

Вінницький національний технічний університет
Факультет комп'ютерних систем та автоматики
Кафедра лазерної та оптикоелектронної техніки

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи
за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр»

на тему:

**ОПТИЧНА ТРАНСПОРТНА МЕРЕЖА
СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ
08-04. МКР.001.00.000 ПЗ**

Виконав: студент 2 курсу групи ЛТО-19мз
освітньо-професійної програми магістр
спеціальності 152 – Метрологія та
інформаційно-вимірвальна техніка
за освітньою програмою «Лазерна техніка та
оптоінформатика»

Горшков В. В. _____

Керівник: к.т.н., проф. каф. ЛОТ

Лисенко Г.Л. _____

«__» _____ 2021 р.

Рецензент: д.т.н., проф. каф. МПА

Кулаков П.І. _____

«__» _____ 2021 р.

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет комп'ютерних систем і автоматики
Кафедра лазерної та оптикоелектронної техніки
II (магістерський) рівень вищої освіти
Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»
Освітньо-професійна програма «Лазерна техніка та оптоінформатика»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав.кафедри ЛОТ
д.т.н., проф. Заболотна Н.І.
«___» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Горшкову Вадиму Вікторовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської кваліфікаційної роботи: Оптична транспортна мережа спеціального призначення

керівник проекту (роботи) Лисенко Геннадій Леонідович, к.т.н., проф.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ВНТУ від «___» _____ 2021 року, № _____.

2. Строк подання студентом магістерської кваліфікаційної роботи: 15.06.2021р.

3. Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи:

Довжина лінії – 120 км, протяжність лінійного тракту – до 40 км, технологія передачі – SDH, стандарт STM-64 (10 Гбіт/с) + мультиплексування DWDM, центральний комутатор – оптичний (обґрунтувати вибір); оптичний кабель – спеціального призначення (військово-тактичний).

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

Аналіз технологій оптичних транспортних мереж; моделювання параметрів мережі; розрахунок і моделювання елементів оптичного тракту мережі спеціального призначення; розрахунок і моделювання роботи оптичного комутатора; обґрунтування вибору елементної бази та оптичного кабелю; економічна частина; висновки по роботі

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

- 1) Схема загальна структурна оптичної транспортної мережі (Е1).
- 2) Схема структурна оптичного лінійного тракту мережі (Е1).
- 3) Оптичний підсилювач (Е1).
- 4) Оптичний комутатор (Е2).
- 5) Модельний аналіз роботи комутатора (плакат, формат А4)
- 6) Алгоритм програми моніторингу мережі (плакат, формат А4).

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Спеціальна частина	Лисенко Г.Л., к.т.н., проф. каф. ЛОТ	16.02.2020	11.06.2020
Економічна частина	Адлер О.А. к.т.н., доц. каф. ЕПВМ		

7. Дата видачі завдання «16» лютого 2021 р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Формування та затвердження ТЗ	1.03.2021	
2	Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання МКР	01.05.2021	
3	Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль МКР	16.05.2021	
4	Виконання «Економічної частини»	29.05.2021	
5	Попередній захист МКР	12.06.2020	
6	Нормоконтроль МКР	13.06.2020	
7	Рецензування МКР	15.06.2020	
8	Захист МКР	22.06.2020	

Студент

(підпис)

Горшков В. В.

Керівник роботи

(підпис)

Лисенко Г.Л.

АНОТАЦІЯ

В магістерській кваліфікаційній роботі проектується волоконно-оптична транспортна мережа зв'язку спеціального зв'язку, яка призначена для захищеної передачі інформації у важких умовах експлуатації. Здійснюється порівняльний аналіз технологій передачі даних, а також розрахунок і моделювання характеристик основних компонентів оптичної транспортної мережі спеціального зв'язку. Виконуються розрахунок характеристик лінійного каналу зв'язку, оптичного крос-комутатора, обґрунтування вибору оптичного кабелю та інших компонентів. Формулюються вимоги до спеціального технічного захисту системи зв'язку.

ОПТИЧНА ТРАНСПОРТНА МЕРЕЖА, ОПТИЧНИЙ КОМУТАТОР,
ОПТИЧНИЙ ЛІНІЙНИЙ ТРАКТ, ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИЙ КАБЕЛЬ

ABSTRACT

In the master's qualification work, a fiber-optic transport network of special communication is designed, which is designed for secure transmission of information in difficult operating conditions. A comparative analysis of data transmission technologies, as well as calculation and modeling of the main components characteristics for optical transport network with special communication. The characteristics of the linear communication channel, optical cross-switch, substantiation of the choice of optical cable and other components are calculated. Requirements for special technical protection of the communication system are formulated.

OPTICAL TRANSPORT NETWORK, OPTICAL SWITCH, OPTICAL LINEAR TRACT, FIBER-OPTICAL CABLE

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ І АРХІТЕКТУРИ ОПТИЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖ	12
1.1 Аналіз технологій волоконно-оптичних мереж	12
1.2 Аналіз технологій мультиплексування оптичних мереж України	13
1.3 Аналіз властивостей волоконно-оптичних кабелів	19
1.3.1 Основні характеристики оптичних волокон і кабелів	19
1.3.2 Аналіз волоконних кабелів спеціального призначення	25
1.4 Висновки до розділу 1	27
2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	28
2.1 Обґрунтування вибуру архітектури і засобів мультиплексування	28
2.2 Обґрунтування вибору характеристик оптичного кабелю	27
2.3 Розрахунок довжини ділянки регенерації	32
2.4 Вибір оптичного кабелю спеціального призначення	39
2.5 Висновки до розділу 2	39
3 АНАЛІЗ ОПТИЧНОГО ЛІНІЙНОГО ТРАКТУ ТА ТЕХНОЛОГІЙ КОМУТАЦІЇ	41
3.1 Розробка структури оптичної транспортної мережі спеціального призначення	41
3.2 Аналіз технології оптичної комутації мережі	41
3.3 Розрахунок параметрів мережі із центральним оптичним комутатором	47
3.4 Аналіз спеціальних заходів щодо захисту з'єднань у мережі	54
3.5 Висновки до розділу 3	57
4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	56
4.1 Оцінювання комерційного потенціалу розробки	56
4.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної, дослідно- конструкторської та конструкторсько-технологічної роботи	62
4.3 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки	66

4.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності	8 68
4.5 Висновки до розділу 4	71
ВИСНОВКИ	75
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	77
ДОДАТКИ	75
Додаток А (обов'язковий)	76
Додаток Б (обов'язковий)	80
Додаток В (обов'язковий)	81
Додаток Г (обов'язковий)	82
Додаток Д (обов'язковий)	83
Додаток Е (обов'язковий))	84

ВСТУП

Розвиток інформаційних технологій та постійне збільшення обсягів інформації, що передається у мережах передачі даних, стимулює розвиток інфраструктури волоконно-оптичних транспортних каналів зв'язку. Оптичні системи передачі даних отримують все більш високу популярність у мережах зв'язку спеціального призначення, які формують особливі вимоги до захисту, надійності та умов експлуатації волоконно-оптичних каналів.

Оптичний кабель є одним з найдосконаліших середовищ для захищеної передачі великих потоків інформації на значні відстані, оскільки має високу пропускну здатність, низький рівень оптичних втрат (втрати сучасного волоконного кабелю менше 0,2 дБ/км). При проектуванні волоконно-оптичних мереж спеціального призначення важливо враховувати параметри усіх пасивних та активних складових елементів таких систем (оптичні трансивери, модулятори, комутатори, оптичні підсилювачі, пристрої введення/виведення оптичних сигналів та інші). Такі параметри впливають на швидкість і якість передачі даних, а також на захист інформації, що передається у таких системах та надійність.

Разом з тим отримання високих значень пропускну здатності магістральних мереж є неможливими без використання сучасних технологій хвильового мультиплексування (DWDM, CWDM) та новітньої елементної бази компонентів ВОЛЗ (маршрутизатори, комутатори, оптичні мультиплексори, фільтри, оптичні підсилювачі, DBR лазери та ін.) [1-3].

Актуальність теми. Оптичні транспортні мережі передачі отримують широке використання у системах зв'язку спеціального призначення, які формують особливі вимоги до захисту, надійності та умов експлуатації волоконно-оптичних каналів. На транспортній мережі України вже реалізовано та впроваджено DWDM та IP/MPLS технології, але їх взаємодія та управління викликають великі труднощі. DWDM мережа сформована на базі діючої оптоволоконної мережі, загальна протяжність якої сягає понад 30 тис. км. Можливості DWDM поки що не використовуються повною мірою сповна,

оскільки переважно передається трафік синхронних транспортних мереж SDH. Для технології SDH характерне неефективне використання пропускної здатності каналів зв'язку, тобто є необхідність резервування смуги на випадок відмов, ця технологія не здатна динамічно виділяти смугу пропускання під різні додатки та не має механізмів пріоритезації трафіку.

Таким чином для оптичних транспортних мереж необхідно запропонувати способи передавання даних та розподілу фізичних ресурсів і їх управління, що дозволить забезпечити передачу IP трафіку з різними параметрами якості обслуговування. Отже, існує актуальна потреба в необхідності удосконалення волоконно-оптичних технологій передачі даних у роботі оптичних транспортних мереж державних підприємств, зокрема у секторі оборони і безпеки держави.

Мета роботи: Метою магістерської кваліфікаційної роботи є удосконалення волоконно-оптичних технологій передачі та комутації даних для розширення функціональних можливостей оптичних транспортних мереж спеціального призначення, зокрема у секторі оборони і безпеки держави.

Для вирішення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

- 1) провести порівняльний аналіз сучасних технологій оптичних транспортних мереж, а також апаратних і програмних засобів оптичного тракту ділянки мережі спеціального призначення;
- 2) спроектувати схему оптичного лінійного тракту волоконної мережі спеціального призначення, обґрунтувати вибір елементної бази та архітектури мережі, здійснити аналіз втрат, дисперсії та енергетичного балансу мережі та її окремих вузлів;
- 3) виконати розрахунок параметрів та змодельовати роботу волоконно-оптичної лінії передачі та обладнання транспортної мережі спеціального призначення, проаналізувати функціонування її окремих вузлів;
- 4) удосконалити методику передачі і технологію роботи оптичної мережі для розширення функціональних можливостей в умовах спеціального застосування;

5) розробити схеми основних функціональних вузлів мережі на основі сучасної елементної бази та проаналізувати їх роботу;

6) розрахувати економічну ефективність оптичної транспортної мережі.

Об'єкт дослідження: процеси передачі інформації у оптичних транспортних мережах зв'язку.

Предмет дослідження: методи, засоби і архітектура оптичних транспортних мереж спеціального призначення.

Методи дослідження. У процесі дослідження застосовувалися: теорія волоконної та інтегральної оптики; теорія цифрової передачі сигналів; теорія цифрових волоконно-оптичних мереж; комп'ютерне моделювання для побудови схеми лінійного тракту магістральної ділянки оптичної мережі зв'язку, аналізу роботи оптичного комутатора та перевірки достовірності отриманих теоретичних положень.

Науково-технічна новизна: Удосконалено методологію конвергенції пакетної і каналної комутації у оптичних транспортних мережах з хвилевим мультиплексуванням, яка базується на використанні повністю оптичного обміну міток AOLS та відповідного кодування, що теоретично дозволяє підвищити ресурс пропускної здатності такої мережі та збільшити число каналів комутації для своєчасної надійної передачі даних у таких мережах.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що на основі отриманих теоретичних результатів здійснено моделювання роботи оптичного комутатора. Здійснено модельний розрахунок характеристик лінійного тракту оптичної транспортної мережі спеціального призначення, розроблено структурні і топологічні схеми організації зв'язку.

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати магістерської кваліфікаційної роботи отримано особисто.

Публікації. за матеріалами МКР опубліковано 1 тези у матеріалах XLIX Науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Факультет комп'ютерних систем і автоматики.

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ І АРХІТЕКТУРИ ОПТИЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖ

1.1 Аналіз технологій волоконно-оптичних мереж

Науково-технічний прогрес значною мірою визначається обсягами та швидкістю передачі інформації. Можливість її збільшення найбільш повно реалізується при застосуванні волоконно-оптичних систем передачі (ВОСП) і мереж, які єдині здатні забезпечити стрімке зростання обсягів передачі, оскільки мають найбільш широкую смугу пропускання.

Масштабне використання волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ) почалося приблизно 30 років тому, коли прогрес в технології виготовлення волокна дозволив будувати лінії великої протяжності. Сучасні обсяги інсталяцій ВОЛЗ стало рости. У міжрегіональному масштабі поширюється будівництво волоконно-оптичних мереж синхронної цифрової ієрархії (SDH). Стрімко впроваджуються волоконно-оптичні інтерфейси у локальних і регіональних обчислювальних мережах (Ethernet, FDDI, ATM).

Сьогодні у світі за рік прокладаються десятки тисяч кілометрів оптичних кабелів як під землею, так і по дну океанів, річок, у тунелях і колекторах, а також вздовж ліній електропередач. Велика кількість компаній, зокрема IBM, Lucent Technologies, Nortel, Corning, AlcoaFujikura, Siemens проводять інтенсивні наукові дослідження технологій волоконної оптики. Однією з найперспективніших вважають технологію щільного хвильового мультиплексування DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), яка дозволила збільшити пропускну здатність діючих магістралей, а також масштабні інсталяції волокна з ненульовою зміщеною дисперсією TrueWave (Lucent Technologies) та SMF-LS (Corning), оптимізованих для передачі сигналів DWDM.

Розвиток технологій волоконно-оптичних мереж пов'язаний із удосконаленням електронного мережного обладнання, розробкою та стандартизацією протоколів передачі та архітектури мережі. Стрімке

впровадження в інформаційній мережі оптичних ліній зв'язку являється наслідком переваг, які виходять з особливостей розповсюдження сигналу в оптичному волокні. Широка смуга пропускання, що обумовлена високою частотою (від 10^{14} Гц) надає потенційну можливість передачі по одному оптичному волокні потоку інформації в декілька терабіт в секунду [1-5]. Вироблене в наш час вітчизняними та зарубіжними виробниками промислове оптичне волокно має згасання на рівні $0,17 \div 0,25$ дБ/км на робочій довжині хвилі 1,55 мкм. Малі втрати і незначна дисперсія дозволяють будувати ділянки ліній без ретрансляції протяжністю у сотні кілометрів. Низький рівень шумів у волоконно-оптичному кабелі дозволяє збільшити смугу пропускання шляхом передачі різних модульованих сигналів із малою надлишковістю коду.

З 2000 р. усі лінії зв'язку, що вводяться в експлуатацію в Україні, є волоконно-оптичними. При цьому відстань між ретрансляторами приблизно дорівнює 100 км, а типова швидкість передачі перевищує 10 Гбіт/с.

