінове рішення модернізації мідної мережі на технологію дуже високошвидкісної цифрової абонентської лінії (VDSL) (або навіть такі варіанти, як G-fast), щоб відстрочити значні інвестиції в оптоволоконні рішення. На ринках, де мідна інфраструктура обмежена або практично відсутня, ця дилема не є ключовою проблемою. Однак в інших це головна проблема, з якою політикам доводиться боротися через регулювання, стимули або більш активні форми втручання в бізнес-моделі розгортання (див. Табл.1.1).

Таблиця 1.1

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)

Аргумент розвитку мереж xDSL є повчальним для загального випадку, коли мережі фіксованого широкосмугового 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 від вартості модернізації та зміни цін у технологічній екосистемі Еволюція мережевих технологій залежить від багатьох міркувань: конкурентне середовище, специфічні поступки для технології, швидкість еволюції ринку, наслідки для грошових потоків та інвестиційна спроможність операторів та стан існуючих мереж.

Перехід на волокнистий розчин пов'язаний з:

- Технологія зріла, тому витрати стабільні:

Гігабітна пасивна оптична мережа (GPON) робить деякі оновлення непривабливими. За цих обставин оператор має вибір: зберегти існуючу мережу або перейти на оптоволокно. У таблиці 2.3 нижче описано ймовірні переходи для різних технологій фіксованого доступу: зменшено до стабільного рівня, тому є більша впевненість щодо вартості порту кінцевої оптичної лінії (OLT) і терміналу оптичної мережі (ONT) на користувача.

- Відстань «останньої милі» та якість мережі: усі мережі мають відмінності в якості кінцевого інфраструктурного з'єднання з клієнтами з точки зору якості, відстані чи щільності. Хоча мідні мережі критично залежать від коротких відстаней, оптоволоконні мережі набагато стійкіші до змін довжини кабелю.

- Здатність зменшити капітальні витрати: будь-яка заміна коаксіального кабелю/DOCSIS або мідної мережі/мережі xDSL на оптоволокно до дому вимагатиме значного встановлення нових ліній із відповідними високими початковими капітальними витратами. Це можна пом'якшити шляхом повторного використання існуючих каналів і оптоволоконної мережі. Ця вартість може бути амортизована протягом тривалого періоду, оскільки на горизонті немає конкуруючих технологій фіксованої мережі.

- Більше захоплення/високий ARPU/висока щільність:

Оскільки транзитний транспорт/проміжна миля є спільними витратами, середовища з високою щільністю є економічно привабливішими для оновлення. У багатьох країнах щільність також корелює з вищим ARPU і вищим рівнем охоплення — усе це позитивно впливає на необхідність оновлення.

- Збільшення споживання контенту та інших послуг з доданою вартістю: навіть незважаючи на те, що вплив різниться з боку доходу, існує чітка тенденція збільшення споживання контенту та послуг з доданою вартістю. Хоча багато операторів телекомунікацій отримують вигоду від цієї тенденції, можуть бути випадки, коли оператори не є основними бенефіціарами, наприклад, надання послуг over-the-top.

Окрім цих виборів серед технологій доступу, на широкопasmові мережі й надалі впливатиме низка значущих загальних тенденцій:

- Збільшення використання базової мережі: оскільки більшість Інтернет-послуг надається на основі необмеженого використання, а користувачі підключаються та все частіше використовують все більше й більше пристроїв, загальне використання — і, отже, витрати на базову мережу — зростає. У той же час дохід залишається відносно постійним, що має бути компенсовано більшою кількістю абонентів, вищим ARPU і нижчими витратами. Це не завжди досяжно.

- Високі ціни на транзит IP: широкопasmові мережі критично залежать від міжнародних IP-з'єднань.

Країни можуть мати дуже високі ціни на підключення до Інтернету (IPT), що представляє значні витрати в загальному рівнянні, особливо в умовах зростаючого використання. Зазвичай це стосується країн, які не мають виходу до моря, або тих, де попит не виправдовує розміщення конкурентоспроможних підводних кабелів.

- Більший відтік і конкуренція: запровадження нових технологій часто спричиняється конкуренцією. Більший відтік і жорстке конкурентне

середовище можуть негативно вплинути на бізнес-кейси провідних і претендентів.

- Нижче охоплення/низький ARPU/низька щільність: країни з нижчою доступністю зазвичай мають нижчий охоплення та платять менше в середньому. На жаль, багато країн у цій категорії мають багато віддалених, райони з низькою щільністю, що ускладнює роботу фіксованих широкосмугових мереж. Спільні мережі, бездротовий доступ і регулятивна підтримка можуть допомогти, що є основною темою.

1.2. Висновок до розділу 1

У розділі проаналізовано та досліджено різні технології фіксованого доступу. Описано основні переваги та недоліки тієї чи іншої технології.

Головною тенденцією в бездротових широкосмугових з'єднаннях і трафіку є постійно зростаючий попит на спектр, що сприяє значному та постійному зростанню кількості підключених до широкосмугового зв'язку пристроїв, а також зростаючим показникам використання бездротових даних як через мобільний широкосмуговий зв'язок (International Mobile Телекомунікації (ІМТ), широко відомі як 3G, 4G і 5G) та інші бездротові технології.

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Розвиток оптоволоконних технологій

Першу волоконно-оптичну лінію зв'язку для "Deutsche Telekom AG" побудувало АТ "Сіменс" у 1977 році. З наступного року весь світ почав використовувати нову технологію багатомодового волокна. Сьогодні щороку встановлюється понад 7 мільйонів кілометрів одномодового волокна.

Оптоволоконне підключення забезпечує мінімальний рівень шуму та високу безпеку. Пластикові волокна використовуються для з'єднань довжиною до 100 метрів і на обмежених швидкостях (<50 МГц). Нещодавно (2006-2007) були розроблені пластикові оптичні волокна, придатні для передачі на швидкості 40 Гбіт/с при довжині кабелю 30 м і на швидкості 5,35 Гбіт/с при довжині кабелю 220 м (Lightware N4 2007). Помилка передачі по оптичному волокну незначна, що в багатьох випадках означає, що немає необхідності перевіряти цілісність повідомлень. При побудові мереж використовуються багатожильні кабелі (рис. 1.1), але існують і інші типи кабелів: наприклад Б. дво- чи чотирижильні та плоскі. У верхній частині малюнка [А] показано одне оптичне волокно, а в нижній частині [В] показано поперечний переріз восьмижильного оптичного кабелю. Світло (довжина хвилі 1350 або 1500 нм) вводиться в волокно за допомогою світлодіода або напівпровідникового лазера. Центральне волокно покрите шаром (оболонкою, 1А), показник заломлення якого нижчий, ніж у центральній серцевині (стрілки умовно вказують шлях світлового променя у волокну). Для забезпечення механічної міцності волокно зовні покрите шаром полімеру (2А). Кабель може містити декілька волокон, наприклад 8 (1В). При прокладанні кабелю використовується сталевий трос (3В), зображений посередині. Зовнішня оболонка, захищена сталевією опліткою (2В), забезпечує міцність і стійкість кабелю до зовнішніх факторів.

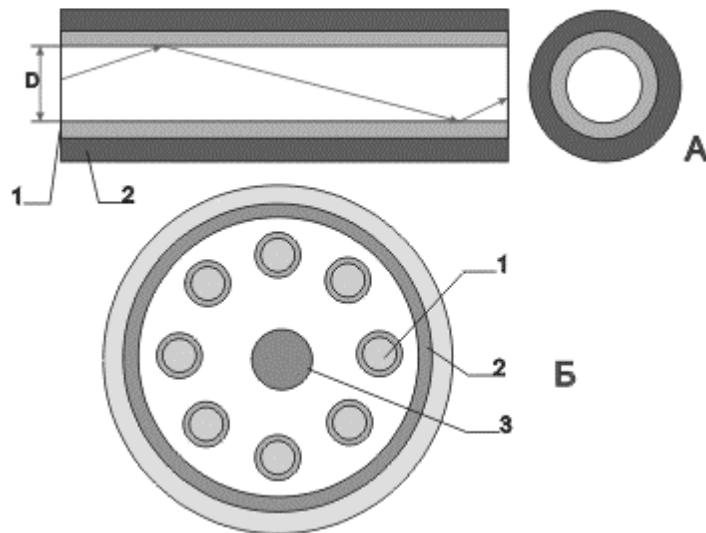


Рис.2.1. Вигляд в перетині оптичного кабеля [1]

2.2 Загальні та фізико-технічні характеристики оптоволоконна

Передача світла по оптичним волокнам заснована на використанні ефекту повного внутрішнього відбивання, який проявляється в тому, що показник заломлення серцевини вище показника заломлення оболонки [2, 3]. Основна частина оптичного волокна складається з серцевини та оболонки. Основним матеріалом є плавлений кремнезем високої чистоти, потім він покривається одним або двома шарами захисного пластикового покриття, зручним матеріалом для цього є акрилат, тому що міцність волокна залежить від покриття.

Опинившись на шляху волокна, джерело світла перетворює вхідні електричні сигнали в модульоване світло, яке поширюється вздовж волокна. На іншому кінці оптичні сигнали перетворюються фотодетектором в електричні сигнали. На довгих лініях іноді використовуються ретранслятори, що складаються з приймача, підсилювача і передавача.

Оптоволоконно являє собою циліндр із легованого кварцового скла [4, 5]. Для передачі сигналу найчастіше використовуються два типи волокон: одномодові та багатомодові. Назва оптичного волокна залежить від того, як в ньому поширюється випромінювання. У багатомодовому волокні розмір серцевини волокна становить близько 50-60 мкм, що призводить до

одночасного поширення великої кількості мод - променів, введених у волокно під різними кутами (рис. 2.2).

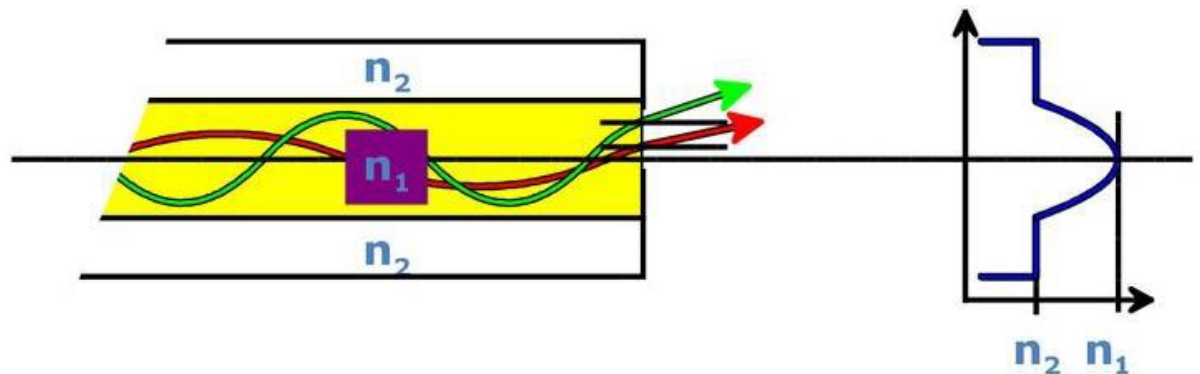


Рис.2.2. Багатомодове оптичне волокно.

Багатомодове волокно має відносно великий діаметр серцевини (стандартні значення 50 і 62,5 мкм) і велику числову апертуру, що в цілому полегшує монтаж і експлуатацію. Основним недоліком цього волокна є міжмодова дисперсія [6, 7], з метою зменшення її впливу було розроблено багатомодове волокно з градієнтним профілем показника заломлення. Проте повністю усунути міжмодову дисперсію поки що не вдається, що пояснюється як недосконалістю профілю показника заломлення, так і наявністю т.зв. спіральні моди, що виникають внаслідок осьової симетрії волокна, усунути які в принципі неможливо.

Градуйоване волокно характеризується профілем показника заломлення. Це означає, що цей тип оптоволоконного кабелю характеризується меншою дисперсією робочого часу, що в свою чергу призводить до менших спотворень форми сигналу.

Використання цього профілю показника заломлення зменшує дисперсію до 1 нс/км або навіть менше. Відомо, що світловим імпульсам надається певна форма (арккосинус) без урахування ефектів дисперсії. Зокрема, ми можемо без спотворень передавати імпульси на тисячі кілометрів, так звані солітони. У 1990 році Лінн Моллінар з Bellcore продемонстрував можливість передачі даних без регенерації на швидкості 2,5 Гбіт/с на відстань 7500 км. У системі

Mollinar лазер працював в солітонному режимі і використовувався волокно з додаванням ербію, що забезпечувало посилення сигналу.

На даний момент необхідно використовувати повторювачі кожні 30 км (порівняно з 5 км для мідних кабелів). У порівнянні з мідними проводами, волоконно-оптичні кабелі на порядок легше. Наприклад, 1000 кручених пар по 1 км важать 8 тонн, а два волокна однакової довжини і більшої ємності важать 100 кг. Ця обставина відкриває можливість прокладання оптичних кабелів уздовж високовольтних ліній зв'язку для підвішування або обмотування проводів. Чим більше мод, тим більше дисперсійне спотворення форми сигналу. Одномодове скловолокно дозволяє отримати смугу в діапазоні 50-100 ГГц/км. Типова модальна дисперсія знаходиться в діапазоні від 15 до 30 нс/км. Ефективність різних модів різна. У деяких режимах світло взагалі не пропускається, і енергія може перетікати з одного режиму в інший. Це пов'язано з викривленням волокон і зміною показника заломлення. Залежно від руху світла він буде переходити з однієї моди на іншу, доки не буде досягнуто рівноваги розподілу мод [8, 9].