На сьогодні в Україні розроблені кільцеві лінії зв'язку, які охоплюють усі основні регіони України. У міські та міжміські лінії зв'язку, які прокладаються в наш час, будуються на базі ВОЛЗ.

Найближчим часом в Україні очікується перехід на швидкості передачі – від 40 до 100 Гбіт/с і вище. Ці можливості не є граничними: спектральне ущільнення й когерентний прийом дозволять на кілька порядків збільшити швидкість передачі інформації до 10 Тбіт/с. Такий перехід був би можливим без використання технологій хвильового мультиплексування.

1.2 Аналіз технологій мультиплексування оптичних мереж України

Сучасні технології SDH (Synchronous Digital Hierarchy) – технології синхронної цифрової ієрархії, побудовані на базі часового розділення каналів. Збільшення швидкості передачі понад 10 Гбіт/с призвело до проблем з хроматичною та поляризаційною модою дисперсією, які суттєво впливають на якість передачі. Таким чином, подальше масштабування і збільшення

пропускної здатності оптичних мереж із використанням TDM є проблематичним [5].

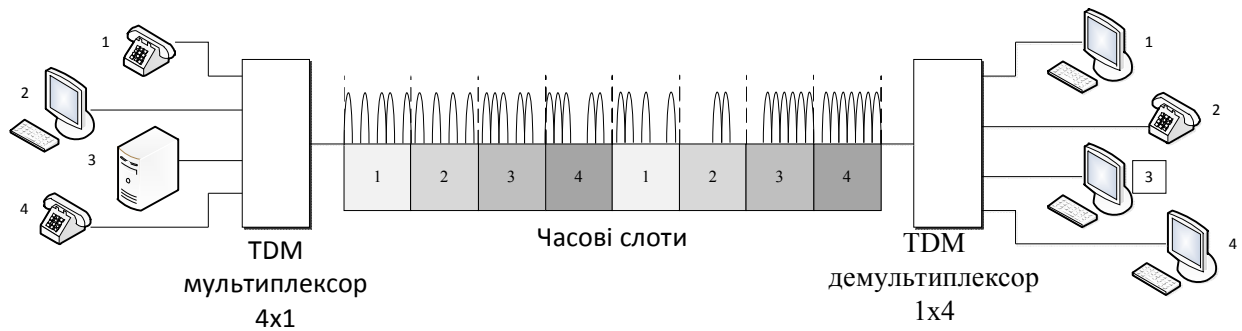


Рисунок 1.1 - Схема передачі оптичних сигналів з TDM

Метод хвильового мультиплексування дозволяє збільшити швидкість передачі інформації в ВОЛЗ за рахунок паралельної передачі по оптоволокну декількох каналів на різних довжинах хвиль. Кожен канал системи передачі), обробляється в системі WDM як окремий канал на окремій довжині хвилі.

Інформаційні потоки на довжинах хвиль λ_m , за допомогою оптичних мультиплексорів (ОМ) об'єднуються у загальний світловий потік $\lambda_1 .. \lambda_m$, який і вводиться у оптичне волокно (р2)

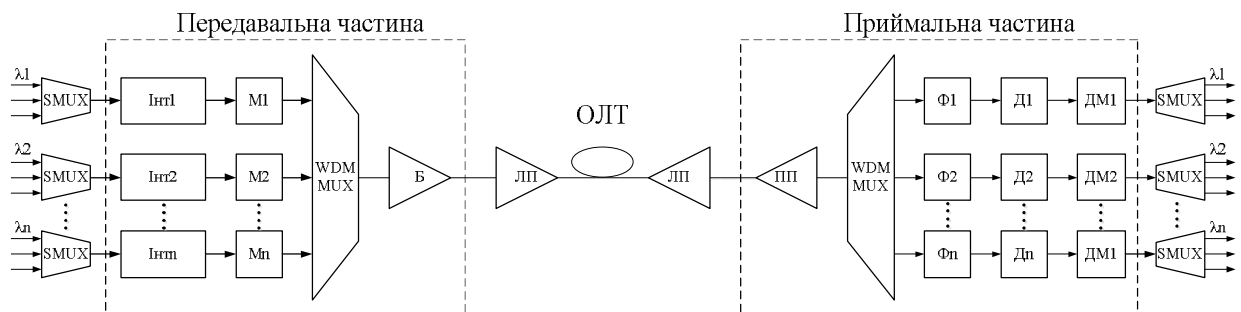


Рисунок 1.2 - Структурна схема оптичної мережі з WDM мультиплексуванням

У технології WDM немає багатьох обмежень і ускладнень, властивих технології TDM. Для систем WDM неважливим є формат даних, що передаються у відповідному сигналі. На відміну від SDH сигнал у груповому потоці WDM систем не піддається запаковуванню у спеціальні контейнери, тому у хвильовому потоці можна передати різноформатний трафік (див. рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 — WDM та формати даних

Відмінність технологій часового і спектрального (хвильового) мультиплексування, яка реалізується в сучасних системах синхронної цифрової ієрархії наведено на рисунку 1.4:

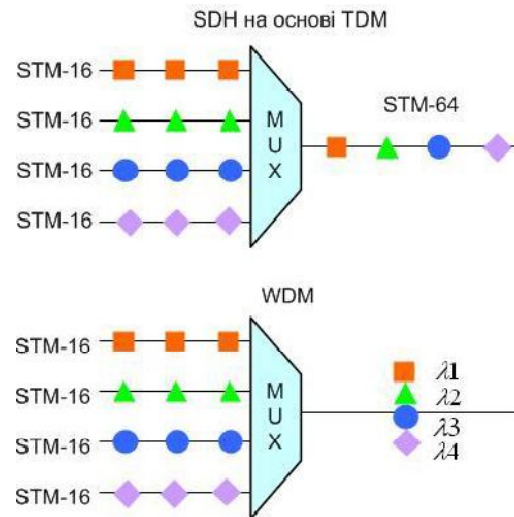


Рисунок 1.4 — Відмінність технологій мультиплексування

У системі WDM сигнали різних довжин хвиль, що генеруються одним (з перестроюванням) або декількома оптичними передавачами, поєднуються оптичним (хвильовим) мультиплексором у багатохвильовий груповий оптичний сигнал, що поширюється далі по одномодовому ОВ. На проміжних вузлах у лінії або мережі зв'язку деякі оптичні канали можуть бути додані або виділені з групового оптичного сигналу за допомогою OADM (Optical Add Drop Multiplexer – оптичного мультиплексору введення/виведення).

Технологія WDM поширена у вигляді таких різновидів [5]:

– власне системи з спектральним розділенням каналів – WDM (наприклад $\lambda_1=1310\text{нм}$, $\lambda_2=1550\text{нм}$, $\lambda_3=1490\text{нм}$ та $\lambda_4=1625\text{нм}$, відповідно);

- системи з нещільним (грубим) спектральним розділенням каналів CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing);
- системи з щільним спектральним розділенням каналів DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing);
- системи з надщільним спектральним розділенням каналів – HDWDM (High DWDM).

Технологія CWDM завдяки меншій вартості і складності знаходить все більш широке застосування у мережах України.

Рознесення каналів для сучасних DWDM становить 100 ГГц і вище (0,8 нм). Для CWDM розділення часто каналів становить 2500 ГГц, а довжин хвиль ~20 нм.

Поява оптичних підсилювачів та оптичних мультиплексорів введення/виведення OADM, котрі дають можливість маршрутизації, стимулювала розвиток повністю оптичних транспортних мереж – OTN (Optical Transport Network).

Розглянуті технології SDH та xWDM, мають низку системних недоліків, і зокрема якщо в системах SDH складно організувати ефективну роботу при передачі різноманітного трафіку, а також використання пропускної здатності ОВ є недостатньо ефективним, то xWDM має свої проблемні чинники:

- накопичення шумів, які внаслідок роботи оптичних підсилювачів впливають на параметр оптичного відношення сигнал/шум;
- в системах xWDM для керування мережею використовується спеціально створений оптичний контрольний канал OSC із окремою довжиною хвилі;
- на відміну від систем xWDM обробка вхідних сигналів в системах цифрової ієрархії дозволяє мультиплексувати і поєднувати сигнали від малошвидкісних додатків, що збільшує пропускну здатність мережі.

В технології OTN транспортування цифрових сигналів відбувається незалежно від типу, швидкості, протоколу, керування і інших особливостей клієнтських сигналів, що описано в рекомендаціях ITU-T G.872 та G.709.

Оптична транспортна ієрархія OTN дозволяє забезпечити роботу і керування оптичних мереж будь-якої архітектури (точка-точка, кільцева, змішана).

Ієрархія OTN являє собою ієрархічний набір транспортних структур, стандартизованих для транспортування відповідним чином адаптованих сигналів корисного навантаження по оптичним мережам передачі даних. Терміни фізичної структури OTN мережі показані на рисунку 1.5.

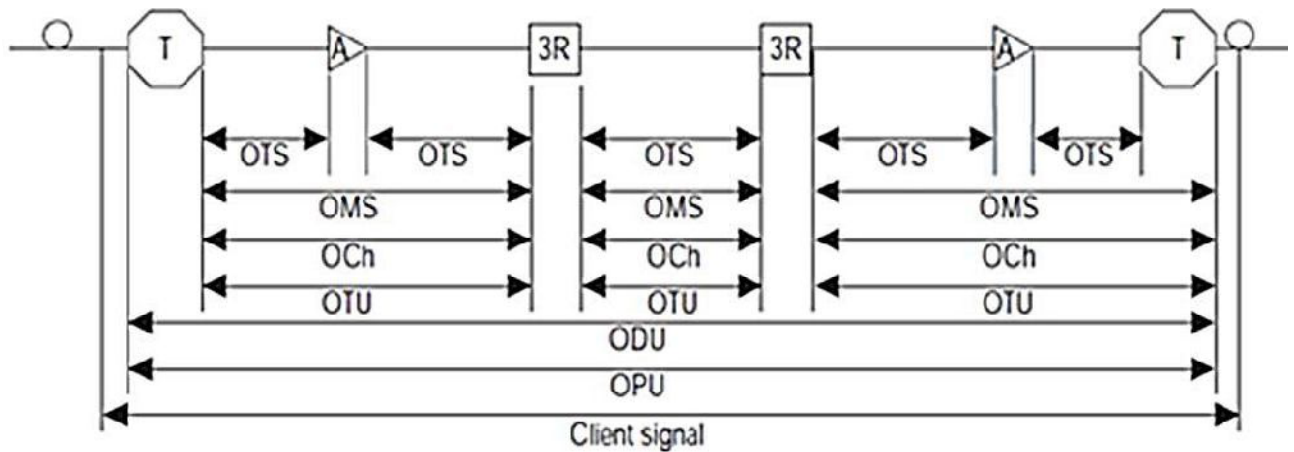


Рисунок 1.5 — Фізична структури OTN

Позначення на рисунку 1.5:

T - точка клієнтського доступу;

A - оптичне підсилення;

3R - точка 3R регенерації;

OTS - оптична транспортна секція (Optical Transmission Section);

OMS - оптична секція мультиплексування (Optical Multiplex Section);

OCh - оптичний канал (Optical channel), довжина хвилі,

OPU - блок корисного навантаження оптичного каналу (Optical payload unit);

ODU - блок даних оптичного каналу (Optical Data Unit);

OTU (Optical Transport Unit) - транспортний блок оптичного каналу.

У волоконно-оптичній мережі України сьогодні реалізовано та впроваджено технології DWDM та IP/MPLS. Але ці технології поки працюють здебільшого незалежно, їх спільна взаємодія та управління зараз є проблематичними.

Так, існуюча DWDM мережа сформована на базі працюючої волоконної мережі загальною протяжністю понад 30 тис. км. Мережеві вузли розташовані у обласних центрах та великих містах, забезпечуючи у кожному з регіонів

понад 80 точок введення-виведення інформаційного трафіку. Потенціал DWDM сьогодні не використовується повною мірою, оскільки у мережі передається трафік лише синхронних транспортних мереж SDH.

В Україні SDH технологія є основною технологією передавання даних у транспортних мережах. Технологія SDH забезпечує відносно простий процес мультиплексування із простим доступом до низькошвидкісних потоків каналу, що дозволяє легко підключати клієнтське обладнання та здійснювати крос-комутацію потоків, а також забезпечує можливість створення “прозорих” каналів передачі. Однак SDH погано підходить для передачі пакетного трафіку, зокрема через відсутність можливості гнучкого та масштабованого виділення каналів. При цьому також не використовується повною мірою пропускна здатність каналів, потрібно резервувати частину смуги на випадок відмов. Також технологія не здатна динамічно виділяти смугу пропускання під різні додатки та не має механізмів пріоритезації трафіку. Для передавання пакетного трафіку в транспортних мережах постає проблема її комутації та перетворення у фізичну форму.

Електрична комутація – досі єдиний спосіб виконання комутації на сублямбда-рівні. Майже 70 % всього трафіку, який надходить у вузол транспортної мережі, є транзитним (цей трафік призначений для іншого вузла) [8]. IP маршрутизатори змушені обробляти увесь транзитний трафік.

Як відомо, IP маршрутизатори для обробки кожного біта інформації витрачають чимало енергії [10]. Тому агрегація великих обсягів даних на рівні комутації без маршрутизації пакетів стала популярним рішенням у мережах з IP трафіком. В таких мережах пропонується використовувати технологію OTN. Результати останніх досліджень показують перевагу OTN комутації загалом і акцентують на необхідності інтеграції OTN та WDM інтерфейсів у тій самій апаратній платформі до 2016 р. [5]. І навіть більше, це дає можливість перейти на сіткову та частково сіткову топологію мережі, що дасть змогу постачальникам зекономити на дорогому мережевому обладнанні та підвищити захищеність мережі.

Комутація за технологією OTN пропонує гнучкість комутації в електричній формі. Комутація по довжинах хвиль, що виконується оптичними крос-конекторами, не може забезпечити комбінацію та розбиття різних класів трафіку. OTN комутація, з іншого боку, має змогу об'єднувати і розбивати сигнали від різних потоків на OTN рівні. Вона поєднує в собі швидкість комутації апаратного рівня з особливостями маршрутизації рівня IP, досягаючи високої продуктивності вузла. Особливість технології OTN полягає у тому, що комутуються блоки ODU. Як відомо, в стандарті OTN існує декілька швидкісних потоків. Такі потоки не відрізняються розміром фрейму чи його структурою, яка для всіх потоків однакова. Відмінність полягає у тривалості біта під час передавання, тобто швидкості передавання фрейму. У комутаторах OTN для комутації блоків ODU використовується стандартна матриця комутації. У більшості OTN комутаторів використовується високопродуктивна комутаційна фабрика.

Враховуючи особливості функціонування технології OTN та можливість її впровадження для інтеграції пакетного трафіку у транспортну DWDM мережу, необхідно запропонувати способи передавання даних та розподілу фізичних ресурсів і їх управління, що дозволить забезпечити передачу IP трафіку з різними параметрами якості обслуговування.