Цей тип волокна приймає менше вхідного світла, зберігаючи мінімальні спотворення сигналу та втрати амплітуди. Центральна частина одномодового волокна має діаметр 3-10 нм, а діаметр оболонки 30-125 нм. Число мод, яке допускає волокно, певною мірою визначає його інформаційну ємність. Модальна дисперсія призводить до розмитості та накладання імпульсів. На дисперсію режиму поляризації впливають порушення кругової симетрії, механічні навантаження, стиснення, вигин і скручування волокна. Це особливо важливо при переході на швидкість передачі 10 Гбіт/с або вище.

На відміну від багатомодового кабелю, цей тип дозволяє передавати сигнали на значно більшу відстань, а витрати та втрати сигналу незначні. В одномодових кабелях використовуються лазерні приймачі, які використовують лише світло відповідної довжини хвилі, але є дорогими та нестабільними. Однак у майбутньому одномодовий кабель, швидше за все, стане основним кабелем завдяки своїм чудовим властивостям. Одним із

факторів, який істотно впливає на якість передачі сигналу, є дисперсія. Загалом, дисперсія — це «розмазування» або розтягування світлового імпульсу, що виникає під час його передачі в оптичному волокні.

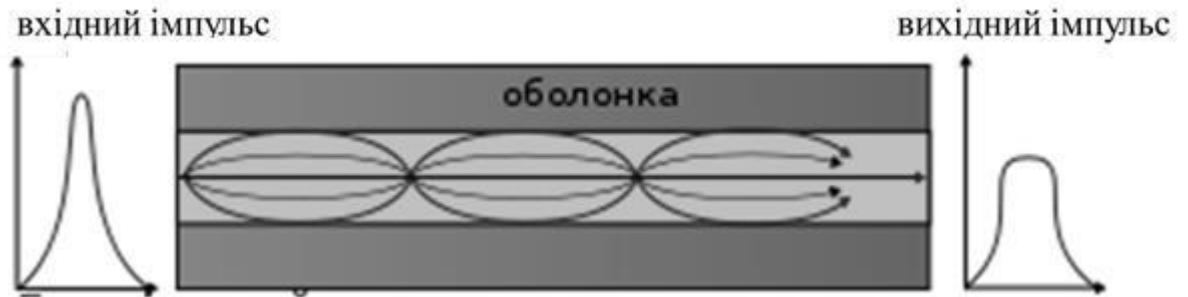


Рис.2.3. Схематична будова і принцип роботи градієнтного оптичного волокна [3]

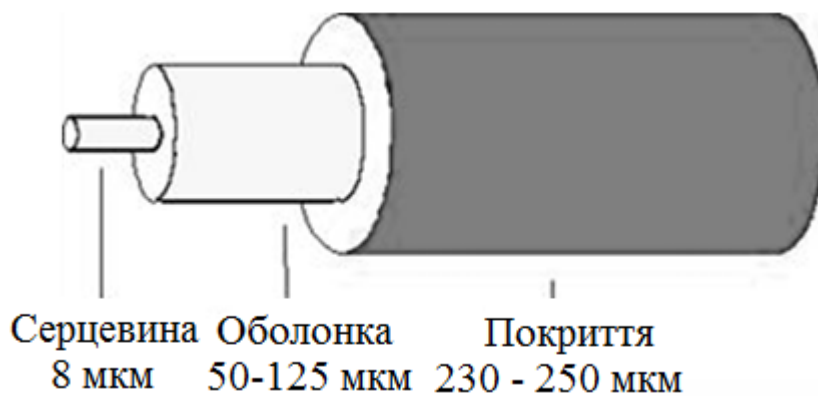


Рис 2.4. Одномодове оптичне волокно [1]

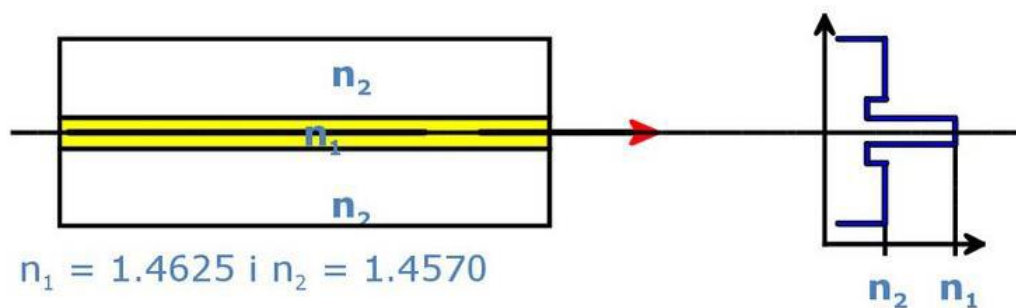


Рис.2.5. Хід променя в одномодовому оптичному волокні: n_0 і n_1 – коефі-цієнт заломлення сердцевини і оболонки [10]

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 ВОЛЗ

Низькі втрати при передачі. Волоконно-оптичні кабелі з низькими втратами дозволяють передавати сигнали зображення на великі відстані без використання підсилювачів або повторювачів маршрутизації. Це особливо корисно для систем передачі на великі відстані - наприклад, систем моніторингу автомагістралей або залізниць, де неповторні ділянки довжиною 20 км не є рідкістю.

Широкопasmовога передача сигналу. Висока пропускна здатність оптоволоконного кабелю забезпечує одночасну передачу високоякісного відео, аудіо та цифрових даних по одному оптоволоконному кабелю.

Стійкість до перешкод і пропозицій. Повна несприйнятливість оптоволоконного кабелю до зовнішніх електричних перешкод і проводів забезпечує стабільну роботу систем, навіть якщо монтажники не приділили належної уваги розташуванню поблизу електромереж.

електроізоляція. Через недостатню електричну провідність волоконно-оптичного кабелю виникають проблеми, пов'язані зі змінами потенціалу землі, такі як типові для електростанцій або залізниць. Саме їх властивість виключає ризик пошкодження обладнання від стрибків напруги від грозових розрядів тощо.

Вічна лінія зв'язку. Просто замінивши кінцеве обладнання замість самих кабелів, волоконно-оптичні мережі можна оновити для передачі більше

інформації. З іншого боку, частина або навіть уся мережа може бути використана для зовсім інших завдань, наприклад, щоб з'єднати локальну комп'ютерну мережу і систему відеоспостереження одним кабелем.

Вибухо- та протипожежний захист. Завдяки відсутності іскор, оптичні волокна підвищують безпеку мережі на хімічних і нафтопереробних заводах під час виконання технологічних процесів з високим ризиком.

Економічність і тривалий термін служби. Волокно виготовляється з кварцу на основі діоксиду кремнію, який, на відміну від міді, є широко використовуваним і тому недорогим матеріалом. Волокно з часом руйнується. Це означає, що загасання в прокладеному кабелі поступово зростає, але завдяки досконалості сучасних технологій виробництва Ù термін служби становить близько 25 років.

До недоліків ВОЛЗ можна віднести високу складність монтажу і спеціальних інструментів для нього. Волоконно-оптичні кабелі менш міцні та гнучкі, ніж електричні кабелі. Типове значення допустимого радіуса вигину становить приблизно 10-20 см, при менших радіусах вигину центральне волокно може зламатися. Волоконно-оптичні кабелі чутливі до іонізуючого випромінювання, яке знижує прозорість волоконно-оптичних кабелів і збільшує ослаблення сигналу.

2.4. Будова та складові частини ВОЛЗ

У загальному вигляді ВОЛЗ включає вхідний кодер (КП), передавач, оптичний кабель, повторювач (П), приймач і дешифратор (ДКП). Інформація надходить на передавач, що складається з джерела випромінювання (ДВ) і модулятора (М). Твердотільні та напівпровідникові лазери та світлодіоди використовуються як ДВ в системах оптичного зв'язку. Модулятор контролює інтенсивність випромінювання, що йде від ДВ. При великій довжині ВОЛЗ спостерігається сильне ослаблення світлового променя, тому для відновлення його інтенсивності використовується повторювач. У приймачі оптичне

випромінювання перетворюється назад в електричний сигнал і посилюється П-підсилювачем. Декодує пристрій дозволяє декодувати передану інформацію.

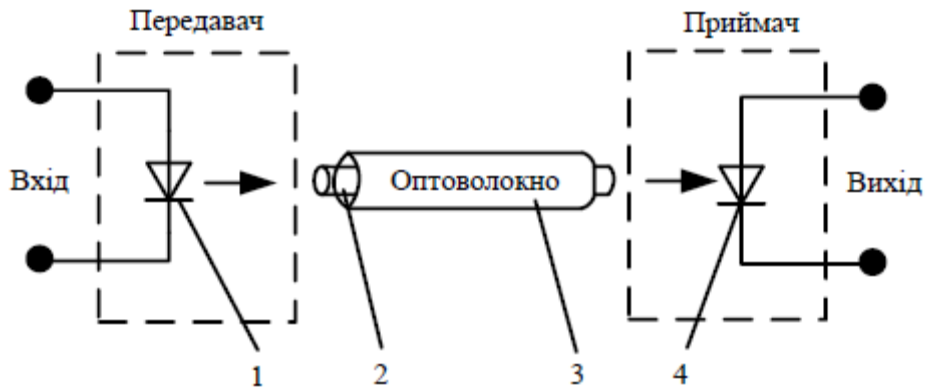


Рис. 2.6. Структурна схема волоконно-оптичної лінії зв'язку: 1 – світлодіод; 2 – сердцевина; 3 – оболонка; 4 – фотодіод[3]

Справжня схема ВОЛЗ іноді не містить усіх іменованих елементів. Якщо довжина кабелю мала, повторювач не потрібен. При використанні в якості ДВ напівпровідникових лазерів і світлодіодів інтенсивність випромінювання регулюється в самих пристроях, тому додатковий зовнішній модулятор не потрібен [3].

Основу світловодів складають світловоди, які передають оптичну енергію за рахунок ефекту повного внутрішнього відбиття. Це явище спостерігається при падінні променя світла на межу двох середовищ з показниками заломлення n_1 і n_2 , коли випромінювання поширюється в оптично більш щільному матеріалі.

При поширенні оптичного сигналу ВОЛЗ відбувається тимчасове «розмазування». Це пояснюється тим, що, по-перше, світлові промені поширюються по-різному, по-друге, всі джерела мають кінцеву ширину спектра випромінювання, по-третє, в матеріалі волокна спостерігається розсіювання світла. Очевидно, що повний розкид імпульсів у волоконно-оптичній передачі визначається трьома згаданими факторами та пропорційний довжині волоконно-оптичного кабелю. Залежно від місця призначення і

відстані між відправником і одержувачем ВОЛЗ поділяють на довгі або магістральні лінії; середні або всередині міста та короткі або в межах локації.

Міські лінії розраховані на міжміський зв'язок (відстань понад 50 км). Вони мають високі вимоги до пропускну здатності (принаймні 108 біт/с) і низьке загасання ($V = 1,5$ дБ/км). Цим вимогам відповідають лише самоблокуючі кварцові волокна. Як джерела випромінювання використовуються твердотільні лазери, а як приймачі — лавинні фотодіоди. Ретранслятори ставлять через 10-20 км для відновлення потужності сигналу.

Міжміські лінії забезпечують зв'язок між високопродуктивними центральними комп'ютерами з дистанційним збором даних і основним обладнанням для обробки даних і терміналами, передачу інформації між різними центрами обробки даних, телефонний зв'язок між абонентами, а також кабельне телебачення і системи мовлення. Ці ВОЛЗ характеризуються середньою довжиною (1-10 км), меншою швидкістю передачі інформації (до 107 біт/с), більш високим допустимим загасанням (до 20 дБ/км). Двошарові кварцові волокна використовуються як оптичні лінії, напівпровідникові лазери як джерела випромінювання та р-і-п фотодіоди як фотоприймачі [3, 8].

Внутрішні ВОЛЗ використовуються для організації зв'язку між окремими процесорами обчислювальних комплексів, зовнішніми пристроями та ЕОМ, окремими блоками електронної апаратури тощо. Подібні лінії необхідні для монтажу контрольно-вимірювальної апаратури, систем відеоспостереження, місцевого телефонного та радіозв'язку, пристроїв автоматичного контролю різних об'єктів і технологічних процесів.

Невелика довжина (до кількох сотень метрів) дозволяє використовувати прості скловолокна з більш високим загасанням (50-100 дБ/км), GaAlAs - оптичні волокна, PIN - фотодіоди та інші оптоелектронні напівпровідникові компоненти.

Останні досягнення в області технології оптичних матеріалів і оптоелектронних компонентів дозволяють широко використовувати ВОЛЗ в системах управління, обробки і передачі інформації.

2.5. Загальні принципи проектування ВОЛЗ

Оптоволоконні системи великої відстані призначені для передачі інформації на великі відстані і розраховані на велику кількість каналів. Вони повинні мати низьке загасання і розсіювання, а також високу пропускну здатність інформації. Оптичні системи громадського транспорту служать сполучною ланкою між адміністрацією міста та транспортними вузлами.

Системи об'єктів використовуються для передачі інформації всередині об'єкта. До них належать: внутрішньозаводський зв'язок, відеотелефонний зв'язок, мережа внутрішнього кабельного телебачення, бортові інформаційні системи рухомих об'єктів.

Підводні системи передачі призначені для зв'язку через великі водні перешкоди.