1.3 Аналіз властивостей волоконно-оптичних кабелів

1.3.1 Основні характеристики оптичних волокон і кабелів

Оптичне волокно і кабель характеризуються двома найважливішими параметрами: загасанням і дисперсією. Чим менше загасання (втрати) і чим менше дисперсія сигналу у волокні, тим більше може бути відстань між регенераційними ділянками або повторювачами [7].

Повне загасання у волокні (в дБ/км) визначається у вигляді суми:

$$\alpha = \alpha_{int} + \alpha_{rad} = \alpha_{abs} + \alpha_{sct} + \alpha_{rad} . \quad (1.1)$$

Втрати на поглинання α_{abs} складаються як з власних втрат в кварцовому склі (ультрафіолетове і інфрачервоне поглинання) та втрат, пов'язаних з поглинанням світла на домішках. Навіть незначні концентрації домішок приводять до появи піків на кривій втрат (див. р). Слід відзначити характерний максимум у районі довжини хвилі 1480 нм, який відповідає домішкам ОН- [9].

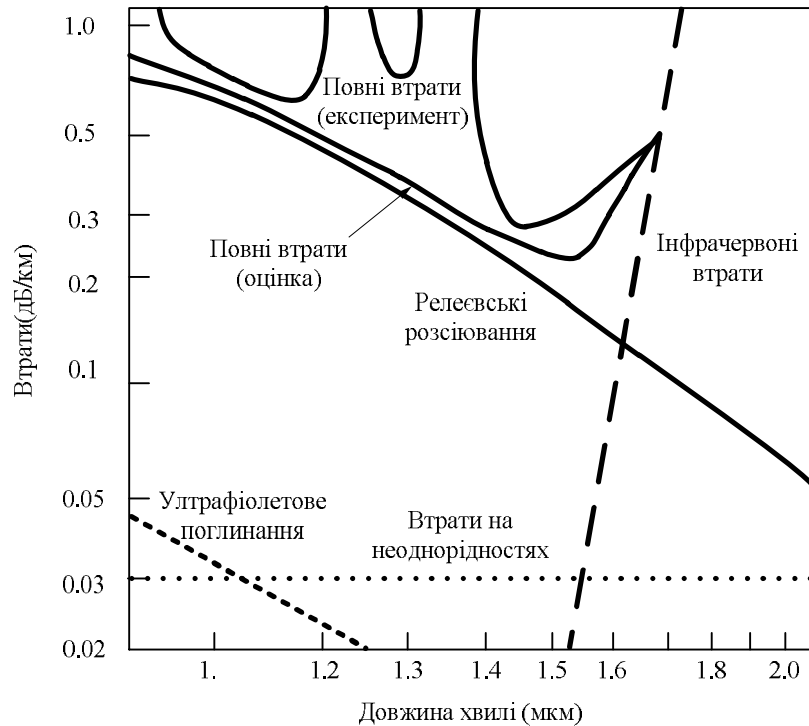


Рисунок 1.6 – Фактори, які впливають на загасання

Внутрішні втрати добре інтерполуються формулою:[10]

$$\alpha = K_{rel} \lambda^{-4} + \delta_{OH}(\lambda) + Ce^{-k/\lambda}, \quad (1.2)$$

де $\delta_{OH}(\lambda)$ відображає пік поглинання на домішках ОН з максимумом при 1480 нм, а перше і останнє складові відповідають Релеєвське розсіювання та інфрачервоному поглинанию відповідно ($K_{rel} = 0,8 \text{ мкм}^4 \cdot \text{дБ/км}$, $C = 0,9 \text{ дБ/км}$; $k=0,7-0,9 \text{ мкм}$; дані наведені для кварцу).

На рисунку 1.7 наводиться загальний вид залежності власних втрат із зазначенням мінімумів загасання в трьох вікнах прозорості 850, 1300 і 1550 нм, і піку поглинання на довжині хвилі 1480 нм для оптичних волокон [11].

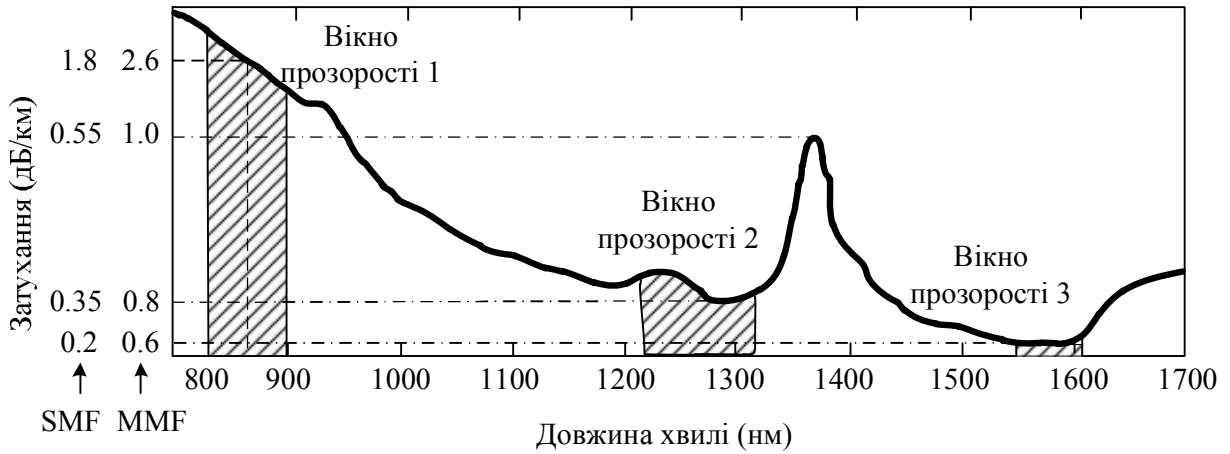


Рисунок 1.7 – Власні втрати в оптичному волокні

Кабельні (радіаційні втрати) α_{rad} обумовлені скручуванням, деформацією і вигинами волокон, що виникають при накладенні покриттів і захисних оболонок, виробництва кабелю, а також у процесі інсталяції ВОК. При дотриманні ТУ на прокладку кабелю номінальний внесок з боку радіаційних втрат становить не більше 20 % від повного загасання. Додаткові радіаційні втрати з'являються, якщо радіус вигину кабелю стає меншу від мінімального радіусу вигину, зазначеного у специфікації на ВОК.

Дисперсія – розширення імпульсів - має розмірність часу і визначається як квадратична різниця тривалості імпульсів на виході і на вході кабелю довжини формулою L по формулі:

$$\tau(L) = \sqrt{t_{out}^2 - t_{in}^2} \quad (1.3)$$

Дисперсію можна поділити на такі види (рис. 1.8):

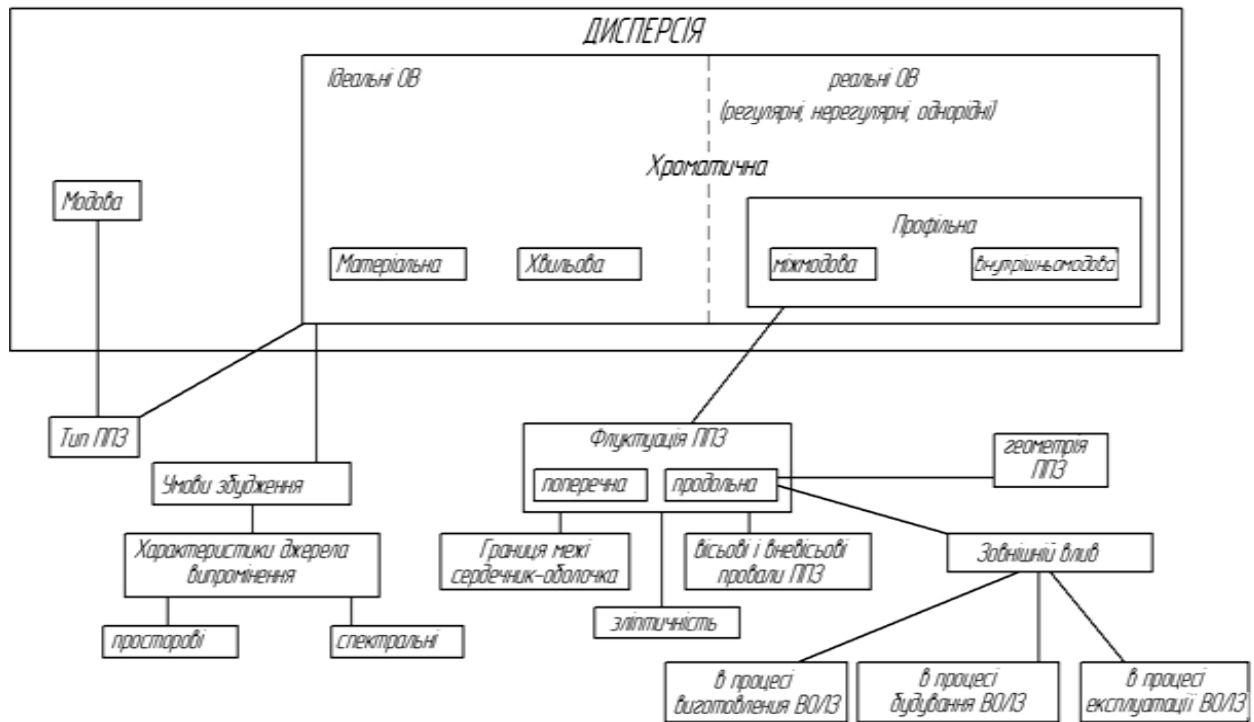


Рисунок 1.3 – Види дисперсії

Чим менше значення дисперсії, тим більший потік інформації можна передати по волокну. Результуюча дисперсія τ визначається з формули [13]:

$$\tau^2 = \tau_{\text{mod}}^2 + \tau_{\text{chr}}^2 = \tau_{\text{mod}}^2 + (\tau_{\text{mat}} + \tau_w)^2 \quad (1.4)$$

Міжмодова дисперсія виникає внаслідок різної швидкості поширення у мод, і має місце тільки в багатомодовому волокні.

Хроматична дисперсія складається з матеріальної і хвилеводної складових і має місце при поширенні, як у одномодовому, так і в багатомодовому волокні.

Матеріальна дисперсія обумовлена залежністю показника заломлення волокна від довжини хвилі. У вираз для дисперсії одномодового волокна входить диференційна залежність показника заломлення від довжини хвилі:[14]

$$\tau_{\text{mat}} = (\Delta\lambda, L) = \Delta\lambda \cdot L \cdot \frac{\lambda}{c} \frac{d^2 n_1}{d\lambda^2} = \Delta\lambda \cdot L \cdot M(\lambda). \quad (1.5)$$

Хвилеводна дисперсія обумовлена залежністю коефіцієнта поширення моди від довжини хвилі:

$$\tau_w = (\Delta\lambda, L) = \Delta\lambda \cdot L \cdot 2n_1^2 \Delta / c\lambda = \Delta\lambda \cdot L \cdot N(\lambda), \quad (1.6)$$

де введені коефіцієнти $M(\lambda)$ і $N(\lambda)$ – питомі матеріальна і хвильова дисперсії відповідно, а $\Delta\lambda$ нм - розширення довжини хвилі внаслідок некогерентності джерела випромінювання. Результуюче значення коефіцієнта питомої хроматичної дисперсії визначається як

$$D(\lambda) = M(\lambda) + N(\lambda). \quad (1.7)$$

Хроматична дисперсія пов'язана з питомою хроматичною дисперсією простим співвідношенням

$$\tau(\lambda) = D(\lambda) \cdot \Delta\lambda, \quad (8)$$

де $\Delta\lambda$ - ширина спектру випромінювання джерела. До зменшення хроматичної дисперсії веде використання більш когерентних джерел випромінювання.

Таблиця 1. 1 – Опорний коефіцієнт поляризаційної модової дисперсії, при якому забезпечується необхідний рівень помилок по бітам

Швидкість передачі	Максимальна затримка PMD, пс	Коефіцієнт PMD для ОВ довжиною 400 км, пс/км
2,5	40	2
10	10	0,5
20	5	0,25
40	2,5	0,125

Додаткове загасання, обумовлене кабельними втратами (α_D), складається із суми, принаймні, семи видів парціальних коефіцієнтів загасання:

$$\alpha_D = \sum_{i=1}^7 \alpha_i, \quad (1.9)$$

де α_1 – виникає внаслідок дії на оптичне волокно термомеханічних впливів у процесі виготовлення кабеля;

α_2 – виникає внаслідок температурної залежності коефіцієнта заломлення матеріалу оптичного волокна (ОВ);

α_3 – обумовлено мікрОВИГИНАМИ ОВ;

α_4 – виникає внаслідок порушення прямолінійності ОВ (скрутка);

α_5 – виникає внаслідок крутіння ОВ щодо його осі (осьові напруги скручування);

α_6 – виникає внаслідок нерівномірності покриття ОВ;

α_7 – виникає внаслідок втрат у захисній оболонці ОВ.

Залежність втрат на загасання від мікрОВИГИНІВ α_3 можна визначити з виразу [4]:

$$\alpha'_3 = k_3 N_H y_H^2 \frac{r_{серц}^4}{\Delta^3 b^6} \left(\frac{E_n}{E_c} \right)^{3/2}, \quad (1.10)$$

де $k_3 = 0,9 \text{ К } 1,0$.

N_H – кількість неоднорідностей у вигляді опуклостей із середньою висотою y_H на одиницю довжини;

$r_{серц}$ – радіус осердя;

b – діаметр покриття світловода;

Δ – відносна зміна профіля показника заломлення;

n_1 і n_2 – показники заломлення осердя й оболонки;

E_n і E_c – параметри, що визначають механічні напруги у світловоді.

Крім мікрОВИГИНІВ у кабелях можливі макрОВИГИНИ. Втрати, що виникають при цьому, розраховуються по наступній формулі:

$$\Pi = 10 \lg \left(\frac{n_c^2 - n_n^2}{n_c^2 - \frac{(R+1)^2}{(R-1)^2} n_n^2} \right), \quad (1.11)$$

де параметр R визначимо зі співвідношення $R = \frac{R_{виг}}{r_{серц}}$, де $R_{виг}$ – радіус

вигину світловода (у багато разів більше $d_{св}$).

Отже, при використанні нового ОК з поліпшеними технічними характеристиками з'являються перспективи збільшення кількості оптичних

каналів, збільшення граничної швидкості передачі (до 40 Гбіт/с), а також кількості оптичних волокон відповідно. Перспективним є перехід від електронних компонентів до повністю оптичних. На відміну від електронних компонентів, параметри більшості оптичних компонентів не залежать від швидкості передачі даних та дозволяють робити комутацію на оптичному рівні без перетворення сигналу. Для застосування нових технологій ущільнення каналів, наприклад, по довжинах хвиль (WDM, CWDM, DWDM) достатньо лише замінити термінали в лінії з оптичними підсилювачами. Особливо привабливий останній підхід до збільшення пропускної спроможності магістральних мереж передачі даних, як найбільш перспективний, в порівнянні із заміною ОК і переходом на наступний щабель ієрархії ЦСП.

1.3.2 Аналіз волоконних кабелів спеціального призначення

Оптичні кабелі зв'язку залежно від ознак розділяють на:

- групи за призначенням і умовами застосування;
- підгрупи за способом прокладки (стаціонарний С, нестаціонарний Н) і конструктивними і технологічними особливостями;
- види - за кількістю ОВ (n) електричних жил (м).

До волоконних кабелів спеціального призначення відносять підводні герметизовані оптичні кабелі. Вони мають складну конструкцію. При розробці необхідно враховувати вимоги, які пред'являються до польових кабелів зв'язку, умови поперечної і поздовжньої герметизації, а також можливість працездатності при значному зовнішньому гідростатичному тиску (до 60 МПа, глибина занурення 6 км).

Для прокладки в судах надводного флоту рекомендується використовувати ОК із звичайними гідрофобними заповненнями. У комплексі з застосуванням блокуючих воду матеріалів може бути забезпечена поздовжня герметизація ОК при гідростатичному тиску 4 МПа. Для герметизованих ОК характерними є висока міцність, гнучкість, стійкість до крутіння, ударів, вібрації, солоної води й ін.

Для прокладки в судах підводного флоту використовують ОК іншої конструкції. У цих кабелях застосовуються багатомодові ОВ з коефіцієнтами загасання до 10 дБ / км і шириною смуги пропускання не менше 200 МГц·км. Герметичність досягається за рахунок використання спеціальних герметичних складів на основі полівінілхлориду, етилену тощо. Поздовжнє протікання на ділянці ОК довжиною 2 м в аварійному режимі при максимальному гідростатичному тиску не перевищує 500 см³ протягом 2 ч.

Для буксування гідроакустичних антен застосовують плавучий ОК на основі багатомодового ОВ, який забезпечує загасання до 10 дБ/км при робочому навантаженні на розтяг до 2 т із розривним зусиллям до 6 т.

До оптичних кабелів спеціального призначення відносять вогнестійкі і пожежостійкі кабелі. Вогнестійкі кабелі зберігають працездатність в умовах відкритого полум'я (пожежі). До пожежостійких кабелів відносять конструкції, що забезпечують непоширення горіння. Для цього в якості оболонок (а в деяких випадках і ізоляції) застосовувалися спеціальні полімерні електроізоляційні матеріали.

За кордоном розробкою спеціальних типів полімерів для пожежостійких кабелів і їх конструкцій займаються Degussa Huls AG, Alcatel Kabel AG & Co (Німеччина), Lucent Technology (США) та інші фірми [10].

Сучасні конструкції ОК витримуєть випробування на вогнестійкість відповідно до вимог МЕК 331 (вплив температури 750 ° С протягом 3 год).

Пожежостійкі оптичні кабелі для прокладки у вентиляційних каналах повинні витримувати температуру від -40° до 70°С, 25 циклів ударів, механічну напругу (100-300 Н·см), міцність на розрив 1320-4450 Н.

До спеціальних оптичних кабелів відносять також ОК для дистанційного керування. Використовуються конструкції морських ОК для гідробуїв та керованих торпед. Ці ОК характеризуються високою міцністю (витримують значні статичні і динамічні навантаження), мають гнучкість, збалансовану до виникнення крутного моменту та малий діаметр.

До спеціальних ОК поряд з іншими вимогами висувають підвищені вимоги до механічної стійкості (при довжині кабелю 5-10 км зусилля розтягу

повинні досягати 2,5-3 кН). Поставлену задачу вирішують, вводячи в сердечник і кордель додаткові армувальні елементи.

В Україні виробництво окремих видів оптичних кабелів спеціального призначення здійснюється на підприємстві «Одескабель» відповідно до ТУ та міжнародних вимог ІЕС.

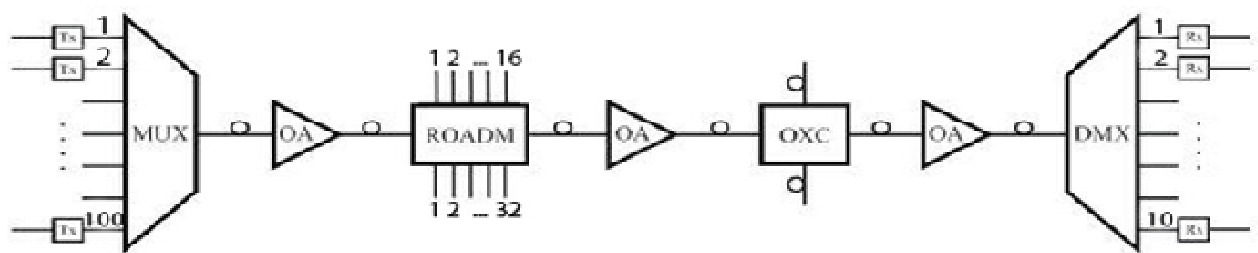
1.4 Висновки до розділу 1

Проведений у розділі аналіз показав, що створення оптичної транспортної мережі спеціального призначення в Україні на базі волоконно-оптичної системи передачі дозволяє використовувати весь потенціал сучасних інформаційних технологій з урахуванням постійно зростаючих потреб у смузі пропускання інформаційних каналів, надаючи можливість налагодити ефективне та захищене функціонування такої мережі. У якості базової технології OTN мережі обираємо конвергенцію технологій хвильового мультиплексування CWDM та IP/MPLS з використанням фотонних комутаторів на базі спеціального військового тактичного волоконно-оптичного кабелю із відповідними додатковими засобами захисту від несанкціонованого доступу.

1 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

2.1 Обґрунтування вибору архітектури і засобів мультиплексування

Для проекту оптичної транспортної мережі спеціального призначення пропонується структурна схема багатохвильового лінійного оптоволоконного тракту V типу, наведена на рис.2.1.



MUX/DMX – Мультиплексор/демультиплексор
ROADM – Мультиплексор введення/виведення

OA – Оптичний підсилювач
OXC – Оптичний крос-комутатор

Рисунок 2.1 – Оптичний лінійний тракт мережі

Для мультиплексування обираємо обладнання технології CWDM, набору частот якого за попередніми розрахунками вистачить для забезпечення потрібної смуги частот мережі. Сітка частот CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing), грубе мультиплексування з поділом по довжині хвилі, визначена рекомендацією ITU-T G.694.2, яка визначає інтервал між сусідніми оптичними несучими довжин хвиль у 20 нм (стандартні довжини хвиль передачі: 1271 нм, 1291 нм, ..., 1611 нм).

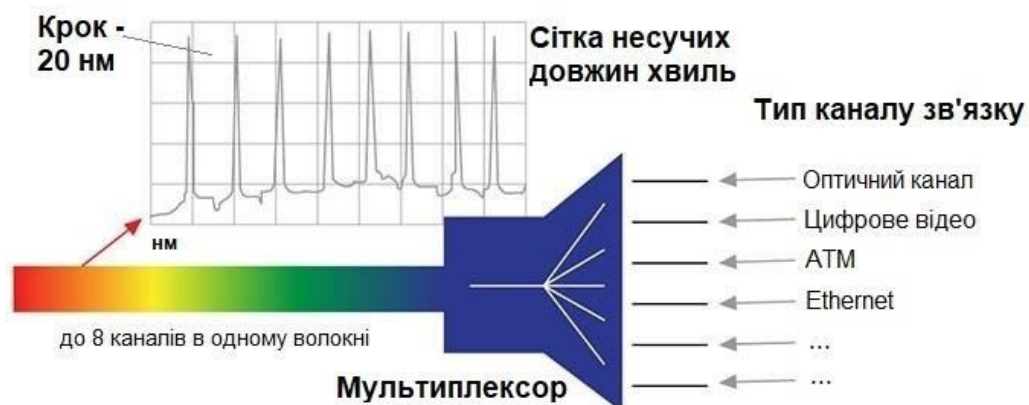


Рисунок 2.2. Узгодження CWDM з оптичною транспортною мережею [10]

Ущільнення створює до 8 логічних пар каналів, використовуючи різні довжини хвиль, по одному волокну. Це дозволяє утворювати будь-яку комбінацію сервісів по одному кабелю. CWDM є кращим рішенням при побудові каналів протяжністю до 80 км. Як правило, до цієї категорії належать лінії зв'язку між вузлами доступу і комутаційними центрами мережі провайдера.

CWDM системи є складовою транспортної мережі зв'язку і встановлюються між двома або більше вузлами зв'язку. Для того, щоб забезпечити роботу такої системи, на вузлі зв'язку потрібна наявність активного мережевого обладнання з достатньою сумарною кількістю портів для встановлення SFP-трансверів (Small Form-factor Pluggable). Подібним мережевим обладнанням зазвичай є комутатори і маршрутизатори. У випадку дефіциту обладнання з необхідною сумарною кількістю SFP портів, можливе використання медіаконверторів зі слотами під CWDM SFP-трансверів.



Рисунок 2.3. CWDM SFP трансверів [9]

SFP – загальноприйнятий формат виробництва переставних трансверів, які широко використовуються в активному мережевому обладнанні: маршрутизатори, комутатори, медіаконвертери. Лазери з розподіленим зворотнім зв'язком DFB, які використовуються в системах CWDM, не вимагають температурної стабілізації, громіздких та складних схем керування, та водночас є невеликими та економічними. Типовий DFB-лазер у складі SFP

трансивера має температурну стійкість, яка допускає коливання сформованої довжини хвилі в діапазоні 6-8 нм в проміжку температур від 0 °С до 70 °С.

SFP трансивери призначені для формування «основних несучих» оптичних сигналів з діапазону грубого спектрального ущільнення: від 1270 до 1610 нм з кроком 20 нм. Кожен пристрій працює на двох волокнах і, на відміну від стандартних двоволоконних трансиверів, має дві різні довжини хвилі з двох вікон прозорості – передатчик на одній, отримувач на іншій. При створенні лінії передачі у системі CWDM SFP, приймально-передавальні пристрої встановлюються "попарно" типу 1 і типу 2 (Type 1 та Type II).

SFP трансивери відрізняються по відстаням роботи (потужності сигналу). У рішеннях CWDM, стандартний кілометраж знаходиться на позначках у 10 км, 20 км, 40 км та 80 км [7].

2.2 Обґрунтування вибору елементної бази SFP трансиверів

Загальні вимоги до передавачів SFP трансиверів: λ випромінювання джерела повинна збігатися з одним з спектральних діапазонів CWDM; конструкція джерела повинна забезпечувати досить високу потужність вихідного випромінювання і ефективний введення його в ОВ; джерело повинен мати високу надійність і великий термін служби; габаритні розміри, маса і споживана потужність повинні бути мінімальними; простота технології повинна забезпечувати невисоку вартість і високу відтворюваність характеристик.

Джерелами випромінювання в оптичних трансиверах є напівпровідникові світловипромінюючі діоди (СІД) або лазери. Порівняння характеристик деяких з них наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Параметри СІД і ЛД

Параметр	СІД	FP	DFB	VCSEL
Довжина хвилі, нм	850/1310	1310/1550	1310/1550	1310/1550
Потужність на стику з ОВ, дБ	-10...-15	0	-1...2	0
Спектральна ширина лінії, нм	30-60	<3	<0.1	<1
Максимальна швидкість, Гбіт/с	<0.155	>2	>10-40	10
Тип волокна	MMF	SMF, NZDSF	SMF, NZDSF	SMF
Ціна	Низька	Помірно висока	Висока	Помірна
Час напрацювання на відмову, год	10^9	10^8	10^8	10^8

При швидкостях передачі інформації $V=2,5$ Гбіт/с і вище необхідно використовувати лазери з розподіленим зворотнім зв'язком (DFB), в яких забезпечується ефективна селекція мод і звуження спектру випромінювання.

При проектуванні оптичної системи передачі на 10 Гбіт/с і $\lambda=1550$ нм в якості джерела краще використовувати DFB лазери, наприклад фірми Nel-NLK3C8CAKB тому, що: працює в необхідному оптичному діапазоні і забезпечує в ньому потужність 1 дБм; даний тип лазера має вузький спектр випромінювання ($\lambda < 0.1$ нм); має високий рівень придушення бічних мод (35 дБ); максимальна швидкість передачі 10 Гбіт/с; даний тип лазера має інтегрований в корпус електро-абсорбційний модулятор, що дає вигоду у комбінації лазер – модулятор за ціною і робить систему компактнішою.[19]

У таблиці 2.1 приведено різні типи лазерних модулів та їхні характеристики.

Таблиця 2.2 – Порівняння лазерних модулів

Характеристики	Тип лазерного модуля		
	JDSU 54TM- 3XYZ	CyOptics D2500	Nel NLK3C 8CAKB
Діапазон робочих довжин хвиль, нм	1500-1580	1530- 1570	1530- 1565
Потужність випромінювання, дБм	-1.5...2	1	-1...2
Пороговий потік накачки, мА	20...50	12...50	15...30
Опір терморезистора, кОм	15	10	10
Максимальний струм мікрохо- лидильника, А	1	1	1.2
Рівень подавлення бічних мод, дБ	30	30	35
Час наростання, спаду (по рівням 20/80%), пс	150	130	125
Максимальна швидкість передачі, Гбіт/с	2.5	2.5	10

2.3 Розрахунок довжини ділянки регенерації

Складемо рівняння енергетичного балансу:[24]

$$E = \alpha_k \cdot L_{op} + \alpha_{pz} \cdot n_{pz} + \alpha_{nz} \cdot n_{nz} + \alpha_{mz} + \alpha_{zz}, \quad (2.1)$$

де E – енергетичний запас системи;

α_k – кілометричний коефіцієнт загасання ОВ (0,22 дБ/км);

α_{pz} – коефіцієнт загасання роз'ємних з'єднань (0,5дБ);

n_{pz} – кількість роз'ємних з'єднань, по одному на вході і виході ОВ;

α_{nz} – коефіцієнт загасання нероз'ємних з'єднань, місця зварки світловодів (0,4 дБ);

n_{nz} – кількість нероз'ємних з'єднань;

α_{mz} – коефіцієнт затухання через макровигини(0,5дБ);

α_{zz} – запас по затухання (3...5дБ);

L_{op} – ділянка регенерації

Кількість нероз'ємних з'єднань знаходиться за формулою:

$$n_{нз} = \frac{L_{dp}}{L_{бyд}} + 1, \quad (2.2)$$

де $L_{бyд}$ – довжина кабелю на барабані.