Кабелі оптоволоконні монтажні призначені для внутрішнього та міжквартирного монтажу обладнання. Налагодження ВОЛЗ відбувається в наступні етапи [13]: Розробка технічного завдання; розробка проектної документації; Прокладка та монтаж кабелів, монтаж обладнання для ВОЛЗ; Введення в експлуатацію ліній [3, 13]. Розробка технічного завдання відбувається після оформлення замовлення на будівництво ВОЛЗ. При створенні технічного завдання визначаються основні правила будівництва ЛЕП, вибирається система електропередачі, вибирається траса, вибирається тип кабелю та визначається загальна вартість будівництва.

При будівництві ВОЛЗ виділяють наступні ділянки прокладки ВОЛЗ:

- Прокладіть кабелі в підлозі. (кабелеукладачами, екскаваторами, екскаваторами або вручну);
- прокладання кабелів по дну водойм і через водні перешкоди (з використанням морських або річкових кабелеукладачів);
- Прокладка кабелю разом з підвіскою на опорах ліній електропередачі (ЛЕП), на опорах електрифікованих залізниць, на опорах повітряних ліній;

– Прокладання кабелів у кабельних каналах, підземних тунелях, колекторах; Прокладка кабелю в будівлях з кінцевими пристроями.

Волоконно-оптичні кабелі викопують у землю без траншей за допомогою кабелеукладача або в заздалегідь підготовлену траншею ручним або машинним способом (екскаватором, екскаватором). Глибина прокладання підземних волоконно-оптичних кабелів (броньованих і неброньованих) у ґрунтах 1-4 груп повинна становити 1,2 м - для оптичних кабелів магістральної мережі, оптичних кабелів у межах зон, оптичних кабелів, що прокладаються поза населеними пунктами, та оптичних кабелів, які на З'єднувальні кабельні лінії прокладені. Приклад конструкції оптоволоконного кабелю зв'язку для поховання, в тому числі з використанням поховання в пластиковому трубопроводі, наведено на рис. 2.3. Для прокладання кабелів на морському дні використовуються спеціальні кабелі з дуже міцною конструкцією. Монтаж здійснюється морськими кабелеукладачами (спеціальним судном).

Залежно від цільового призначення кабельних трас і місцевих умов проходки кабелів через водні перешкоди можуть здійснюватися: під водою (із зануренням у ґрунт і без нього); на мостах; на штучних спорудах (опорах тощо).

При прокладанні оптичного кабелю в кабельному каналі слід перевіряти натяг, який не повинен перевищувати рекомендованого значення для кабелю [10-12]. При прокладанні волоконно-оптичного кабелю в кабель-каналі використовуються напрямні пристрої (ролики, відводи і т.д.), які захищають волоконно-оптичний кабель від пошкоджень при введенні в кабель-канал.

Вішати ОК доцільно, коли з якихось причин неможливо прокласти кабелі в землі або в кабельних каналах: при вічній мерзлоті, кам'янистому ґрунті, при прокладці через річки, глибокі болота тощо.

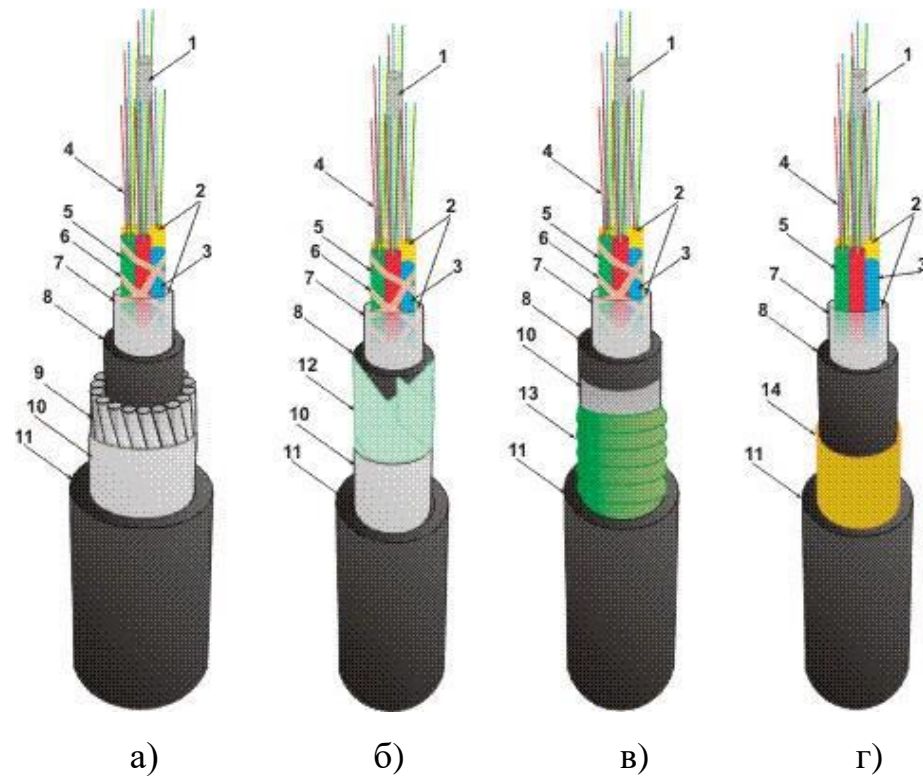


Рис. 2.7. Конструкції волоконно-оптичних кабелів зв'язку для підземної прокладки [8]: а – кабелі з бронею з круглих (плоских) сталевих дротів; б – канат в броні з двох сталевих смуг; в – гофрований кабель; г – повністю діелектричний кабель:

1 - центральний силовий елемент; 2 - водовідштовхувальний наповнювач; 3 - присадковий шнур (для щільного укладання елементів в сердечник ОК); 4 - оптоволоконно (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)

Крім того, підвісні ОК мають експлуатаційні переваги: відносно швидке будівництво ВОЛЗ; відсутність труднощів приведення місця пошкодження в порядок; низька ймовірність виходу з ладу кабелю (менше одного виходу з

ладу на рік на 1000 км, що означає набагато більшу надійність, ніж підземні лінії електропередач).

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).

Немає прямого зв'язку між ізоляцією кабелю та глибиною кабелю, оскільки посилення захищає оптику не від високого тиску на глибині, а від впливу морських мешканців, сіток, тралів і якорів рибальських суден. Така перевага ВОЛЗ, як неприпустимість індуктивних перешкод при побудові інформаційних систем в енергетичних комплексах, часто вважається важливішою за вартість. Висока надійність ВОЛЗ в безпосередній близькості до електрообладнання великої потужності та високовольтних ліній зумовлює високий попит не тільки з боку електротехнічних підприємств, а й з боку інших відомств [2, 20]. 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 [5, 22]. 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.

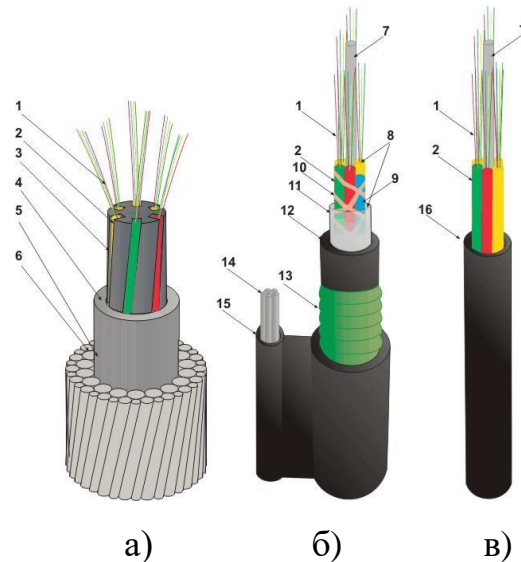


Рис. 2.8. Конструкції кабелю: а - вбудованого в грозозахисний трос; б - самонесівного кабелю; в - навивного кабелю [8]:

1 - оптоволоконно (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 негіроскопічним сталевим тросом; 16 - зовнішня поліетиленова оболонка.

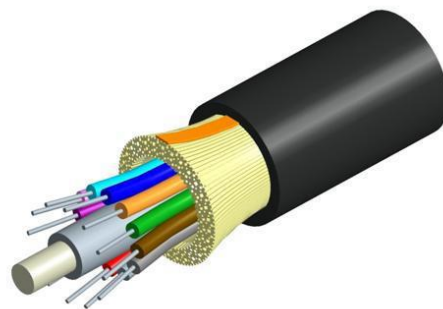


Рис. 2.9. Зовнішній вигляд оптоволоконного кабелю для прокладання під водою

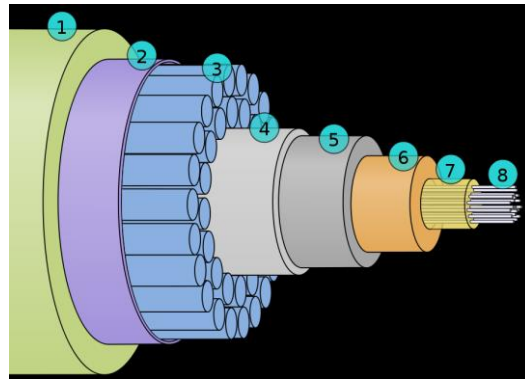


Рис 2.10. Конструкція підводного кабелю:

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

2.5. Висновок до розділу 2

Розглянуто питання, пов'язані з фізичними принципами роботи ВОЛЗ, параметрами ВОЛЗ, основами розрахунку параметрів ВОЛЗ.

Встановлено, що оптичні волокна як джерела світла мають низку переваг: вони не проводять електричний струм, ультрафіолетове та інфрачервоне проміння; мають здатність проводити великі світлові потоки при мінімальному діаметрі кабелю; легке керування зміною кольору та світловими ефектами; рівномірне освітлення; низьке енергоспоживання; тривалий термін служби кабелю (більше 10 років).

Показано, що волоконно-оптичні кабелі повинні забезпечувати стабільність властивостей при експлуатації та зберіганні, захист від механічних, кліматичних та інших зовнішніх факторів, зручність експлуатації, монтажу та ремонту.

РОЗДІЛ 3

НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1. Системи управління мережами DWDM, WDM

Активне використання каналних технологій спектрального (частотного) мультиплексування - Wavelength Division Multiplexing і Wavelength Division Multiplexing (DWDM) - в сучасних системах зв'язку почалося в 1996 році. Тоді бар'єр терабітної передачі даних по одному волокну було подолано, коли AT&T, Fujitsu і Компанія NTT успішно досягла рекордної пропускної здатності завдяки мультиплексуванню 55 каналів DWDM по одному волокну зі швидкістю 20 Гбіт/с на канал для сумарної швидкості 1,1 Тбіт/с. А All-Optical Networking Consortium повідомив про можливість збільшення пропускної здатності до 4 Тбіт/с шляхом об'єднання 40 каналів по 100 Гбіт/с кожен.

Далі були створені комутатори оптичних спектральних каналів (Optical Crossconnect - ОХС), які забезпечують однорангову комутацію ряду оптичних каналів, а також основні елементи мережі, що дозволяють перетворювати оптичні сигнали з неелектронних на їх адресація та перетворення назад на оптичну.

Спочатку спектральне стиснення в основному використовувалося на довгих лініях зв'язку, де основною метою було збільшення пропускної здатності без прокладки додаткових оптичних волокон. Процес додавання каналів за відомою технологією WDM не вимагає заміни наявного оптичного волокна і є природним кроком в еволюції мережі оператора. У зв'язку з тим, що попит абонентів на пропускну здатність каналів зв'язку постійно зростає, а тип інформації, що передається, в останні роки інтенсивно змінюється за рахунок активного впровадження нових послуг, технологія WDM почала широко використовуватися тривалим часом. -оператори дистанційного зв'язку. Сьогодні відомо, що технологія WDM є найшвидшим і

найекономічнішим способом збільшення пропускну́ї спроможності оптоволоконних каналів і мереж зв'язку.

Перші системи WDM мали два канали у вікнах прозорості 1330 і 1550 нм. Потім з'явилися 4-канальні системи з інтервалом каналів 8-10 нм у вікні 1550 нм. Пізніше «гонка за лідерство» між розробниками і виробниками компонентів WDM призвела до розвитку технології DWDM (Dense WDM) і зовнішній вигляд систем з 8, 16, 32, 64 каналами. В даний час прийнято, що стандартна відстань між каналами становить 0,8 нм.

Як працює мультиплексування за довжиною хвилі? Подібно до того, як світло, видиме людським оком, складається з різних кольорів, які можна розбити та знову зібрати, світловий промінь, що передається технологією WDM, складається з різних довжин хвиль (λ).



Рис. 3.1. Передача інформаційних потоків за технологією WDM

Це означає, що одне волокно може передавати більше ста стандартних каналів. Наприклад, таке обладнання, яке використовується при побудові мережі DWDM компанії, дозволяє використовувати до 160 довжин хвиль у максимальній комплектації.

Концепція DWDM досить проста. Для організації декількох оптичних каналів в одному волокні сигнали SDH «фарбуються», тобто для кожного такого сигналу змінюється довжина оптичної хвилі. «Кольорові» сигнали змішуються мультиплексором і надсилаються по оптичній лінії. У кінцевій точці відбувається зворотний процес – «зафарбовані» сигнали SDH відокремлюються від групового сигналу та відправляються споживачеві.

Оптическое волокно

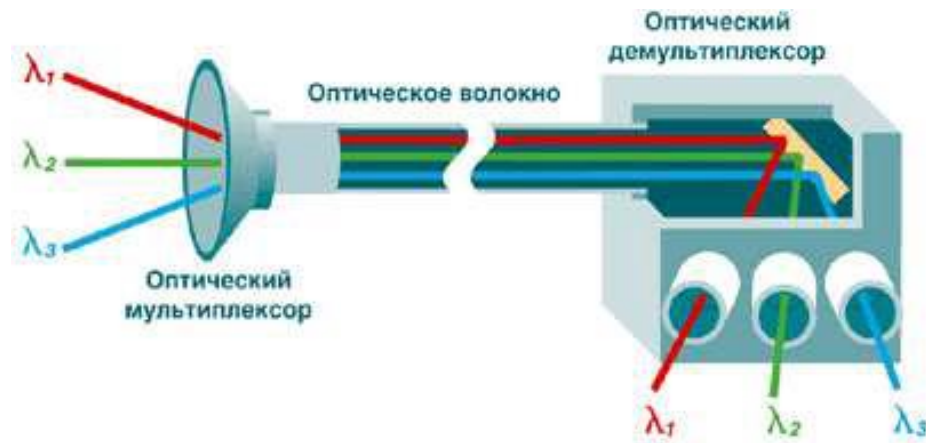


Рис.3.2. Фрагмент схеми передачі даних за допомогою DWDM

Для передачі декількох хвильових струмів по одному волокну технологія DWDM оснащена спеціальними прецизійними пристроями. Таким чином, похибка довжини хвилі, яку створює стандартний лазер, що використовується в телекомунікаціях, приблизно в 100 разів менша, ніж необхідна в системі DWDM.

Кожен лазерний передавач у системі DWDM випромінює сигнал на одній із заданих частот. Усі ці сигнали (канали) мають бути мультиплексовані (зшиті) у композитний сигнал.

Пристрій, який виконує цю функцію, називається оптичним мультиплексором MUX (або OM). Аналоговий пристрій на іншому кінці лінії зв'язку розділяє композитний сигнал на окремі канали та називається оптичним демультиплексором DEMUX (або OD). На відміну від систем TDM, де подібні операції стиснення каналу відбуваються у часовій області, де основна увага приділяється часовій точності приймача та передавача, у системах WDM спектральні компоненти окремих сигналів мультиплексуються та демультиплексуються, характеристики які завжди відомі наперед.

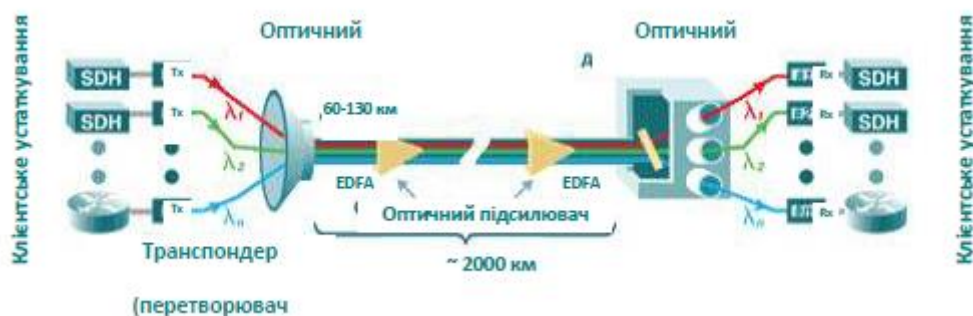
Оптичне мультиплексування та демультиплексування засноване на вузькосмугових фільтрах, які комбінуються або складаються послідовно. Зокрема, для фільтрації використовуються тонкоплівкові фільтри, волоконно-

оптичні фільтри або тривимірні бреггівські решітки, зварні біконічні волоконні розгалужувачі, рідкокристалічні фільтри, інтегральні оптичні пристрої (матриці хвилеводних решіток з фазованими решітками або вектори).

На даний момент пристрої оптичного мультиплексування та демультимплексування з міжканальним розносом частот 100 ГГц (~0,8 нм) стали найбільш широко використовуваними та найбільш широко використовуваними в існуючих системах WDM. Зовсім недавно стали доступними пристрої мультиплексування, які забезпечують високу щільність каналів у діапазоні частот 50 ГГц і нижче. З подальшим збільшенням щільності розміщення каналів в системах DWDM і підвищенням жорсткості вимог до оптичних пристроїв MUX / DEMUX, використовуваний спектр, швидше за все, почне змінюватися.

У міру просування по оптичному волокну сигнал поступово зменшується. Для підсилення використовують оптичні підсилювачі.

Це дозволяє передавати дані на відстань до 4000 км без перетворення оптичного сигналу в електричний (для порівняння: у SDH ця відстань становить не більше 200 км).



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

Рис. 3.3. Схема передачі даних за допомогою DWDM

Переваги DWDM очевидні. За допомогою цієї технології можна збільшити пропускну здатність волоконно-оптичних каналів у сотні разів на великій території та економічно. Пропускну здатність оптичних ліній на

основі систем DWDM можна збільшити шляхом поступового додавання нових оптичних шляхів до існуючого обладнання в міру розвитку мережі.

Хоча теоретичні основи технології DWDM дуже прості, технічна реалізація ідеї зустрічає значні труднощі. Розробка широкосмугових оптичних підсилювачів на основі волоконних підсилювачів з легуванням ербієм (EDFA) і достатньо точних демультиплексорів сигналу дозволила вийти на комерційний рівень.

В даний час існує кілька методів демультиплексування, тобто. X. для вибору каналу. Як приклад розглянемо (схематичні) оптичні бреггівські решітки. Волоконна решітка Брегга — це оптичний інтерферометр, вбудований у волокно. Волокно, леговане деякими речовинами (зазвичай германієм), може змінювати свій показник заломлення під впливом ультрафіолету. При опроміненні такого волокна ультрафіолетовим випромінюванням, що має певну періодичну просторову структуру, воно перетворюється на дифракційну решітку.

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

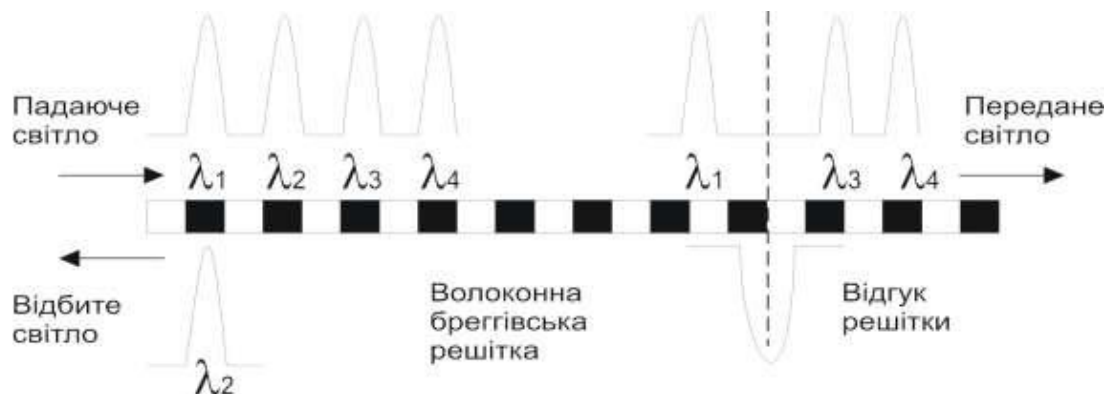


Рис. 3.4. Волоконна бреггівська решітка виділяє із складеного сигналу канал певної довжини хвилі

Якщо структура не є повністю періодичною і період модуляції її показника заломлення змінюється монотонно (є чирп), 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 чирп-сигналу лазерного джерела.

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

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

У мультиплексорах каналів вводу/виводу оптоволоконна мережа Брега може використовуватися разом з двома циркуляційними насосами, які іноді використовуються окремо в пасивних елементах систем DWDM.

З боку вхідного затвора каналу циркулятор відділяє відбиту хвилю і направляє її на вихідний затвор (рис. 3.5, ліворуч). З боку вхідного порту циркулятор додає композитний сигнал, переданий каналом на тій же вибраній довжині хвилі (рис. 3.5, праворуч).

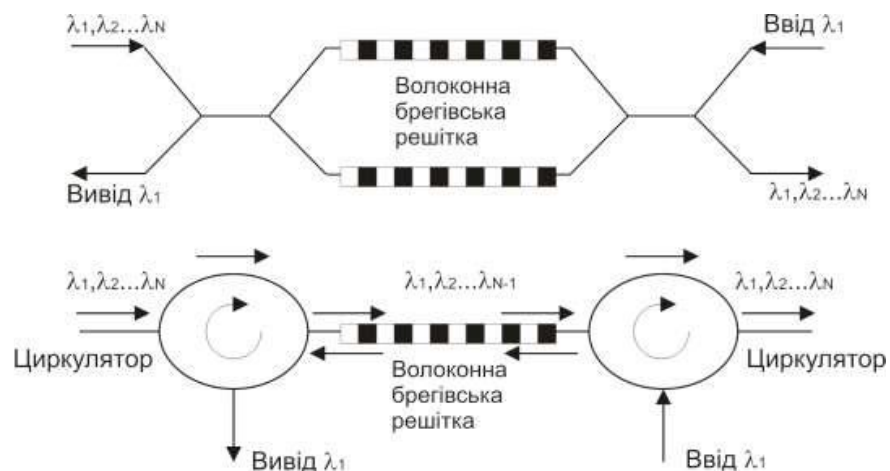


Рис. 3.5. Використання волоконних бреггівських решіток в мультиплексорах вводу/виводу каналів.

Такі пристрої часто використовуються на межі магістрального колектора з міською або регіональною мережею. Кілька довжин хвиль

зазвичай присутні в транкінговому каналі, на відміну від міських або регіональних мереж, де довжини хвиль набагато коротші.

Останнім часом волоконна бреггівська решітка також використовується в пристроях мультиплексування та демультиплексування разом з інтерферометрами Маха-Цендера та в комбінації з іншими типами фільтрів.

Крім мультиплексорів і демультиплексорів методика вузькосмугової фільтрації розглянутих оптичних каналів використовується також для вирівнювання спектру сигналу перед EDFA-підсилювачами, для стабілізації довжини хвилі і в хвильових стабілізаторах.

Бреггівські решітки - це ділянка волокна, в якій безперервно і періодично змінюється показник заломлення. Ці зміни можуть бути викликані впливом ультрафіолетового випромінювання, що застосовується за допомогою інтерферометра або фазової маски. Таким чином отримують просторові дифракційні решітки, які дають змогу ідентифікувати основні максимуми дифракційної картини для кожної з довжин хвиль. Після складання відповідної матриці приймача світла слід відокремити канали від компонентного сигналу.

Впровадження нових технологій (розробка широкосмугових оптичних підсилювачів і методів демультиплексування) стало основою для побудови доступних на ринку волоконно-оптичних транспортних систем. Однак їх широкому використанню сприяла розробка оптичного мультиплексора додавання-відведення (OADM), який дозволяв вставляти або ізолювати низькошвидкісний канал без повного демультиплексування сигналу. Такий мультиплексор встановлюється десь між терміналами. Комерційні пристрої дозволяли виводити або вводити до чотирьох каналів OS-48/STM-16. OADM особливо підходять для стільникової мережі або кільцевої топології, яка використовується для підвищення живучості.

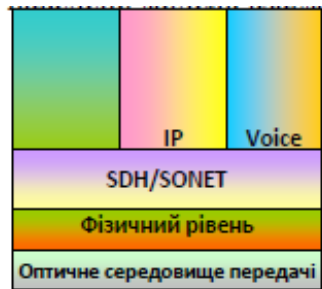


Рис. 3.6. наведено модель взаємодії транспортних систем.

До появи WDM багаторівнева модель взаємодії технологій сигналізації в глобальних мережах з використанням SDH/SONET як транспорту складалася з одного середовища передачі (волокна) і трьох рівнів (рис. 3.7). З метою транспортування трафіку пакети вищого рівня були інкапсульовані в стандарт SDH (SDH) STM (синхронний транспортний модуль) або в транспортні сигнали STS стандарту SONET, які потім надсилаються через відповідний фізичний інтерфейс до оптичного середовища передачі.

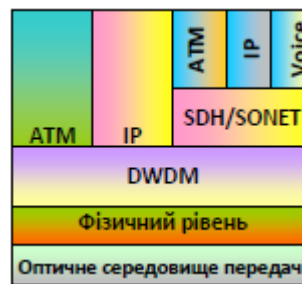


Рис. 3.7. Модель взаємодії систем з використанням DWDM

Технологія WDM дещо змінила зовнішній вигляд моделі. Тепер комірки ATM і IP-пакети більше не потрібно інкапсульовати в блоки STM/STS, що спрощує їх обробку. Звичайно, щоб підтримувати безперервність традиційних моделей взаємодії, цей тип трафіку можна передавати через WDM, використовуючи SDH/SONET як проміжний рівень. Таким чином, DWDM 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.

Як і будь-яка нова технологія, сфера застосування DWDM постійно розвивається. Цьому сприяє встановлена оптоволоконна база, а також прозорість для існуючих протоколів.

У системі WDM/DWDM сигнали різних довжин хвиль, що генеруються одним або кількома оптичними передавачами, 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.

Міжнародний союз електрозв'язку (ITU-T) пропонує різні типи стандартного одномодового волокна.

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

- використання тільки одного вікна прозорості оптичного волокна - 1550 нм в діапазоні довжин хвиль 1530 - 1565 нм (С-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 високих умовах. -швидкісні мережі зв'язку.

Пропускную 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.