Підставивши формулу (2.15) в формулу (2.14) можна визначити максимальну довжину регенераційної ділянки по загасанню:

$$L_{pд} = \frac{E - \alpha_{pz} \cdot n_{pz} - \alpha_{нз} - \alpha_{мз} - \alpha_{зз}}{\alpha_{к} + \alpha_{нз} / L_{бyд}} \quad (2.3)$$

Енергетичний запас системи передачі визначається максимально можливими рівнями сигналу на передаючому та приймальному кінці:

Енергетичний запас по параметрам роботи приймального та передавального пристроїв $E=21$ (дБ).

тоді:

$$L_{pд} = \frac{21 - 0,5 \cdot 2 - 0,4 - 0,5 - 4}{0,22 + 0,4 / 6,4} = 53,45 \text{ км}$$

Таким чином довжина регенераційної ділянки з врахуванням кілометричних втрат складає 53 км.

Розрахунок дисперсійних характеристик ОВ на регенераційній ділянці. Довжина регенераційної ділянки Волп обмежується не тільки загасанням, а й дисперсією лінії передачі. Допустимі значення хроматичної та поляризаційної модової дисперсії на регенераційній ділянці ВОЛП залежать від швидкості передачі лінійної кодової послідовності. У разі застосування коду NRZ і модуляції без чірпа відповідно до рекомендацій ІТУ-Т максимально допустимі для РД значення хроматичної дисперсії $D_{pд}$ в пс/нм та поляризаційної модової дисперсії $PMD_{pд}$ в пс при погіршенні відношення ОСШ не більше, ніж на 1,0 дБ, визначаються за формулами

$$D_{pд} = 1040000 / B^2 . \quad (2.4)$$

$$PMD_{pд} = 140 / B . \quad (2.5)$$

де B – швидкість передачі в лінії, Гбіт/с.

Приведено до одного кілометру довжини лінії передачі значення хроматичної дисперсії ОВ визначаються за формулою:[25]

$$D_{xp} = D_{ov} \cdot \Delta\lambda = 18 \cdot 0,1 = 1,8 \text{ пс}/(\text{нм} \cdot \text{км}) \quad (2.6)$$

де D_{ov} – значення параметра дисперсії оптичного волокна, визначеного по його технічним даним, пс/(нм·км); $\Delta\lambda$ – ширина лінії випромінювання лазера, нм.

Прогнозоване значення хроматичної дисперсії на регенераційній ділянці визначається відповідно таким чином:

$$D_{p\partial} = D_{xp\partial} \cdot L_{p\partial} = 1,8 \cdot 53 = 96,212 \text{ пс}/(\text{нм} \cdot \text{км}) \quad (2.7)$$

А прогнозовані значення поляризаційної модової дисперсії розраховуються по формулам:

$$PMD_{p\partial} = PMD_{xp\partial} \cdot L_{p\partial} \cdot \Delta\lambda = 0,2 \cdot 0,1 \cdot 53 = 10,69 \text{ пс}/\text{км} \quad (2.8)$$

Прогнозоване середньоквадратичне значення дисперсії на номінальній ділянці розраховується по формулі:

$$\sigma = \sqrt{D_{p\partial}^2 + PMD_{p\partial}^2} = \sqrt{96,21^2 + 10,69^2} = 96,8045 \text{ пс}/\text{км} \quad (2.9)$$

Знаючи значення дисперсії можна знайти величину дисперсійних спотворень світловода.

В апаратурі застосовується інтерфейс STM-64 10 Гбіт/с, яка має кодування 8В/10В, що відповідає частотній модуляції, при коефіцієнті модуляції $10/8=1,25$ [12]:

$$F_M = 9,9 \cdot 10^3 \cdot 1,25 = 1,237 \text{ ГГц}$$

$$\tau = \Delta \cdot \sigma \quad (2.10)$$

де $\Delta\lambda$ – ширина імпульсу лазера, 0,1 нм

$$\tau = 0,1 \cdot 96,8 = 9,68 \text{ пс}/\text{км}$$

Звідси знаючи величину дисперсії можна визначити значення смуги пропускання:

$$W = 0,44 / \tau \quad (9)$$

Отримавши значення дисперсійних викривлень знаходимо смугу пропускання:

$$W = \frac{0,44}{9,68 \cdot 10^{-9}} = 4,5452 \cdot 10^7 \text{ Гц} \cdot \text{км}$$

$$L = \frac{4,5452 \cdot 10^7}{1,237 \cdot 10^4} = 3672,9 \text{ км}$$

За стандартом 10GBASE-LR для 10-Гігабітної лінії відстань регенераційної ділянки від 10 до 40 кілометрів. Так як ця довжина менша за розраховані ділянки з врахуванням загасання і врахуванням дисперсії, відстань між підсилювачами візьмемо рівною $L=40$ км.

Основним елементом волоконно-оптичного кабелю є волоконно-оптичний світловод, через який поширюється випромінювання. Світловод складається з сердечника і оболонки, найчастіше для цих виготовлення яких використовується плаваний кварц. Сердечник має показник заломлення матеріалу n_1 і діаметр D , а оболонка n_2 і d відповідно. Для поширення випромінювання по волокну необхідно виконання умови $n_1 > n_2$ [9].

Для того, щоб в волоконному світловоді існував одномодовий режим (саме він використовується у швидкісних системах передачі), необхідно виконання умови [8]:

$$V = \frac{\pi \times d \times NA}{\lambda} \leq 2,405,$$

де d – діаметр сердечника світловоду;

λ – довжина хвилі випромінювання;

NA – числова апертура волоконного світловоду.

Для одномодового світловоду, відповідно рекомендаціям ІТУ-Т, величина $\Delta n = 0,0025$ для довжини хвилі 1,55 мкм, та показником заломлення серцевини $n_1 = 1,52$.

Визначимо значення показника заломлення оболонки n_2 :

$$n_2 = n_1 - \Delta n \times n_1 = 1,52 - 0,0025 \cdot 1,52 = 1,516 .$$

Визначимо апертуру світловоду:

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \sqrt{(1,52)^2 - (1,516)^2} = 0.1074.$$

За рекомендаціями ІТУ-Т, діаметр сердечника одномодового волоконного світловода лежить в межах від 8 до 10 мкм, а діаметр оболонки дорівнює 125 мкм.[9]

Визначимо значення нормованої частоти по формулі, при $\lambda = 1,55$ мкм:

$$V = \frac{3,4 \times 10 \times 10^{-6} \times 0,1074}{1,55 \times 10^{-6}} = 2,1771 .$$

Оскільки $V < 2,405$, умова одномодової передачі виконується.

Таким чином, в волоконному світловоді з параметрами: $n_1 = 1,52$, $\Delta n = 0,0025$, $NA = 0,1074$, $a = 10$ мкм, $b = 125$ мкм і робочій довжині хвилі $\lambda = 1,55$ мкм буде існувати одномодовий режим.

Розрахунок довжини регенераційної ділянки по дисперсії ґрунтується на такому параметрі, як максимальна допустима дисперсія оптичного кабелю, тобто $L \cdot \tau_{\text{хр}}$. Допустима дисперсія оптичного кабелю прямо пропорційно залежить від довжини оптичного волокна [8].

$$L_d \leq [1 / (4BW \cdot D(\lambda) \cdot \Delta\lambda)]$$

де BW - максимальна швидкість передачі ВОЛЗ, $10 \left(\frac{\text{Гбіт}}{\text{с}} \right)$, максимальна пропускна здатність світловода, $\Delta\lambda$ - ширина спектра (для VCSEL лазера для для технології CWDM $\Delta\lambda = 1$ нм), $D(\lambda)$ - питома хроматична дисперсія (питома

дисперсія стандартного SMF-28 світловода для довжини хвилі 1550 нм
 $0,525 \left(\frac{\text{пс}}{\text{нм} \cdot \text{км}} \right)$.

Таким чином,

$$L_d \leq [1/(4BW \cdot D(\lambda) \cdot \Delta\lambda)] = 47,7 \text{ км.}$$

Отже, довжина регенераційної ділянки по дисперсії становить 47,7 кілометрів.

Розрахунок регенераційної ділянки за втратами здійснюватимемо за рекомендацією ITU-TG.655:

$$L_B = \frac{P_S - P_R - P_D - M_e - (N-1) \cdot l_3 - N_3 \cdot l_{зр}}{\alpha_c + \alpha_m}$$

де P_S - рівень потужності передавача в точці підключення апаратури і лінії; P_R - рівень потужності приймача в точці підключення апаратури і лінії; P_D - потужність (рівна 2 дБм) дисперсійних втрат; M_e - енергетичний запас на старіння обладнання (різниця максимального і мінімального рівнів потужності передачі); N - число будівельних довжин кабелю; l_3 - втрати потужності на нероз'ємних стиках кабелю; N_3 - число рознімних стиків (2 або 4 стики на ділянці секції регенерації); $l_{зр}$ - втрати потужності на рознімних стиках; α_c - кілометрове загасання кабелю на заданій довжині хвилі; α_m - запас на пошкодження (0,05 дБ/км). Будівельна довжина кабелю приймається в розрахунках від 4 до 6 км[9].

Розрахуємо максимальну та мінімальну потужність на виході передатчика, з урахуванням потужності підсилювача.

$$P_S = 17,5 + 0,5 = 18 \text{ (дБм)}$$

$$p_{min} = 17,5 - 2 = 15,5 \text{ (дБм)}$$

Тоді

$$M_e = 18 - 15,5 = 2,5 \text{ (дБм)}$$

Кілометрове загасання кабелю для обраного волокна на довжині хвилі 1550нм рівна $\alpha_c = 0,22$ (дБ/км), а також відомі й інші параметри $l_3 = 0,05$ (дБ), $l_{зр} = 0,1$ (дБ). У кожного фотоприймача є мінімальний поріг чутливості, нижче якого, фотоприймач фіксувати інформацію вже не буде $P_R = -20$ (дБм). Будівельна довжина кабелю 6 (км), то розрахуємо довжину регенераційної ділянки без втрат:

$$L_B = \left[\frac{18 + 20 - 2 - 2,5}{0,3 + 0,05} \right] = 95,7 \text{ (км)}$$

Розрахуємо число будівельних ділянок:

$$N = \left] \frac{96}{6} \right[= 16 \text{ (ділянок)}$$

Перерахуємо регенераційну ділянку з врахуванням втрат за формулою (2.11):

$$L_{рд} = \left[\frac{18 + 20 - 2 - 2,5 - 16 \cdot 0,05 - 4 \cdot 0,1}{0,3 + 0,05} \right] = 82 \text{ (км)}$$

Таким чином довжина ділянки становить 82 км з урахуванням допустимих втрат оптичної потужності.

Розрахунки довжини регенераційної ділянки показали що вибрані елементи транспортної системи передачі, а також параметри ОК забезпечують виконання усіх вимог щодо забезпечення організації якісного зв'язку.

2.4 Вибір оптичного кабелю спеціального призначення

Для роботи оптичної транспортної мережі спеціального призначення із заданими технічними характеристиками обираємо військовий польовий 8-жильний оптичний кабель (кількість жил обрано з урахуванням виконання розподільчої функції ВОЛЗ на заданій проміжку) марки ОКЛКК компанії Одескабель. Кабель типу ОКЛКК призначений для експлуатації при підвищених вимогах до стійкості до механічних впливів при прокладці ручним або механізованими способами безпосередньо в ґрунтах всіх категорій, в тому числі в районах з високою корозійною агресивністю і територіях, заражених гризунами, в районах сипучих ґрунтів і ґрунтових зсувів, з активними проявами мерзлотних ґрунтових і сейсмічних процесів, через болота, озера, сплавні і судноплавні річки глибиною до 50 метрів.

Конструкцію кабелю наведено на рисунку 2.4.

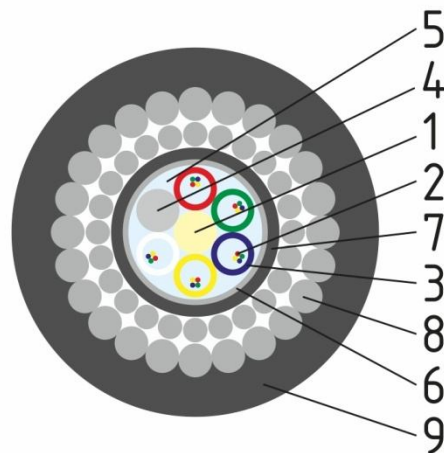


Рисунок 2.4 - Конструкція ОКЛКК [19]: 1 - центральний силовий елемент, 2 - оптичні волокна (ITU-T G.652D), 3 - оптичний модуль, 4 - кордель, 5 - гідрофобний заповнювач, 6 - скріплюча обмотка, 7 - проміжна оболонка, 8 - бронепокрів, 9 - зовнішня оболонка

2.5 Висновки до розділу 2

У розділі проведено обґрунтування вибору елементної бази для проектування архітектури оптичної транспортної мережі спеціального

призначення, зокрема SFP трансиверів. Здійснено розрахунок характеристик лазерів для трансиверів, дисперсії та втрат у магістральному волоконному світловоді, інших елементах оптичної транспортної мережі. Проведено аналіз енергетичного балансу системи, виходячи з якого розраховано максимальну довжину регенераційної ділянки та кількість необхідних оптичних підсилювачів (2) для заданої довжини ділянки ВОЛЗ з урахуванням технології CWDM – мультиплексування.

Проведено вибір елементної бази волоконного каналу зв'язку спеціального призначення. Для забезпечення особливих вимог системи обрано польовий броньований 8-жильний волоконно-оптичний кабель ОЛКК компанії Одескабель.

Також зроблено модельний розрахунок параметрів таких пристроїв, які задовольняють вимогам проектованої мережі.

3 АНАЛІЗ ОПТИЧНОГО ЛІНІЙНОГО ТРАКТУ ТА ТЕХНОЛОГІЙ КОМУТАЦІЇ

3.1 Розробка структури оптичної транспортної мережі спеціального призначення

Аналізуючи отримані у розділі 2 МКР результати, можна побудувати узагальнену схему оптичної транспортної мережі.