3.2 Пристрої та мережі DWDM, котрі використовуються у ВОЛЗ

Системи WDM/DWDM зазвичай включають такі основні компоненти, якими необхідно керувати та контролювати:

оптичні передавачі, джерела випромінювання, блокувальники хвиль, фотоприймачі, атенюатори, оптичні перемикачі, оптичні кросовери, адресні каналні пристрої вводу/виводу, хвильові розгалужувачі, пристрої компенсації дисперсії, оптичні мультиплексори та демультимплексори, мультиплексори вводу/виводу оптичних каналів, оптичні підсилювачі.

Сучасні оптичні передавачі мають гібридну структуру. Лазери та інтегральні мікросхеми модуляції випромінювання об'єднані в компактний модуль, що забезпечує високі частоти модуляції з високою надійністю. Таким модулем є електронно-оптичний перетворювач, в якому інтенсивність оптичного вихідного сигналу модулюється цифровим електричним вхідним сигналом. Передавачем для оптичного каналу зазвичай є лазер з розподіленим

зворотним зв'язком з вихідною потужністю в ОВ не менше 1 мВт (0 дБм) і оптичним модулятором (для частот модуляції вище 2,5 ГГц - зовнішній).

Використовуючи методи інтегральної оптики, розроблено недорогі та прості у використанні модулі оптичної передачі, які поєднують лазер, оптичний модулятор та ОП-напівпровідник в одному кристалі. Також були розроблені модулі оптичної передачі, які поєднують багатолазерні пристрої, які незалежно генерують сигнали на кількох довжинах хвиль, і напівпровідниковий мультиплексор.

Модуль оптичного лазерного передавача ROS також зазвичай включає термоелектричний охолоджувач для контролю температури, датчик температури, оптичний ізолятор і фотодіод для контролю рівня потужності. АФК-лазери вимагають суворого контролю температури, оскільки довжина хвилі генерації дуже чутлива до змін температури.

Для систем DWDM на практиці достатньо забезпечити температурну стабілізацію лазерів оптичних передавачів в межах $\pm 0,1$ °C, що дозволяє підтримувати стабільність довжини хвилі в межах $\pm 0,01$ нм.

Ефективність промислових АФК-лазерів досить висока - вихідна потужність 1 мВт в ОВ видається при струмі накачування до 40 мА.

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. У найпростіших конструкціях OP-EDFA посилення до необхідного рівня відбувається в досить вузькому діапазоні довжин хвиль (≈ 40 нм) – приблизно від 1525 нм до 1565 нм, цього достатньо, щоб охопити кілька десятків оптичних каналів посилення

систем WDM/DWDM. Як джерело випромінювання накачки використовуються лазери з довжиною хвилі 980 і 1480 нм, що відповідає максимумам поглинання іонів.

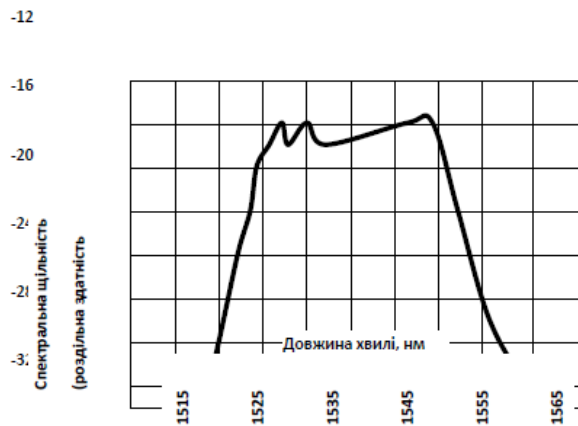


Рис. 3.8. Залежність коефіцієнта підсилення EDFA від довжини хвилі

Накачування на довжині хвилі $\lambda_p = 980$ нм є більш ефективним і забезпечує нижчий рівень шуму ($\approx 3 - 5$ дБ). Однак лазери накачування на $\lambda_p = 1480$ нм (хоча їх ефективність становить 70% порівняно з лазерами на $\lambda_p = 980$ нм) вважаються кращими, оскільки вони більш надійні та не вимагають суворого контролю довжини хвилі (вони випромінюють у більш широкому поглинанні ербію) і в той же час дозволяють досить низький рівень шуму підсилювача (≈ 5 дБ).

Традиційні електронні підсилювачі, щоб відновити рівень сигналу на міжміському каналі зв'язку, зчитують сигнал з оптичного волокна, перетворюють його в електричні імпульси, підсилюють його, перетворюють посилений сигнал назад в оптичну форму та повторно передають його через канал зв'язку. На відміну від них підсилювачі EDFA повністю «прозорі» - вони не залежать від протоколів, форматів, швидкості передачі і (в межах, наведених вище) від довжини хвилі оптичного сигналу. Оскільки повторювачі EDFA не залежать від мережевого протоколу, їх можна підключати безпосередньо до різних пристроїв - комутаторів ATM або IP-компонентів - не побоюючись, що вони будуть заважати один одному. Ця гнучкість є основною

перевагою використання в системах DWDM. Крім того, при використанні EDFA необхідно враховувати їх нерівномірне спектральне підсилення та шум, який вони створюють через ASE (посилене спонтанне випромінювання). Мережі з повторювачами EDFA мають багато переваг. Пропускна здатність таких мереж можна економічно та поступово збільшувати шляхом додавання нових каналів у міру зростання попиту.

Використання підсилювачів EDFA дозволяє побудувати повністю оптичні мережі, в яких обробка сигналу електронними компонентами відбувається лише в початковій точці (де інформація вперше надходить у мережу) і в кінцевій точці (де інформація досягає кінцевого одержувача.) мережева мережа. Кожен канал зв'язку OC-48 (STM-16) розглядається як окремий канал на окремій довжині хвилі в системі DWDM, що дозволяє більшості наявного мережевого обладнання підключатися безпосередньо до систем DWDM. Через це початкова вартість впровадження систем DWDM досить низька.

3.3 Аналіз та дослідження DWDM на 8-м каналів

У підрозділі моделювання ВОЛЗ яка використовує DWDM мультиплексом та EDFA підсилювач. Необхідно розпочати з блоку формування та передачі сигналів.

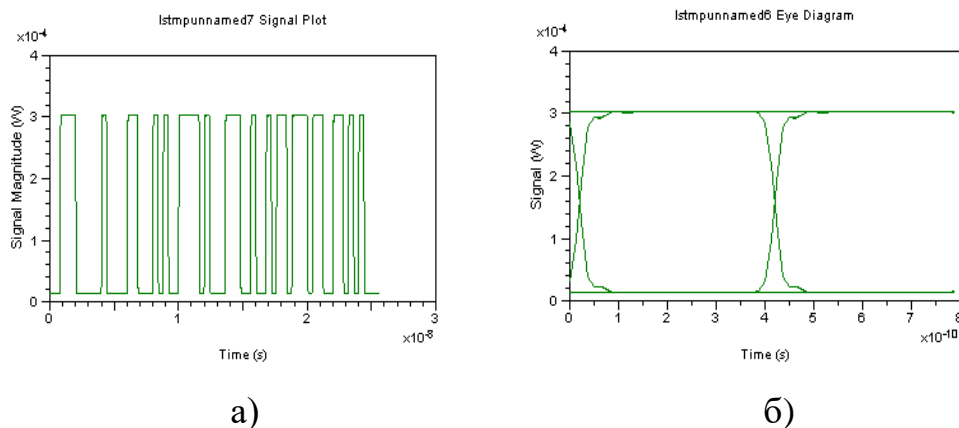


Рис. 3.9. а) Оптичний сигнал на виході модулятора б) Збільшена діаграма оптичного сигналу на виході модулятора

На виході джерела випромінювання потужність сигналу становить 1мВт (0дБм). На виході модулятора потужність сигналу становить $3 \cdot 10^{-4}$ Вт, що відповідає ослабленню сигналу на 5 дБ. На виході модуляторів сигнали надходять на оптичний мультиплексор, який «з'єднує» їх в один сигнал (рис. 5.2 діаграма (а) і спектрограма (б)).

На спектрограмі зображено, що рознос частот між каналами становить 100 ГГц, канали розташовані згідно зі стандартним планом каналів. На виході мультиплексора (рис. 3.10.а) потужність сигналу становить 10^{-5} Вт, тобто потужність сигналу після мультиплексора зменшилася на 6 дБм, тому модулятор з мультиплексором вносив помітні перешкоди 11 дБм.

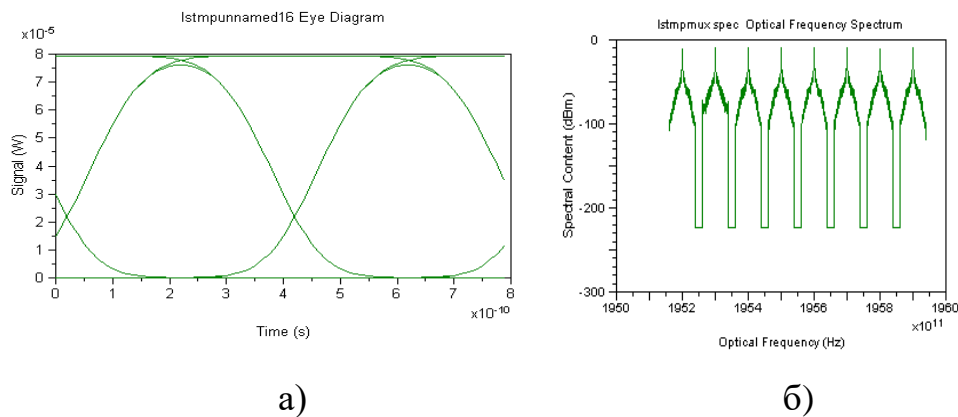


Рис. 3.10. а) Діаграма б) спектрограма сигналу, після мультиплексора

Щоб компенсувати втрачену потужність сигналу, ми посилюємо сигнал за допомогою підсилювача потужності на основі EDFA (Erbium – Doped Fiber Amplifier) (рис. 3.11) перед тим, як він потрапить у волокно.

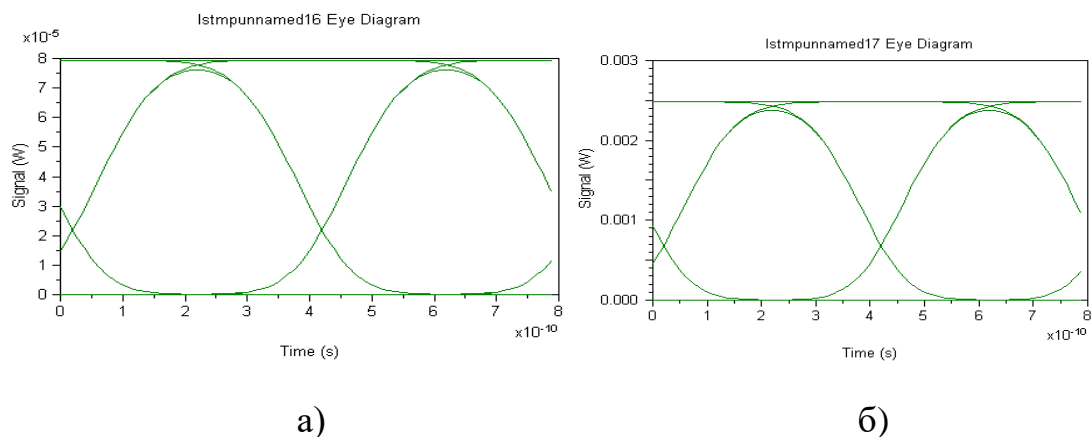


Рис. 3.11. Діаграма сигналу а) до та б) після попереднього підсилювача

Як показано на рис. 3.11б, підсилювач потужності підсилює сигнал до рівня 2,5 мВт (~4 дБм), що відповідає посиленню 16 дБ. Розрахункові дані показують, що довжина дисперсії волокна LEAFTM на 2,5 Гбіт/с із стисненням DWDM становить ~1750 км ($L = 10500 \text{ пс} \cdot \text{нм} / 6 \text{ пс} \cdot \text{нм/км}$), тобто дисперсія не є обмеженням для 550 км ВОЛЗ. Але щоб подолати цю відстань, сигналу не вистачить потужності. Зі збільшенням потужності лазерного випромінювання або збільшенням посилення EDFA в оптичному волокні починають проявлятися нелінійні ефекти, які в нашому випадку є небажаними через погіршення сигналу. Проблему втрати потужності імпульсу можна вирішити, використовуючи той же оптичний підсилювач EDFA, що і лінійний підсилювач. Оптичний підсилювач EDFA є регенератором 1R, тобто відновлює тільки одну властивість - потужність.