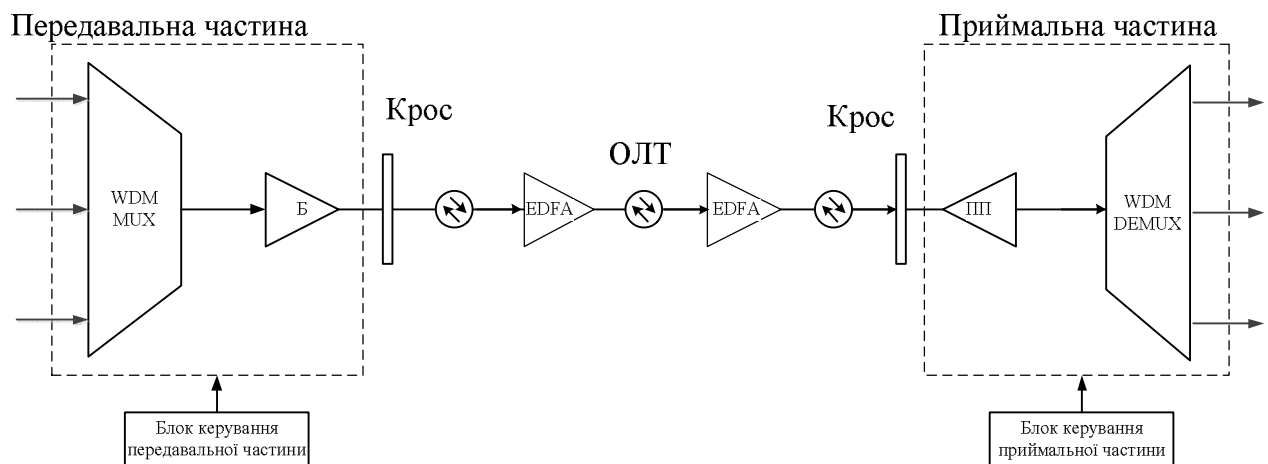


Рисунок 3.1 – Узагальнена схема волоконно-оптичного каналу зв'язку
У схемі потрібно використовувати два оптичних підсилювача EDFA.

3.2 Аналіз технології оптичної комутації мережі

Режим комутації мережі відбувається на OTN рівні, що дозволяє чітко розділити процеси обробки та комутації інформації. Рис. 3.3 ілюструє, як комутатор OTN, розташований між оптичним крос-конектором та IP маршрутизатором у вузлі мережі, здійснює комутацію OTN фреймів на основі модифікованої MPLS мітки замість комутації окремих пакетів.

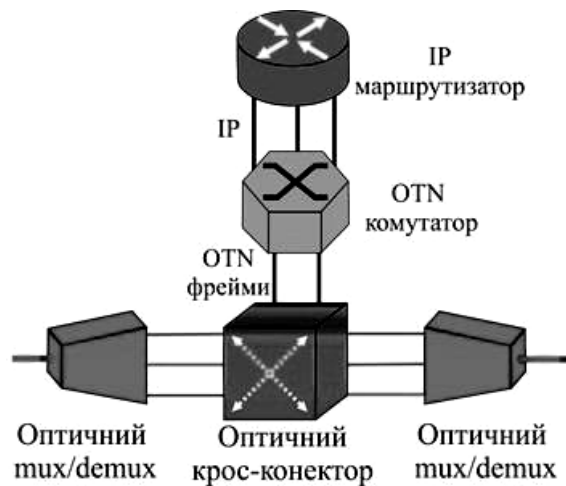


Рисунок 3.3. Принцип OTN комутації

Для створення комутувальних елементів в сучасних оптичних мережах застосовують ряд технологій – електромеханічні системи з мікродзеркалами (MEMs), оптомеханічна, рідкокристалічна та акустооптична комутація, електрооптичні ґратки Брегга (ESBGs), пристрої на самообмеженому електрооптичному ефекті (SEED) та ін.[5-10].

Швидкодія перемикачів комутаторів для сучасних високошвидкісних волоконно-оптичних мереж (SONET, Gigabit Ethernet та ін.) становить одиниці мілісекунд. З урахуванням швидкостей передачі даних, що постійно зростають, і розвитку систем комутації в напрямку перемикачів окремих пакетів оптичними засобами, потенційний час комутації в найближчому майбутньому повинен бути в межах одиниць або десятків наносекунд. Отримати такі значення у системах, що використовують опто-електронне й зворотне електронно-оптичне перетворення, дуже складно. Реалізовані на MEMs фотонні системи (фірм Lucent, Nortel та ін.) внаслідок інерційності мікродзеркал не забезпечують високу швидкість перемикачів, хоча й успішно працюють з гігабітними потоками у встановлених режимах [7-10].

Одна зі структурних реалізацій високопродуктивного оптоелектронного комутатора для паралельних волоконно-оптичних мереж з використанням SEED представлена на рис. 3.4. Схема працює в такий спосіб. Паралельний оптичний потік даних надходить на вхідну матрицю оптичних волокон ОВ. Вхідний інтерфейс здійснює оптичне керування процесом проходження сигналів, яке

відбувається за допомогою масиву вертикально випромінювальних лазерів VCSEL. Потік даних, пройшовши паралельно через матрицю VCSEL, надходить на масив SEED, що виконує функцію пропускання або блокування даних, які надходять із вхідної матриці ОВ. Далі потік даних передається в оптичний вхідний буфер пам'яті, і за наявності вільних входів на комутаційній матриці надходить на неї. Після проходження через комутаційну матрицю скомутований паралельний потік даних передається на вихідний буфер пам'яті, який за наявності вільних портів на вихідній матриці ОВ здійснює передачу за межі комутатора.

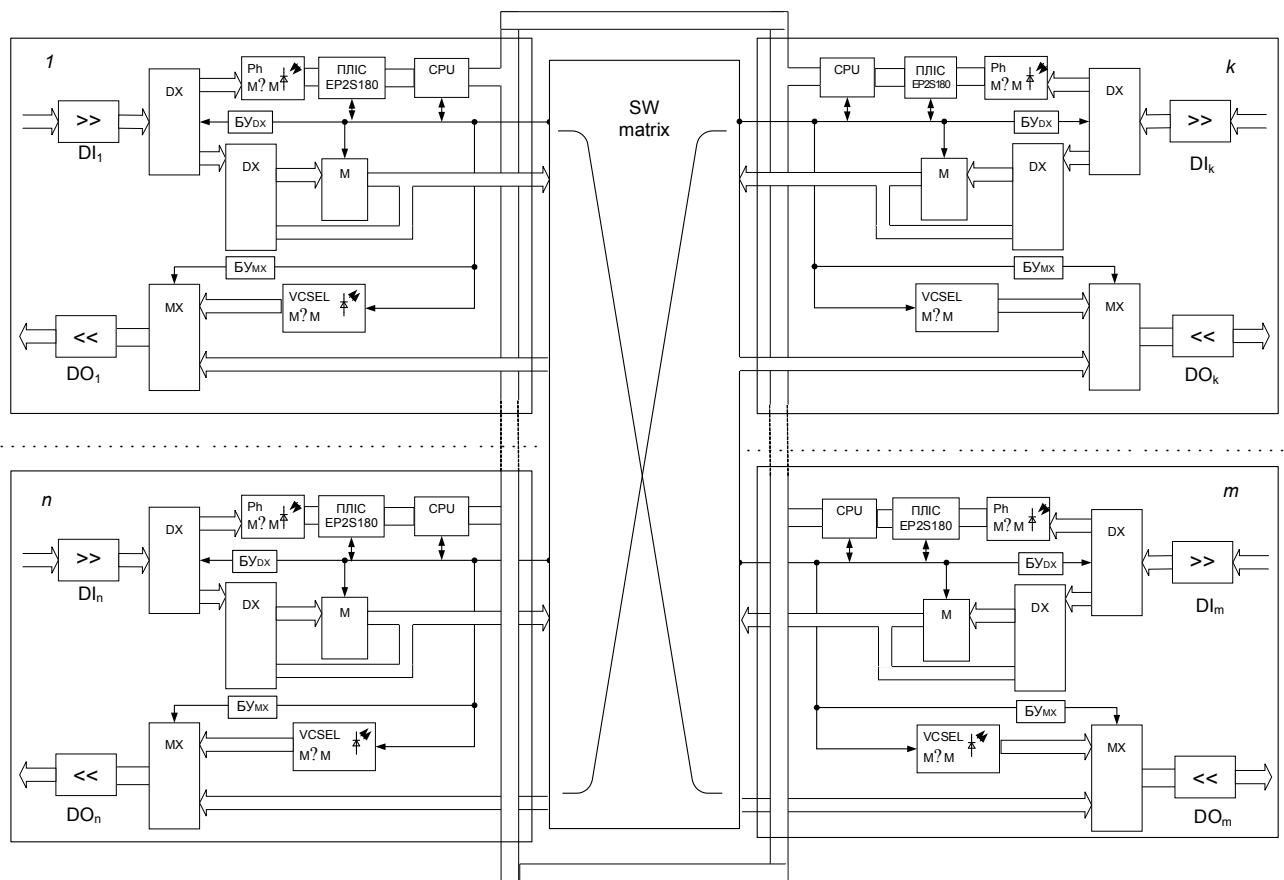


Рисунок 3.4 Структурна схема крос-комутатора [15]

Запропоновану схему може бути використано при організації локальних мереж суперкомп'ютерів. Реалізовані в цей час паралельні інтерфейси введення/виведення інформації (HIPPI, Optobuse) на основі спеціалізованих багатопроцесорних систем дозволяють здійснювати роботу з двовимірними масивами даних (32x32 і більше) зі швидкостями до 1 Гбіт/с на один канал [11,12].

Комутуючі елементи, які використовують тільки оптичні входи та виходи, давно є одним з важливих об'єктів наукових досліджень. Феномену оптичної бістабільності приділяють особливу увагу як перспективному методу виробництва оптичних логічних елементів. Схематичне зображення роботи одного із таких пристроїв – резисторного SEED представлено на рис. 11. Прилад використовує квантовий ефект Штарка [12, 14], тобто змінення оптичної абсорбції під дією електричних полів, що перпендикулярні шарам із квантовими ямами (MQW – multiple-quantum well). Суміщення цього ефекту із детектуванням надає структурі при наявності позитивного зворотного зв'язку оптичну бістабільність. Збільшення потужності падаючого світла приводить до збільшення фотоструму, що у свою чергу, зменшує напругу на діоді внаслідок спадання напруги на резисторі. При цьому збільшення абсорбції й фотоструму дає позитивний зворотний зв'язок, що може привести до комутації на вищий рівень абсорбції. При використанні в якості комутуючих елементів SEED-приладів з оптичним керуванням можливе досягнення часу крос-комутації окремого каналу < 1 нсек [4].

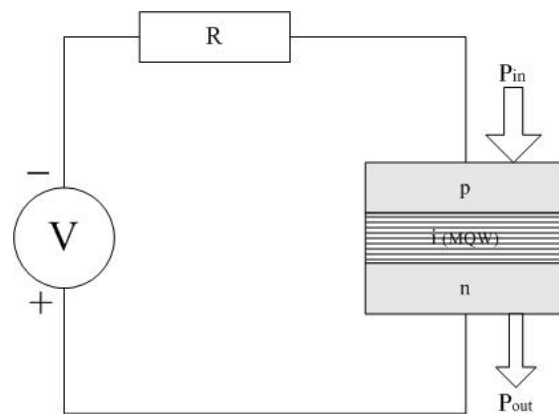


Рисунок 3.5. Схематичне зображення R-SEED

Функціональну схему реалізації елементарної комірки комутаційної матриці неблокувального оптичного комутатора загального типу на основі оптично керованих за допомогою масиву VCSEL симетричних S-SEED елементів представлено на рис. 3.6.

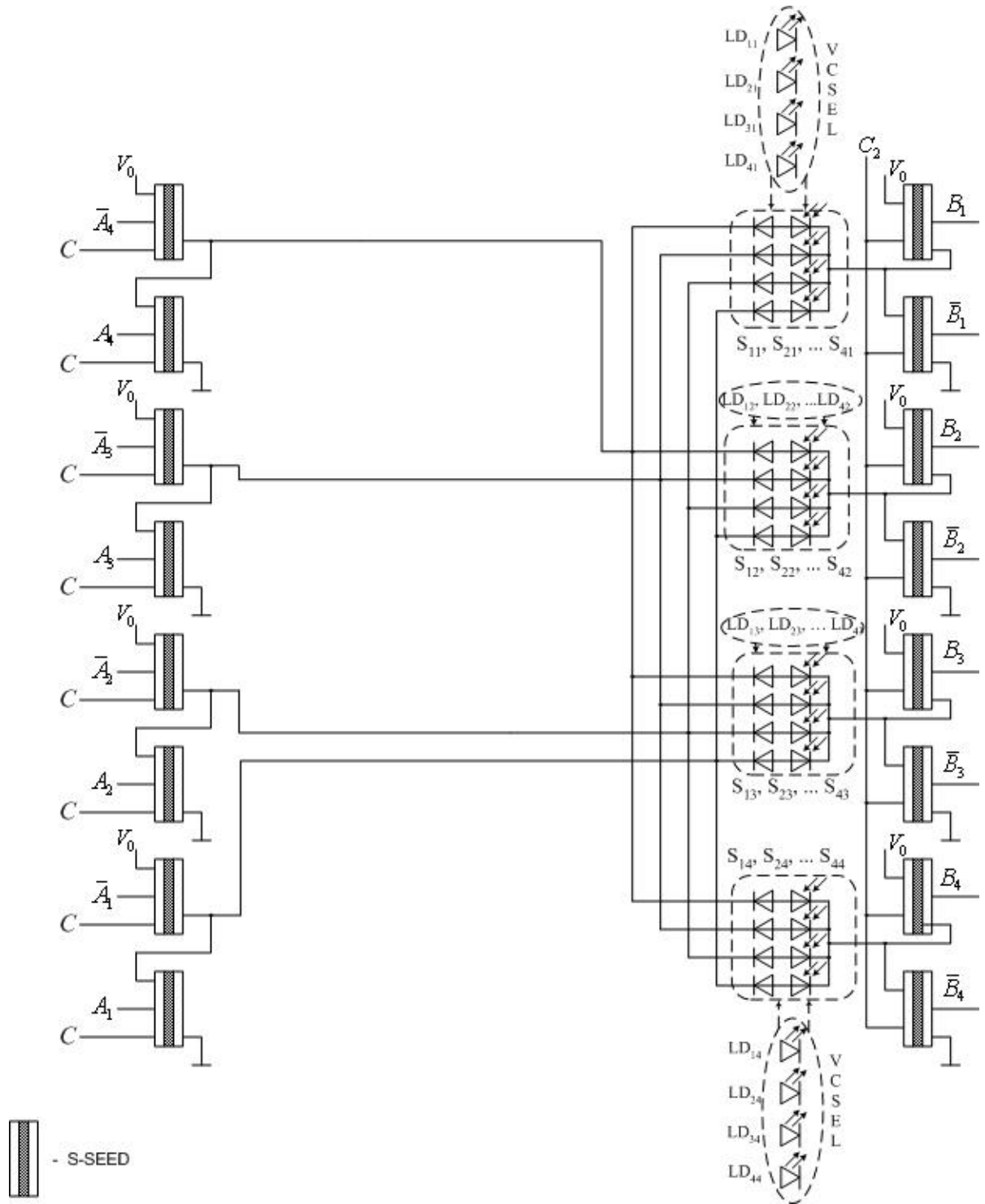


Рисунок 3.6 Базова комірка 4x4 комутаційної матриці

У наш час є експериментальні зразки масивів SEED розмірністю 96x96 із швидкістю комутації окремого елемента менше 1нсек. Таким чином можна провести оцінку швидкості комутації запропонованого пристрою. Загальна кількість елементів неблокувального комутатора $n^2=32^2=1024$. При середній швидкості комутації окремого елемента 1 нсек (без урахування втрат на

обробку і маршрутизацію пакетів) апаратна швидкість комутації становитиме 1,024 мкс, що є цілком прийнятним значенням.

Однією з важливих проблем при проектуванні і розробці оптичних комутаторів є втрати оптичного сигналу. Оскільки у заданому комутаторі необхідно забезпечити максимальні втрати на рівні 5 дБ, а максимальна кількість елементів на шляху комутації є $n_L = 2n - 1 = 2 \cdot 32 - 1 = 63$, на кожному з яких відбувається послаблення сигналу в середньому на 0,5дБ, для максимального шляху комутації отримаємо неприйнятне значення втрат 31,5дБ. Тому пропонується у вихідному інтерфейсі пристрою застосовувати масив напівпровідникових підсилювачів (рис. 14), кожен з яких здатний забезпечити коефіцієнт підсилення до 25дБ. Таким чином, у запропонованому комутаторі забезпечується баланс втрат навіть при найдовшому маршруті комутації.

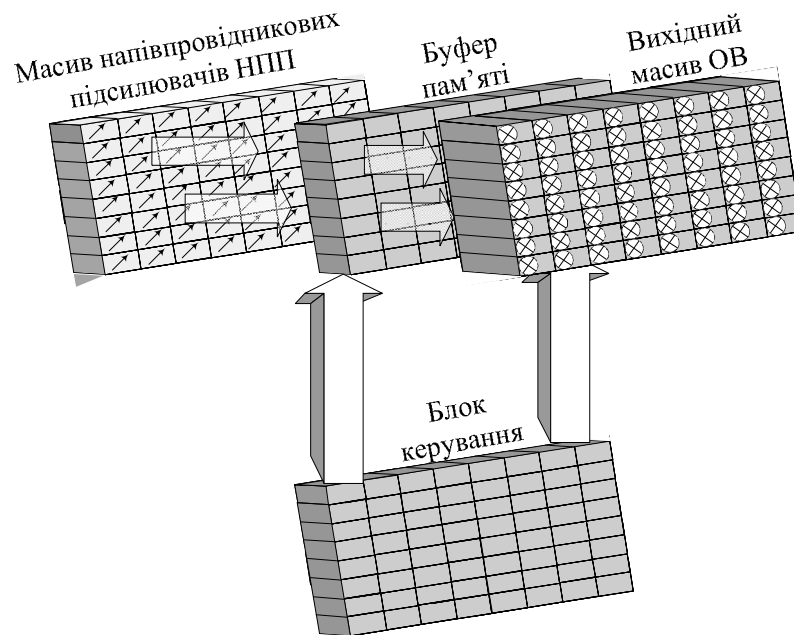


Рисунок 3.7 Вихідний оптичний інтерфейс комутатора

3.3. Розрахунок параметрів мережі із центральним оптичним комутатором

Проведемо розрахунок використовуваного оптичного кабелю з одномодовим волокном [4]. Відносна різниця показників заломлення (вважаємо показник заломлення серцевини типовим для кварцевого скла $n_1=1,468$; показник заломлення оболонки $n_2=1,43$):

$$\Delta = (n_1^2 - n_2^2) / 2n_1^2 = \frac{1,468^2 - 1,43^2}{2 \cdot 1,468^2} = 0,005.$$

Критичний кут падіння променів

$$\theta_c = \arcsin(n_2 / n_1) = 1,483 \text{ рад}.$$

Числова апертура волокна (у наближенні ступеневого ОВ)

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \sqrt{1,468^2 - 1,43^2} = 0,121.$$

Нормована частота

$$V = \pi d \cdot NA / \lambda = \frac{3,14 \cdot 9 \cdot 10^{-6} \cdot 0,121}{1,55 \cdot 10^{-6}} = 2,206.$$

Оскільки ця величина менше значення 2,405, умова одномодового поширення хвилі не порушується.

Довжина хвилі відсічки

$$\lambda_{CF} = \pi d \cdot NA / 2,405 = 3,14 \cdot 9 \cdot 10^{-6} \cdot 0,121 / 2,405 = 1,422 \text{ мкм}.$$

Оскільки робоча довжина хвилі лазера 1,55мкм більше отриманого значення довжини хвилі відсічки, має місце одномодовий режим поширення світла у волокні, що розраховується.

Критична частота (для одномодової системи коефіцієнт передачі $P_{nm}=2,405$):

$$f_0 = \frac{P_{nm}c}{\pi d \sqrt{n_1^2 - n_2^2}} = \frac{2,405 \cdot 3 \cdot 10^8}{3,14 \cdot 9 \cdot 10^{-6} \sqrt{1,468^2 - 1,463^2}} = 2,109 \cdot 10^{14} \text{ Гц} .$$

Критична довжина хвилі для одномодової системи

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_0} = \frac{3 \cdot 10^8}{2,109 \cdot 10^{14}} = 1,422 \text{ мкм} .$$

Внутрішні втрати (для одномодового ОВ вважаємо $K_{rel} = 0,6 \text{ мкм}^4 \text{ дБ/км}$, $\alpha = 0,2 \text{ дБ/км}$; $k = 0,9 \text{ мкм}$)

$$\alpha_{int} = K_{rel} \lambda^{-4} + C e^{-k/\lambda} = 0,6 \cdot 10^{-6} \cdot 1,55^{-4} \cdot 10^{24} + 0,2 \cdot 2,67^{-0,5806} = 0,104 + 0,107 \approx 0,21 \text{ дБ / км}$$

Зовнішні кабельні втрати не повинні перевищувати 20%, тому вважаємо [7]

$$\alpha_{rad} = 0,2 \alpha_{abs} \approx 0,04 \text{ дБ / км} .$$

Повне загасання розповсюдженого сигналу у волокні

$$\alpha = \alpha_{int} + \alpha_{rad} = 0,25 \text{ дБ / км} .$$

Довжина регенераційної ділянки ВОЛЗ при з'єднанні «точка-точка» визначається з наступної нерівності

$$BL|D|(\Delta\lambda) < \zeta .$$

Значення перехресних перешкод ζ для PIN фотоприймача, у якого основним типом шумів є теплові, а значення запасу потужності DFB лазера 10дБм, знаходиться зі співвідношення

$$P_{si} = -10 \log \frac{r-1}{r+1},$$

де $r=10$ – відношення вихідних рівнів 0 і 1.

З іншого боку, запас потужності приймача з тепловими шумами [8]

$$P_{si} = -10 \log(1-2\sqrt{\zeta}).$$

Хроматична дисперсія виражається для волокна зі зміщеною дисперсією

$$\tau_{chr}(\lambda) = D(\lambda) \cdot \Delta\lambda = 50 \cdot 0,1 = 5 \frac{нс}{нм \cdot км},$$

де $D(\lambda) = M(\lambda) + N(\lambda) = 50 \text{ пс}/(\text{нм} \cdot \text{км})$ (розраховується далі).

Таким чином, $\zeta=0,301$, а довжина регенераційної ділянки ВОЛЗ

$$BL < \frac{\zeta}{|D|(\Delta\lambda)} = \frac{0,301}{50 \cdot 10^{-12} \cdot 0,1} = 60,2 \frac{\text{Гбит}}{\text{с}} \cdot \text{км}.$$

При швидкості передачі 1Гбіт/с максимальна довжина ділянки буде 60 км. З огляду на особливості устаткування, враховуємо максимальну дальність роботи комутатора 50км.

Матеріальна дисперсія (з огляду на експериментальне значення питомої матеріальної дисперсії для чистого кварцевого скла $-25 \text{ пс}/(\text{нм} \cdot \text{км})$)

$$\tau_{mat}(\Delta\lambda, L) = \Delta\lambda \cdot L \cdot \frac{\lambda}{c} \frac{d^2 n_1}{d\lambda^2} = \Delta\lambda \cdot L \cdot M(\lambda) = 0,1 \cdot 50 \cdot (-25) = -125 \frac{нс}{нм \cdot км}.$$

Хвилевідна дисперсія

$$\tau_w(\Delta\lambda, L) = \Delta\lambda \cdot L \cdot N(\lambda) = 0,1 \cdot 50 \cdot 75 = 375 \frac{нс}{нм \cdot км}.$$

Поляризаційна модова дисперсія

$$\tau_{pmd} = T \cdot \sqrt{L} = 0,5 \sqrt{50} = 3,5 \frac{нс}{нм \cdot км}.$$

Середньоквадратичне розширення імпульсу з поляризаційною модовою дисперсією

$$\tau = \sqrt{\tau_{chr}^2 + \tau_{pmd}^2} = 6,1 \frac{нс}{нм \cdot км}.$$

Смуга пропускання кабелю, що розраховується

$$W = 0,44 / \tau = \frac{0,44}{6,1 \cdot 10^{-12}} = 7213 \text{ [МГц км]}.$$

Загальні втрати у ВОЛЗ складаються з втрат на введенні випромінювання у волокно, апертурних втрат, кабельних втрат, втрат на відгалуженні, зрощуванні і втрат на роз'ємних з'єднаннях. При використанні одномодового волокна зі зміщеною дисперсією (DSF) загальні втрати потужності у волокні можуть складати 0,16дБ/км, тобто для максимальної довжини регенераційної ділянки 50 км складуть 5дБ. Таким чином, загальні втрати (при проектуванні системи не використовуємо оптичні відгалужувачі):

$$\alpha_{\Sigma} = \eta_d + \Pi_{an} + \alpha_{con} + \alpha_{fiber} = 8 + 0,46 + 2 \cdot 0,2 + 0,6 = 9,46 \text{ дБ}.$$

Це значення відповідає втратам потужності в лінії в порівнянні з початковим значенням у 8,83 разів, що є досить прийнятною величиною і характеризує реальну працездатність системи.

Маючи вихідну потужність лазерного діода 2мВт, отримаємо потужність оптичного сигналу на вході фотодетектора 226мкВт (граничне значення для PIN-фотодіода InGaAs, що працює зі смугою пропускання (модуляції) 2ГГц, складає 1,3мкВт). Таким чином, маємо певний енергетичний запас у лінії зв'язку, що забезпечує працездатність системи.

3.4 Аналіз спеціальних заходів щодо захисту з'єднань у мережі

Для захисту з'єднань в оптичних мережах передачі інформації передбачені міжнародні стандарти, зокрема рекомендації ITU-T G.808.1, G.798.1, а також відповідні додаткові фізичні і алгоритмічні опції обладнання від різних виробників, які наприклад, має оптичний комутатор Oplink Communications 1+1, 1:11.

Захисту в оптичній мережі підлягають оптичні секції мультиплексування і оптичні канали (як, одиночні, так і об'єднані в групи).

Захист оптичної секції мультиплексування включає:

захист одноволоконної (передача і прийом сигналів з в одному волокні) секції WDM мультиплексування в режимах 1+1 та 1:1 (1:N, де N - число робочих волокон на одне волокно захисту; M: N, де M - число захисних волокон на N робочих волокон);

захист двоволоконної (передача і прийом сигналів WDM в двох окремих волокнах одного оптичного кабелю) мультиплексної секції в режимах 1/1 і 1:1 (1:N, де N - кількість пар робочих волокон на пару волокон захисту; M:N, де M - кількість пар захисних волокон на N парах робочих волокон) (рис. 3.1);

захист в кільцевій оптичній мережі (з однонаправленими і двонаправленими оптичними каналними з'єднаннями) за допомогою ROADM і РХС (рис. 3.5).

Існує міжнародна система захисту оптичної секції мультиплексного та оптичного каналів за індексом "O":

однонаправленої секції O-ULSR (Optical Unidirectional Line-Switched Ring) або OMS-DPRing (Optical Multiplex Section Dedicated Protection Ring) (1+1) – (1:1);

двонаправленої секції O-BLSR (Optical Bi-directional Line Switched Ring) или OMS-SPRing (Optical Multiplexed Section Shared Protection Rings) (1:N) – (M:N).

Захист оптичних каналів включає [16]:

Використання парних транспондерів (робочий і резервний транспондери з кожного боку каналу) і резервного оптичного каналу, розміщеного поряд з робочим каналом (приклад на рисунку 3.3, а);

Використання оптичного розгалуження для сигналу передачі сигналу і селектора сигналу на прийомі для сигналів робочих і резервних маршрутів з різними географічними маршрутами (приклад по рис. 3.3, б);

захист оптичних каналів у кільцевій мережі індексованій «O», однонаправлених каналів O-UPSR (Optical Unidirectional Path Switched Ring) або OCh-DPRing (OCh-Dedicated Path Protection Rings) (1+1)–(1:1) та двонаправлених O-BPSR (Optical Bi-directional Path Switched Ring) або OCh-SPRing (OCh-Shared Protection Ring) (1:N) – (M:N), де індекси літер D та S позначають:

D – dedicated fiber line або Wavelength, тобто перемикання на призначене резервне волокно або оптичну довжину хвилі (хвилевий канал OCh);

S – shared fiber link або Wavelength, тобто перемикання на певну волоконну лінію або хвилю (оптичний канал OCh).

Оптичні канали у кільцевій мережі можуть бути захищені тільки за наявності у складі ROADM або/та PXC відповідних маршрутизованих (з таблицями робочих і резервних станів) оптичних комутаторів.