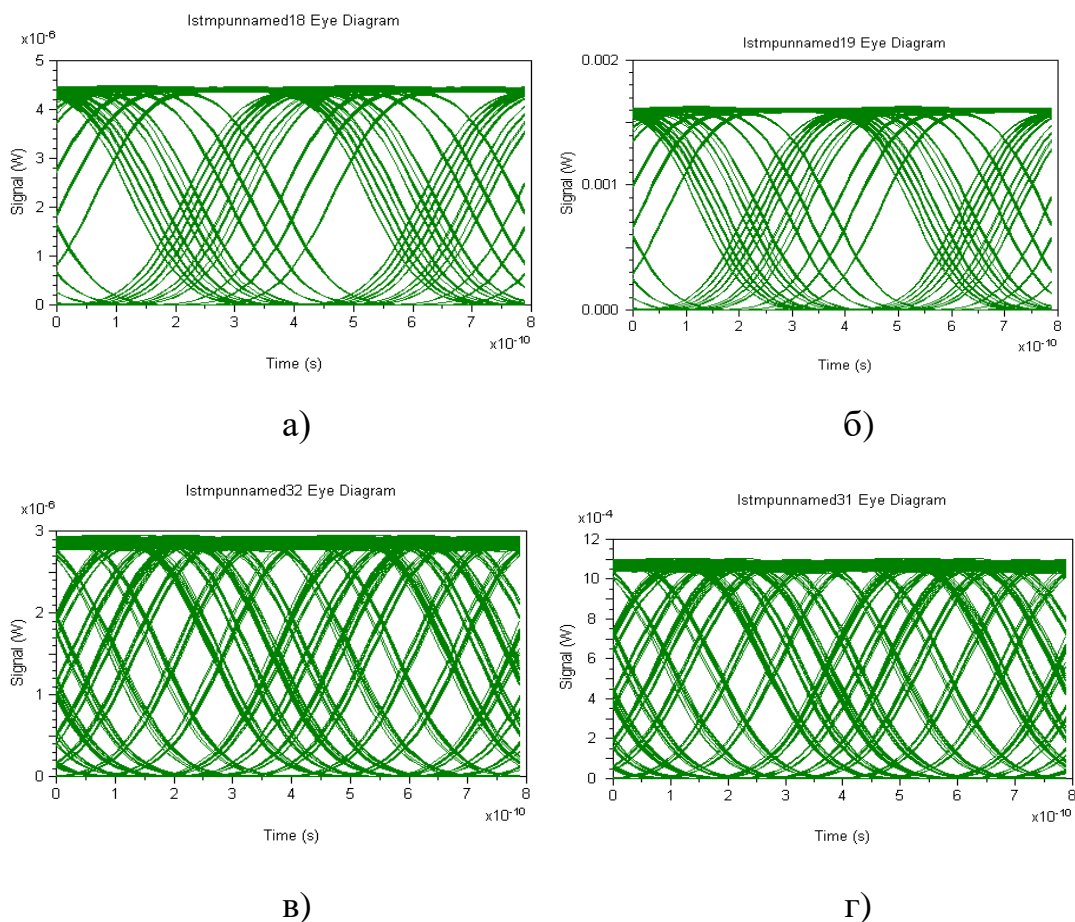


Рис. 3.12. Діаграма сигналу: а) по виходу після волокна (110 км), б) після підсилення на першому лінійному підсилювачі, в) на виході після волокна (220 км), г) після підсилення на другому лінійному підсилювачі,

3 дБм). Давайте оцінимо відношення сигнал/шум (S/N). На виході ПП потужність сигналу -5 дБм. ПП і ПУ не дуже чутливі до шуму, потужність шуму на виході ПП становить ~ -30 дБм. Звідси робимо висновок, що відношення сигнал/шум $\sim S/N = 5 - (-30) = 35$ дБм. Гетеродин чутливий до рівня шуму, і після кожного підвищення співвідношення сигнал/шум зменшується на 4 дБм. Після четвертого ЛП відношення 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 відношення сигнал/шум становить 18-21 дБ. Тому для ПУ достатньо підтримувати на одному рівні відношення сигнал/шум при забезпеченні необхідної потужності сигналу на вході приймача. На рисунку 5.5 наведено спектральні криві сигналу через 330 км і 550 км. Рознос каналів становить 100 ГГц, що є стандартним планом каналів. Зі спектральної діаграми видно, що спектр сигналу значно звужується і після проходження ділянки втрата потужності сигналу склала близько 27 дБм.

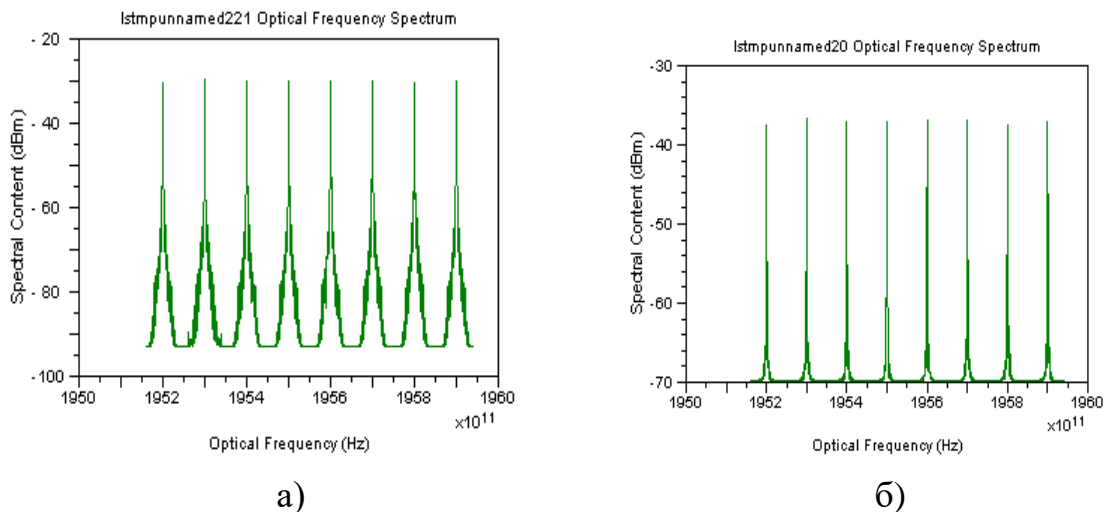


Рис. 3.14. Спектр-діаграма сигналу а) після (330 км) б) після (550 км)

У нашому випадку довжина оптоволокна між лінійними оптичними підсилювачами була обрана рівною 110 км. Це означає, що по всій довжині траси регенерації достатньо встановити 1 підсилювач потужності, 4 лінійних підсилювача та 1 попередній підсилювач, що відповідає довжині траси регенерації 550 км. Це значення не перевищує теоретичної довжини дистанції

регенерації (~1700 км). На цій відстані $BER = 2 \cdot 10^{-14}$. Завданням цієї роботи було забезпечення $BER = 10^{-13}$ на відстані 550 км.

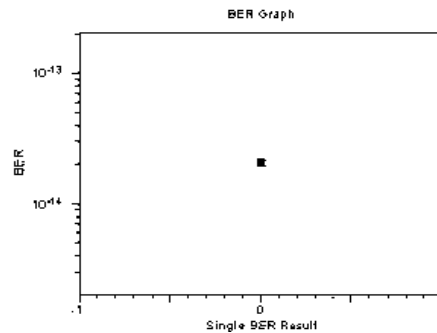


Рис.3.14. Імовірність появи помилки (BER)

Розглянемо сигнали, що надходять як на вхід регенераторів 3R, так і на приймач. Потужність сигналу на виході оптичного волокна (рис. 5.7, а) становить $9 \cdot 10^{-7}$ Вт (-30,4 дБм). Потім сигнал надходить на попередній підсилювач, де посилюється на 30 дБ і подається на демультиплексор. У демультиплексорі єдиний потік світла розбивається на компоненти, тобто кожен вихід DEMUX має свою власну довжину хвилі. DEMUX також сприяє ослабленню сигналу на 6 дБ (Рисунок 3.15.б).

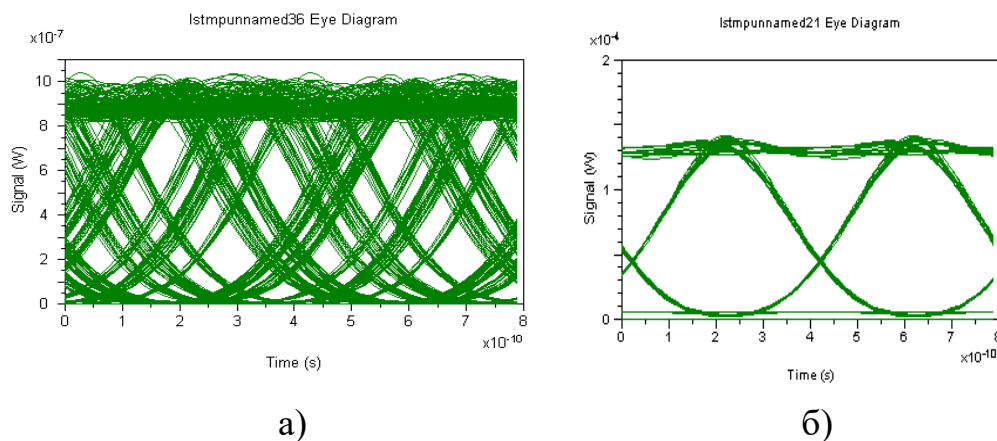


Рис. 3.15. Діаграма сигналів: а) на виході оптоволокна (550 км); б) на виході демультиплексора

Після демультиплексування потужність сигналу становить $1,3 \cdot 10^{-4}$ Вт (-8,8 дБм) (рис. 3.15). Чутливість приймального пристрою для інтерфейсу STM16 ~ -10 - -20 дБм. Таким чином ми забезпечили потужність сигналу, необхідну для належного виявлення. Потужність детектованого сигналу

$\sim 5 \cdot 10^{-2}$ Вт ~ 50 мВт. Давайте порівняємо форми хвиль перед входом у MUX і після виходу з DEMUX (рис. 3.16). Отриманий сигнал практично ідентичний сигналу, що передається, за винятком, звичайно, рівня потужності. При передачі по оптичному каналу також накопичуються помітні перешкоди, що в принципі не заважає нам розпізнавати прийнятий сигнал.

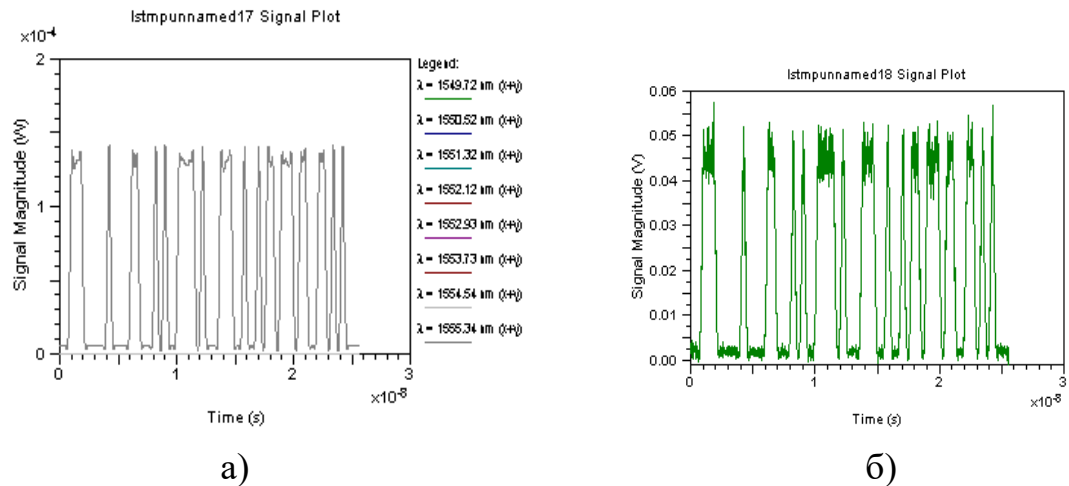


Рис.3.16. Осциллограми сигналів: а) до входу в мультиплексор; б) після виходу із демультиплексора.

Прийнятий сигнал виявляється в приймачі, який також є джерелом перешкод (рис. 3.17).

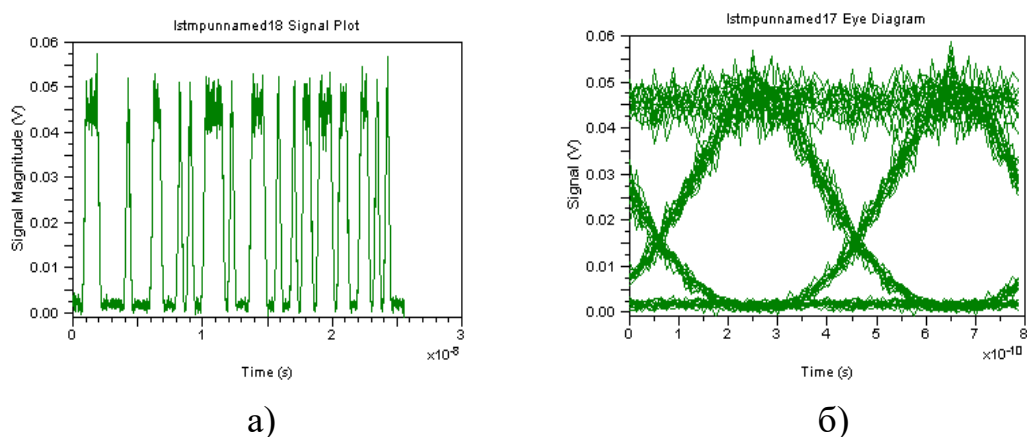


Рис. 3.17. а) Осциллограмма б) діаграма продетектованого сигналу

На рисунку 3.17 показано, що рівень внесених втрат відчувається на приймальному кінці. Тому для надійного виявлення потрібен запас по фазі та амплітуді. Запас по фазі $4 \cdot 10^{-10}$, запас по амплітуді $4,5 \cdot 10^{-2}$ Вт.

Як бачите, із розширеною ВОЛЗ існують суворі вимоги як до обладнання інтерфейсу, так і до волокна. Для розробленого ВОЛЗ основним обмеженням є продуктивність. Досліджено залежність коефіцієнта помилок (BER) від загасання в оптичному волокні BER_f (втрати); від коефіцієнта посилення в лінійному підсилювачі BER_f (підсилення); на BER_f (бітрейт).

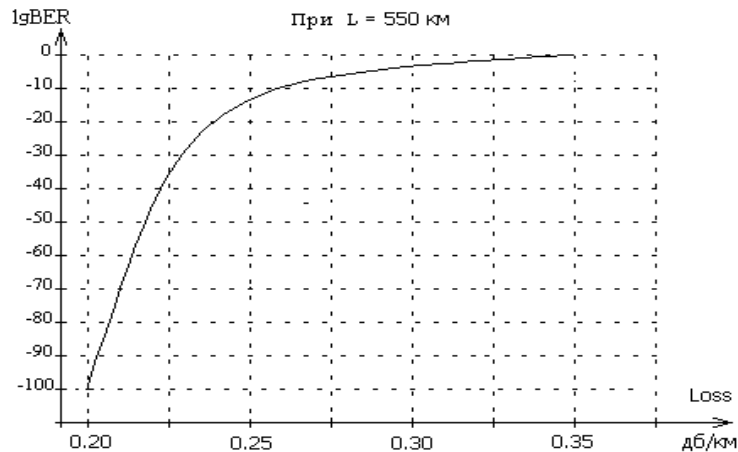


Рис.3.18. Графік залежності BER_f (loss)

Як показано на рисунку 3.18, суворі вимоги до загасання застосовуються до волоконної оптики, тобто вже при $\alpha = 0,30$ дБ/км для магістрального ВОЛЗ (550 км) і при швидкості передачі даних 2,5 Гбіт/с $BER \rightarrow 0$, тобто абсолютно неприйнятно. Вимогам до таких систем відповідають волокна NZDSF, які демонструють загасання 0,20–0,25 дБ/км у третьому вікні прозорості. При проектуванні ВОЛЗ я використовував одномодове волокно NZDSF LEAFTM.

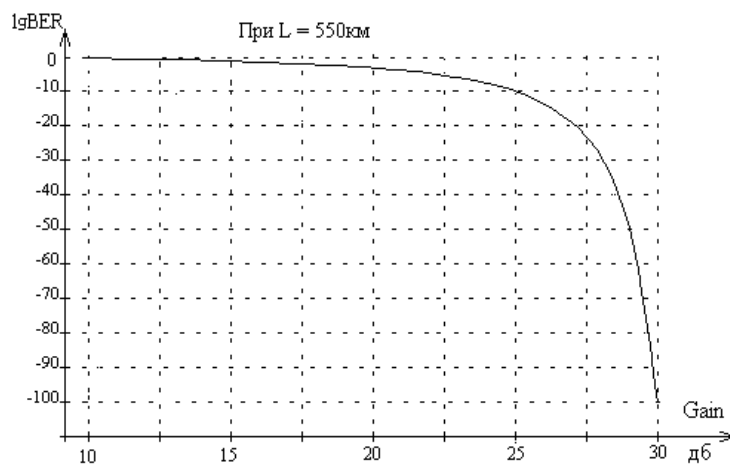


Рис. 3.19. Графік залежності BER_f (Gain)

Як показано на рисунку 3.19, дуже важливо вибрати відповідний коефіцієнт підсилення лінійного підсилювача, оскільки при низькому коефіцієнті підсилення значення BER стає неприйнятним, а при високому коефіцієнті підсилення через виникнення нелінійних ефектів співвідношення сигнал/шум коефіцієнт зменшується. При моделюванні ВОЛЗ використано підсилення $G=26$ дБ.

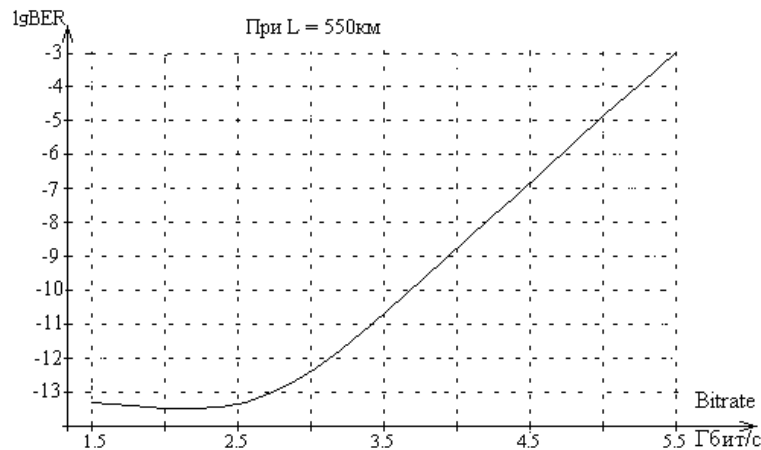


Рис. 3.20. Графік залежності BERf (Bitrate)

На рисунку 3.20 показано, що BER зменшується зі збільшенням швидкості передачі даних. Це свідчить про те, що для швидших систем висуваються ще суворіші вимоги до обладнання інтерфейсу. Кількість використовуваних лінійних підсилювачів зменшується до 2-3, відношення сигнал/шум має бути не менше 29-31 дБ.

3.5. Висновок до розділу 3

Дослідження показали можливість побудови 8-канального ВОЛЗ з мультиплексуванням і демультиплексуванням хвиль на оптичній лінії довжиною 550 км і швидкістю передачі 2,5 Гбіт/с без оптико-електронного перетворення сигналу. Рівень потужності сигналу в змодельованій лінії склав -8,8 дБм, відношення сигнал/шум -19 дБ, що є прийнятним значенням для проєктованого ВОЛЗ.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Підвищення стійкості роботи підприємств мобільного зв'язку у воєнний час

До яких сценаріїв роботи мобільного зв'язку потрібно бути готовим українцям, які опиняться на території, що буде захоплена військами вторгнення, або де будуть йти бойові дії.

У випадку кризових подій сценарії викликів залежатимуть від багатьох зовнішніх факторів, як от стабільності подачі енергії, цілісність кабельної інфраструктури, можливість фізичного доступу ремонтних груп до об'єктів мережі, тощо. Компанія Київстар у рамках своїх компетенцій доклала максимум зусиль та ресурсів, щоб убезпечити мережу від зовнішніх загроз.

Мережа Київстар має гнучку архітектуру, що дозволяє у разі необхідності міняти маршрути трафіку через вузлове обладнання, розташоване у різних містах України. Це дозволяє оператору зберегти функції мережі і поновлювати надання послуг, навіть якщо якісь із об'єктів отримують пошкодження і вийдуть з ладу.

Базові станції забезпечені альтернативними джерелами живлення, компанія зарезервувала додаткові канали для телеком-з'єднань, посилила фізичну охорону ключових об'єктів мережі. Київстар використовує увесь спектр сучасних сервісів з кібербезпеки, щоб забезпечувати надійність та захищеність інформаційних систем.

Для виводу з ладу фіксований зв'язок необхідно фізично пошкодити кабелі, які в містах проходять під землею у кабельній каналізації та заходять у будинки через канали в підвальних приміщеннях (на жаль, багато операторів фіксованого інтернету в містах кидає кабелі по дахах будівель що робить їх вразливими). Фіксований телефон працює навіть без електроживлення у будинку (проводовий телефонний апарат), адже живлення здійснюється з АТС, яка має резервні потужності у разі аварійного відключення

електроенергії – або стаціонарні або мобільні генератори. Оптична мережа (GPON) також забезпечить зв'язок за умови живлення на роутері вдома та на мережевому вузлі оператора.

З нашої точки зору з найбільш доступних засобів комунікації для громадян поєднання фіксованого оптичного доступу в інтернет та фіксованого телефона, мобільними двох операторів буде давати найбільшу стабільність зв'язку в можливих надзвичайних умовах та при використанні засобів радіо електронної боротьби.

В компанії відпрацьовані і діють регламенти роботи та інформування, як всередині компанії, так і для клієнтів компанії - у разі позаштатних ситуацій. Відпрацьовані алгоритми взаємодії між операторами та державними органами влади на випадок надзвичайних ситуацій різного характеру, а також дії з інформування населення на спеціальних навчаннях – задля забезпечення ефективної та злагодженої взаємодії у будь-яких випадках.

У випадку введення військового стану, контроль та управління українськими телекомунікаційними мережами передаються Національному центру оперативного-технічного управління мережами телекомунікацій, створеному на базі Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації України. Центр має повноваження координувати роботу телекомунікаційних мереж і визначати, як діяти і взаємодіяти операторам зв'язку.

Через мережу Київстар такі повідомлення не розсилались. Ці розсилки могли здійснюватись з використанням так званих "симуляторів базових станцій", або іншого несанкціонованого обладнання. Радіоелектронна боротьба, радіоелектронний захист - компетенція збройних сил і відповідних родів військ. Це не є компетенцією цивільних організацій, до яких належать телеком оператори. З свого боку Київстар готовий протидіяти кібератакам на мережу. В компанії налаштований процес статичного та динамічного аналізу коду на вразливості безпеки, створено інтегрований процес розробки – SDL (Security Development Lifecycle), налаштована та працює система SAST (Static

Analysis Security Tool), запроваджено процес DAST (Dynamic Analysis Security Testing), проводяться Performance Assessment Network (PAN) тести на проникнення, а також задіяні незалежні тестування застосунків.

Окрім того, постійно відбуваються контроль інфраструктури щодо виявлення вразливостей – Vulnerability management. Київстар, використовуючи, увесь спектр сучасних сервісів з кібербезпеки, забезпечує надійність та захищеність інформаційних систем, даних у системах і бізнес-процесах компанії, а також відповідність системи інформаційної безпеки найкращим світовим практикам та національним вимогам – це підтверджено міжнародним сертифікатом з кібербезпеки (ISO 27001), який нещодавно отримала компанія, та Атестатом відповідності Комплексної Системи Захисту Інформації.

Відновлення роботи базових станцій мобільного зв'язку в зоні проведення операцій об'єднаних сил потребує фізичного доступу технічних спеціалістів мобільного оператора. Це є можливим лише з дозволу представників військового командування, яке може оцінити ступінь загрози кризової ситуації для життя людей. Тому робити прогнози щодо строків відновлення роботи базових станцій у випадку їх руйнації ми не можемо.

Загалом, мережа Київстар має гнучку архітектуру, що дозволяє у разі необхідності міняти маршрути трафіку через вузлове обладнання, розташоване у різних містах України. Таким чином компанія зможе відновлювати функції мережі навіть якщо якісь окремі об'єкти отримають пошкодження і вийдуть з ладу. Компанія завчасно подбала про забезпечення базових станцій альтернативними джерелами живлення, здійснила резервування додаткових каналів для телеком-з'єднань. За час, що минув з 2014 року компанія зробила на мережі багато технічних удосконалень.

Зокрема, функціонал SON, який в автоматичному режимі перерозподіляє трафік між базовими станціями, відповідно від їх завантаженості. Також оператор встановив додаткові вузли зв'язку на волоконно-оптичній мережі, тощо.

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

Керівництво організації повинно регулярно проводити аналіз ефективності функціонування СУОП. При цьому поводиться оцінка відповідності загальної стратегії системи, існуючим потребам; визначається доцільність змін в структурі системи, прогнозуються наступні заходи щодо удосконалення СУОП.

Частота та масштаб періодичних аналізів ефективності СУОП керівництвом визначаються у відповідності з умовами діяльності організації.

Аналіз ефективності СУОП повинен враховувати:

- результати розслідування нещасних випадків на виробництві, випадки погіршення здоров'я і виникнення професійних захворювань та причини виникнення небезпечних ситуацій;
- додаткові внутрішні та зовнішні фактори, а також зміни, включаючи організаційні, що можуть вплинути на стан охорони праці.

Висновки аналізу мають бути документально зафіксовані і доведені до відома осіб, відповідальних за конкретний елемент системи, а також до працівників та їх представників.

Облік, аналіз та оцінка показників охорони праці та функціонування СУОП направлені (відповідно до одержаної інформації) на розробку та прийняття управлінських рішень керівниками усіх рівнів управління (від майстра дільниці до керівника підприємства). Суть даної функції полягає у системному обліку показників стану охорони праці, в аналізі одержання даних та узагальненні причин недотримання вимог законодавчих та нормативних документів, а також причин невиконання планів з охорони праці з розробкою заходів, направлених на усунення виявлених недоліків. Аналізуються матеріали: про нещасні випадки та професійні захворювання; результати всіх видів контролю за станом охорони праці; дані паспортів санітарно-технічного стану умов праці в цеху (на дільниці); матеріали

спеціальних обстежень будівель, споруд, приміщень, обладнання та ін. В результаті обліку, аналізу та оцінки стану охорони праці вносяться доповнення та уточнення до оперативних, поточних та перспективних планів роботи з охорони праці, а також — по стимулюванню діяльності окремих структурних підрозділів, служб, працівників за досягнуті показники охорони праці.

При розгляді структурної схеми СУОП на підприємстві було відзначено, що це багаторівнева система. Принципова відмінність низової ланки управління охороною праці від усіх наступних полягає в трактуванні поняття «об'єкт управління».

Травматизм як явище формується безпосередньо на робочих місцях, тому в низовій ланці під об'єктом управління розуміють «процес формування безпечних і нешкідливих умов праці безпосередньо на будівельних майданчиках, робочих місцях».

Діяльність робітників і ІТП у цій ланці управління спрямована на досягнення максимального рівня продуктивності праці при забезпеченні його безпеки («пріоритету життя і здоров'я працівників щодо результатів виробничої діяльності підприємства»).

На рівні проектів і в організаціях більш високого рівня управління під об'єктом управління розуміють «діяльність структурних підрозділів, функціональних служб, спрямовану на забезпечення здорових і безпечних умов праці».

Повну відповідальність за створення безпечних і нешкідливих умов праці на підприємстві несе роботодавець, який «зобов'язаний створити на робочому місці в кожному структурному підрозділі умови праці відповідно до нормативно-правових актів, а також забезпечити додержання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці».

З іншого боку працівник зобов'язаний знати і виконувати вимоги нормативно-правових актів з охорони праці.

Зазначеними положеннями, а також кваліфікаційними характеристиками керівників, спеціалістів і службовців організацій, визначаються функціональні обов'язки робочих і інженерно-технічних працівників структурних підрозділів і функціональних служб.

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

Конкретизація службових функцій повинна здійснюватися також правилами і інструкціями з охорони праці, ЄТКД, правил внутрішнього трудового розпорядку. При цьому враховуються специфічні особливості конкретних організацій.

Функціональні обов'язки з охорони праці посадових осіб, розробляються на основі діючих нормативних актів, затверджуються керівником організації за узгодженням з відповідними органами Держгірпромнагляду і комітетами профспілок. Вони повинні відповідати сфері їх діяльності і загальним обов'язкам, узгоджуватися між різними інстанціями і службами на різних рівнях управління, а також посадовими особами однієї служби на суміжних рівнях.

Однак для всіх загальним і необхідним є компетентність спеціалістів з основної професії, а також знання основ чинної законодавчої бази з охорони праці, технології, організації, управління й економіки виробництва.

В основу оцінки роботи в сфері охорони праці посадових осіб і робітників покладена оцінка якості і повноти виконання ними своїх функціональних обов'язків.

Крім цього для ефективного функціонування СУОП необхідно визначити обов'язки, відповідальність та повноваження керівників служб та підрозділів а також працівників щодо охорони праці при розробці, впровадженні і удосконаленні СУОП. Обов'язки та повноваження персоналу, що керує, виконує та перевіряє різні види діяльності, які впливають на ризики виникнення небезпечних ситуацій, пов'язані з

діяльністю організації, устаткуванням і робочими процесами, повинні бути визначені, задокументовані і доведені до відома працівників для сприяння управлінню в сфері охорони праці.

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), затвердженому 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), затвердженому 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.

4.3. Висновок до розділу 4

У четвертому розділі 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.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

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 ВОЛЗ та 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. Здійснено детальний аналіз та дослідження DWDM на 8-м каналів у вигляді рисунків та графіків. Також визначено найважливішими елементами високошвидкісних оптичних мереж є передавальні та приймальні модулі, модулятори, широкосмугові оптичні підсилювачі, компенсатори дисперсії, демультимплексори 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.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

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

Назва з екрану.

9.FIBER OPTICAL COMMUNICATIONS [Електронний ресурс]//Стаття.

Режим доступу:

https://mrcet.com/downloads/digital_notes/ECE/III%20Year/FIBER%20OPTICAL%20COMMUNICATIONS.pdf (21.09.2022). Назва з екрану.

10. Efficiency of Optical Fiber Communication for Dissemination of Information within the Power System Network.[Електронний ресурс]//Стаття.

Режим доступу:

https://www.academia.edu/7061105/Efficiency_of_Optical_Fiber_Communication_for_Dissemination_of_Information_within_the_Power_System_Network

(21.09.2022). Назва з екрану.

11. Reasons Why IT Professionals Choose Fiber Optic Cables Instead of Copper [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу:

<https://www.cablexpress.com/education/blog/5-reasons-why-it-professionals-choose-fiber-optic-cables-instead-of-copper/> (19.09.2022). Назва з екрану.

12. Study on the Efficiency of Temperature/Strain Measurement for Ultra-Long-Distance Optical Fiber Composite Overhead Power Transmission Lines.[Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу:

<https://www.mdpi.com/2076-3417/12/21/11043> (21.09.2022). Назва з екрану.

13. Category_Communication methods — ETHW.[Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <https://ethw.org/Category:Communications> (21.09.2022). Назва з екрану.

14. Egypt - Information and Communications Technology; and Digital Economy [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу:

<https://www.trade.gov/country-commercial-guides/egypt-information-and-communications-technology-and-digital-economy> (21.09.2022). Назва з екрану.

15. Factors affecting the speed and quality of internet connection _ Traficom [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу:

<https://www.traficom.fi/en/communications/broadband-and-telephone/factors-affecting-speed-and-quality-internet-connection> (21.09.2022). Назва з екрану.

16. FBG interrogators _ Optics11 Industrial Sensing [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: https://safibra.com/product-category/sensors-and-detectors/?gclid=EAIaIQobChMIkeqhuu70-wIVmZSyCh0K6wtKEAAYASAAEgIu9vD_BwE (21.09.2022). Назва з екрану.

17. 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.

18. Fiber optic work for efficient systems _ SCADA International [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: https://fischerconnectors.com/en/solutions/connectors/fiberoptic-series/?gclid=EAIaIQobChMIo9SX9O70-wIVE9WyCh1b8Q8qEAAAYASAAEgIt6vD_BwE (21.09.2022). Назва з екрану.

19. Fiber-optic communication - Wikipedia [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: https://www.glsun.com/products-c20-transmission-equipment.html?gclid=EAIaIQobChMI3rOqhu_0-wIV-wuiAx2yKQdPEAAAYASAAEgKgIvD_BwE (21.09.2022). Назва з екрану.

20. FTTP Brochure [Електронний ресурс]//Стаття. Режим доступу: <https://www.btwholesale.com/assets/documents/products-and-services/data/wholesale-ethernet-ftp/learn-more/wholesale-ethernet-ftp-brochure.pdf> (21.09.2022). Назва з екрану.

21. Дунець В. Л. Дослідження режимів передачі мережі LTE 4G / В. Л. Дунець, А. М. Семенен // Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної 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).

22. 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 „Актуальні задачі сучасних технологій“, 27-28 листопада 2019 року. — Т. : ТНТУ, 2019. — Том 1. — С. 48. — (Сучасні технології в будівництві, машино- та приладобудуванні).
23. 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 175-ліття 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).
24. 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).
25. 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).

ДОДАТКИ

УДК 621.395.7

Б.Є Томс, студент-магістр, Г.П. Химич, ст. викл.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ЕФЕКТИВНІСТЬ ОПТОВОЛОКОННИХ ЛІНІЙ У МІСЬКИХ УМОВАХ

Bohdan Toms, master's student, Grygoriy Khymych, senior lecturer

EFFICIENCY OF OPTICAL FIBER LINES IN URBAN CONDITIONS

Враховуючи збільшення інформаційних потоків, швидкості передачі даних, впровадження smart технологій в управління комунікаціями міських процесів, розширення Інтернет мереж з різноманітними функціями (ІР-телефонія, ІоТ додатки, відеоінформація, віртуальні мережі та ін.) та на основі багатьох досліджень можна зробити висновок, що волоконно – оптичні мережі є одними з найбільш перспективними у межах міської зони.

Волоконно-оптичні лінії передач (ВОЛП) володіють рядом переваг перед дротяними (мідними), радіокабельними, радіорелейними системами зв'язку:

- мале загасання сигналу (0,15 dB/км у третьому вікні прозорості) дозволяє передавати інформацію на значно більшу відстань без використання підсилювачів. Підсилювачі у ВОЛП можуть ставитися через 40, 80 і 120 км, залежно від класу кінцевого устаткування;

- висока пропускна здатність оптичного волокна дозволяє передавати інформацію (аудіо-, відео-) на високій швидкості (0,1-1-10) Гбіт/сек, яка є недосяжною для інших систем зв'язку;

- висока надійність оптичного середовища: оптичні волокна не окислюються, не намокають, не чутливі до слабкого електромагнітного впливу та зовнішніх наведень. На відміну від кабелів з мідними та алюмінієвими сердечниками (коаксіальних і FTP кабелів) передача сигналу здійснюється за допомогою світлових, а не електричних імпульсів. Це проявляється у

виключній дальності передачі світлового імпульсу без спотворення, яке може становити кілька десятків км;

- висока захищеність від міжволоконних впливів - рівень захисту, випромінювання понад 100 dB. Випромінювання в одному волокні абсолютно не впливає на сигнал в сусідньому волокні багатоходової структури;

- низький рівень шумів і завадозахищеність у всьому спектрі;

- відкритість системи для організації додаткових сервісів, в тому числі, телефонної інфраструктури, мережі відеонагляду, охоронних пристроїв;

- пожежо- та вибухобезпечність при вимірюванні фізичних і хімічних параметрів;

- довговічність, якість і безпека з'єднання - несанкціоноване втручання в мережу практично повністю виключено, малі габарити і маса.

Недоліки ВОЛП:

- відносна крихкість оптичного волокна. При сильному вигинанні кабелю (особливо, коли в якості силового елемента використовується склопластиковий пруток) можлива поломка волокон або їх помутніння через виникнення мікротріщин, втрата прозорості волокна з часом, внаслідок старіння та впливу дестабілізуючих факторів, особливо температурних, складність перетворення сигналу (у інтерфейсному устаткуванні);

- відносна висока вартість кінцевого рішення ВОЛС. Проте співвідношення ціни і пропускної спроможності для ВОЛП краще, ніж для інших систем. Це зумовило їх широке вживання у телекомунікаційних мережах різних рівнів — від міжконтинентальних магістралей до корпоративних і домашніх комп'ютерних мереж.

Міжнародний союз електрозв'язку ІТУ-Т затвердив низку рекомендацій серії Y, починаючи з Y.2001, котрі регламентують вимоги до технологій мереж зв'язку. Концепція побудови мереж зв'язку описана в цих рекомендаціях - NGN (Next Generation Network) – мережа наступного покоління. Відповідно до цієї концепції мережа наступного покоління має використовувати такі технології зв'язку в ВОСП з наступним характеристикам:

- передача з пакетною комутацією, розподіл функцій керування між пропускною здатністю каналу-носія, викликом/сеансом, а також додатками/послугами, розв'язка між наданням послуг транспортування та наданням відкритих інтерфейсів;
- підтримка широкого спектру додатків та механізмів на основі уніфікованих блоків (послуги в реальному часі, в потоковому, автономному режимах, мультимедійні послуги);
- можливості широкосмугової передачі даних з кінця в кінець (наскрізна) з функцією QoS (Quality of Service – якості обслуговування);
- взаємодія з існуючими мережами за допомогою відкритих інтерфейсів;
- універсальна мобільність (можливість користувача постійно отримувати послуги при зміні фізичного місця перебування), необмежений доступ користувачів до різних постачальників послуг, різноманітність схем ідентифікації;
- єдині експлуатаційні характеристики для однієї і тієї ж послуги, зближення послуг між фіксованим і мобільним зв'язком, незалежність пов'язаних з обслуговуванням функцій від основних транспортних технологій;
- підтримка різних технологій «останньої милі»;
- надання абонентам спектра послуг Triple-Play (передача мови, даних і відео)

ВОЛП - це волоконно-оптична система, що складається із пасивних та активних елементів, що призначена для передачі інформації у оптичному (як правило - ближньому інфрачервоному) діапазоні. Структура стандартної оптичної мережі показана на рис.1.

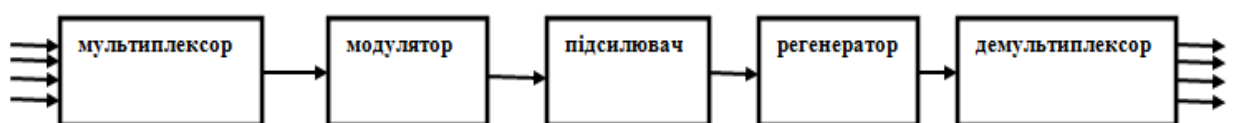


Рисунок 1. Структура стандартної ВОЛП.

Практично всі області України впроваджують волоконно-оптичні мережі. В Тернопільській області діє регіональна програма інформатизації „Цифрова Тернопільщина” на 2022-2024 роки. Основні провайдери, які впроваджують та надають послуг (ІР-телефонія, телебачення, Інтернет) на основі ВОЛП на Тернопільщині:

- Укртелеком підключає кабельний оптичний Інтернет (FTTx, GPON) та надає послугу по стаціонарній телефонній лінії (xDSL). Швидкість: до 1 Гбіт/сек – для багатоквартирних будинків, до 200 Мбіт/сек – для приватного сектору, до 50 Мбіт/сек - за технологією xDSL;

- Колумбус, ВОЛП - високошвидкісні, побудовані на комутаторах, з'єднаних волоконно-оптичними каналами (0,1 – 10) Гбіт/сек з підключенням абонентів до порту Ethernet (Fast Ethernet). Швидкість порту мережі - від 100Мбіт/сек. При підключенні за технологією PON (Passive optical network) - швидкість до 1 Гбіт/сек;

- Мережа Aljaska є міською цифровою мережею передачі інформації. Спектр рішень в області мережевих технологій: підключення фізичних і юридичних осіб, надання виділеного доступу в мережу Інтернет, надання Wi-Fi доступу в мережу Інтернет, створення локальних мереж і об'єднання віддалених офісів;

- Volia, визначення технічної можливості встановлення ВОЛП, підтримка;

- «БіттерНет», прокладання ВОЛП в регіоні, монтаж обладнання, швидкісної мережі - понад 100Мбіт/сек.

У 2021 році 21 громада (93 населені пункти) подали заявки на прокладку ВОЛП особливо у соціальних закладах (школи, ЦНАПи, інтернати, медзаклади, бібліотеки).

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).