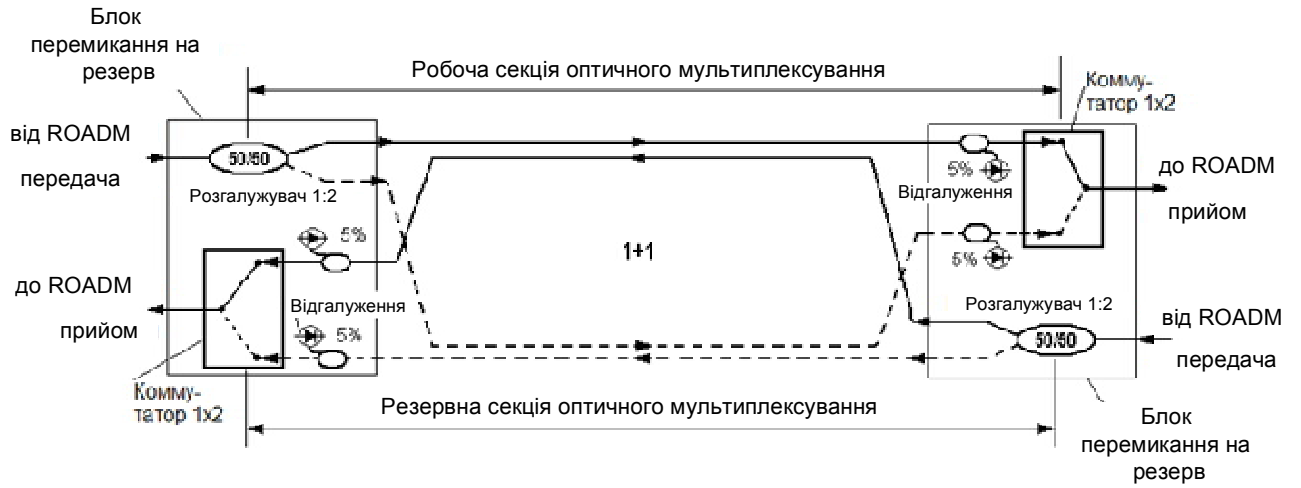


Рисунок 3.8. Захист з'єднань оптичної секції мультиплексування

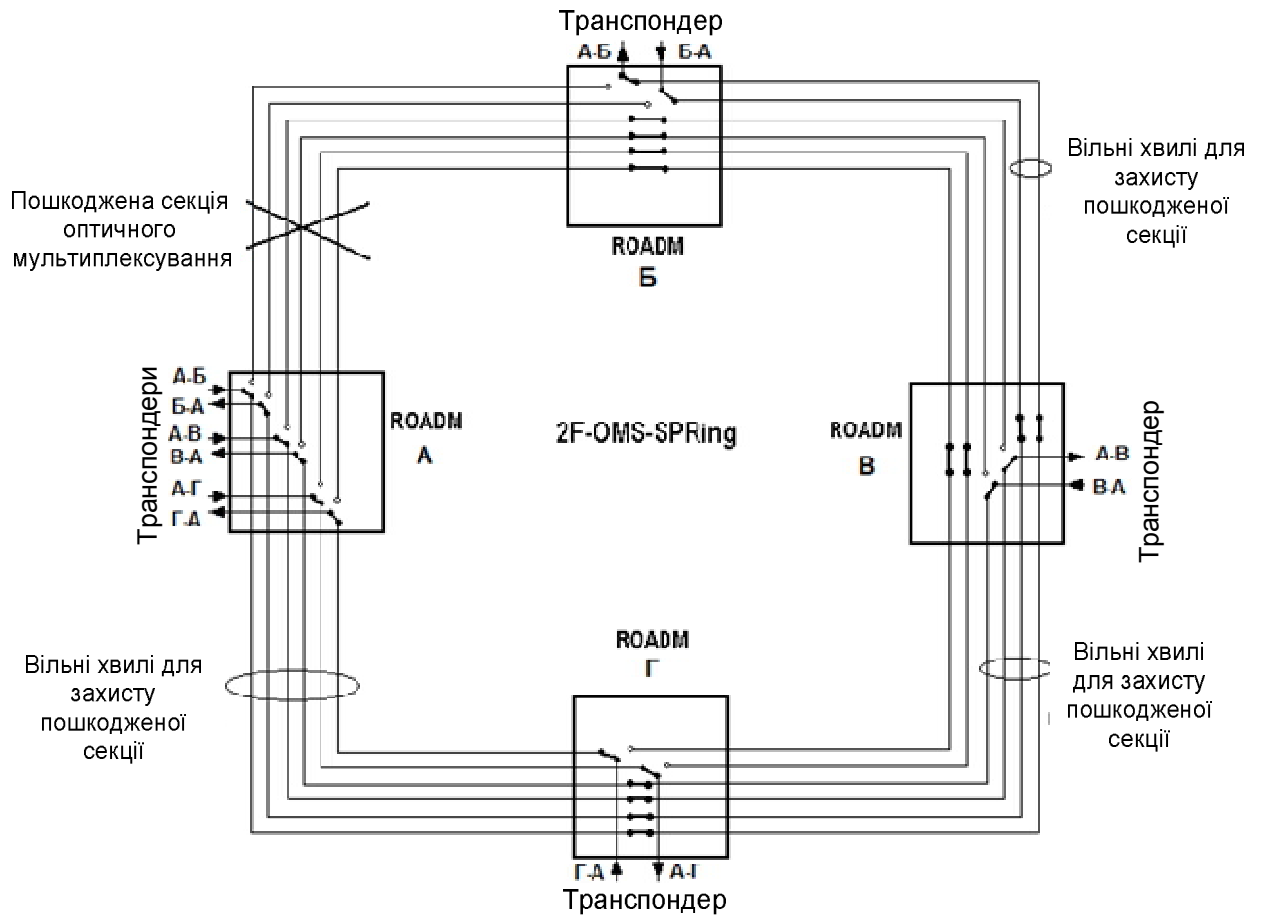


Рисунок 3.9. Захист з'єднань двонаправленого оптичного каналу у кільцевій мережі з логічною топологією «зірка»

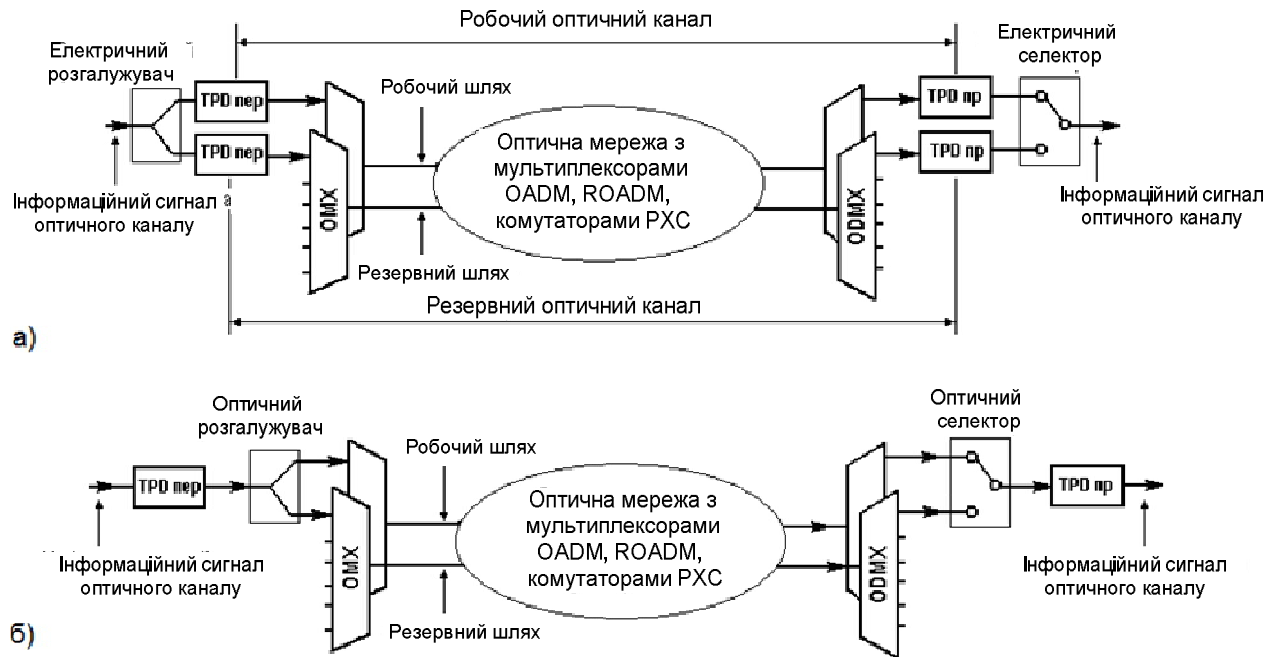


Рисунок 3.10. Варіанти захисту оптичного каналу з додатковими транспондерами (а) та оптичними комутаційними блоками розгалужувач-комутатор (б)

Управління безпекою передбачає безпечну роботу окремих мережевих елементів та всієї оптичної мережі. До управління безпекою мережевих елементів відноситься: степінь фізичного присутності персоналу в обладнанні; пожежна та друга безпека приміщень з обладнанням; реєстрація, видалення та зміна кодів доступу в приміщенні, коди доступу в системі управління мережним елементом.

Безпечна робота оптичної мережі також визначає параметри доступу користувачів (експлуатаційна персоналізація) до кодових входів в систему управління всією системою (user ID, password) та степінь доступності функцій управління (management level).

3.5 Висновки до розділу 3

У розділі проведено обґрунтування вибору структури оптичної транспортної мережі спеціального призначення. Здійснено розрахунок характеристик лазерів волоконного світловода.

Проведено вибір елементної бази комутатора волоконного каналу зв'язку спеціального призначення. Проведено розробку його структури та аналіз характеристик. Розраховано параметри модельної мережі із центральних оптичним комутатором.

4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1. Аналіз комерційного потенціалу розробки оптичної транспортної мережі спеціального призначення

4.1.1. Визначення рівня комерційного потенціалу розробки оптичної транспортної мережі спеціального призначення

Метою проведення технологічного аудиту є оцінювання комерційного потенціалу розробки оптичної транспортної мережі спеціального призначення, створеної в результаті науково-технічної діяльності. В результаті оцінювання можна буде зробити висновок щодо напрямів (особливостей) організації подальшого її впровадження з врахуванням встановленого рейтингу.

Для проведення технологічного аудиту залучимо 3-х незалежних експертів. У нашому випадку такими експертами будуть керівник магістерської роботи та провідні викладачі випускової кафедри. Оцінювання комерційного потенціалу розробки здійснюємо за 12-ю критеріями згідно рекомендацій.

Таблиця 4.1. - Результати оцінювання комерційного успіху розробки

Критерії	Експерти		
	1	2	3
	Бали, виставлені експертами		
1	2	2	3
2	3	3	2
3	4	4	3
4	4	2	3
5	4	3	3
6	4	4	3
7	3	3	2
8	3	3	3
9	3	4	4
10	2	3	3
11	3	3	3
12	2	3	3
Сума балів	37	37	35
Середньоарифметична сума балів, СБ	36		

Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки заносимо до таблиці 4.1. За даними таблиці робимо висновок щодо рівня комерційного потенціалу розробки оптичної транспортної мережі спеціального призначення.

При цьому користуємося рекомендаціями, наведеними в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Рівні комерційного потенціалу розробки

Середньоарифметична сума балів, розрахована на основі висновків експертів	Рівень комерційного потенціалу розробки
0 – 10	Низький
11 – 20	Нижче середнього
21 – 30	Середній
31 – 40	Вище середнього
41 – 50	Високий

Таким чином, робимо висновок, щодо рівня комерційного потенціалу нашої розробки оптичної транспортної мережі спеціального призначення – вище середнього.

4.2 Визначення рівня якості розробки оптичної транспортної мережі спеціального призначення

Оцінювання рівня якості розробки оптичної транспортної мережі спеціального призначення проводиться з метою порівняльного аналізу і визначення найбільш ефективного, з технічної точки зору, варіанта інженерного рішення.

Рівень якості – це кількісна характеристика міри придатності певного виду продукції для задоволення конкретного попиту на неї при порівнянні з відповідними базовими показниками за фіксованих умов споживання.

Абсолютний рівень якості розробки оптичної транспортної мережі спеціального призначення знаходимо обчисленням вибраних для її вимірювання показників, не порівнюючи їх із відповідними показниками аналогічних

виробів. Для цього необхідно визначити зміст основних функцій, які повинна реалізувати розробка, вимоги замовника до неї, а також умови, які характеризують експлуатацію, визначають основні параметри, які будуть використані для розрахунку коефіцієнта технічного рівня виробу. Система параметрів, прийнята до розрахунків, повинна достатньо повно характеризувати споживчі властивості інноваційного товару (його призначення, надійність, економічне використання ресурсів, стандартизація тощо).

Далі визначаємо величину параметрів якості в балах та встановлюємо граничні його значення (кращі, гірші, середні). Всі ці дані для кожного параметра заносимо в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Основні параметри розробки оптичної транспортної мережі спеціального призначення

Параметри	Абсолютне значення параметра			Коефіцієнт вагомості параметра
	Краще +5...+4	Середнє +3	Гірше +1...+2	
Протяжність магістральної ділянки		3		0,25
Пропускна здатність мережі		3		0,25
Ефективність використання мережевих ресурсів	5			0,2
Безпека даних	4			0,3

Із врахуванням коефіцієнтів вагомості відповідних параметрів можна визначити абсолютний рівень якості інноваційного рішення за формулою:

$$K_{я.а.} = \sum_{i=1}^n P_{ні} \cdot a_i = 3 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,3 = 3,7 \quad (4.1)$$

де $P_{ні}$ – числове значення i -го параметра інноваційного рішення, n – кількість параметрів інноваційного рішення, що прийняті для оцінювання, a_i –

коефіцієнт вагомості відповідного параметра (сума коефіцієнтів вагомості всіх параметрів повинна дорівнювати 1).

Отже, абсолютний рівень якості нашої розробки становитиме – 3,7 бали. Одночасно визначаємо відносний рівень якості оптичної транспортної мережі спеціального призначення, що виробляється (проектується), порівнюючи її показники з абсолютними показниками якості найліпших вітчизняних та зарубіжних аналогів (товарів-конкурентів) (табл. 1.4).

Таблиця 4.4 – Основні параметри оптичної транспортної мережі спеціального призначення товари-конкурента

Параметри	Варіанти		Відносний показник якості	Коефіцієнт вагомості параметра
	Базовий (конкурент)	Новий		
Протяжність магістральної ділянки, км	120	120	1	0,25
Пропускна здатність мережі, Гбіт/сек	10	10	1	0,25
Ефективність використання мережевих ресурсів	0,5	1	2	0,2
Безпека даних	0,95	0,99	1,04	0,3

Відносний рівень якості інноваційного рішення визначаємо за формулою:

$$K_{\text{я.в.}} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot a_i = \frac{120}{120} \cdot 0,25 + \frac{10}{10} \cdot 0,25 + \frac{1}{0,5} \cdot 0,2 + \frac{0,99}{0,95} \cdot 0,3 = 1,21. \quad (4.2)$$

За розрахунками відносний рівень якості оптичної транспортної мережі спеціального призначення становитиме – 1,21. Це означає, що наша розробка краща за якістю на 21% від товару-аналога.

4.3 Визначення конкурентоспроможності оптичної транспортної мережі спеціального призначення

У найширшому розумінні конкурентоспроможність товару – це можливість його успішного продажу на певному ринку і в певний проміжок

часу. Водночас конкурентоспроможною можна вважати лише однорідну продукцію з технічними параметрами і техніко-економічними показниками, що ідентичні аналогічним показникам уже проданого товару. Для того, щоб високоякісний товар був одночасно і конкурентоспроможним, він має відповідати критеріям оцінювання споживачів конкретного ринку в конкретний час.

Дані для розрахунку загального показника конкуренто-спроможності оптичної транспортної мережі спеціального призначення необхідно занести до таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Нормативні, технічні та економічні параметри оптичної транспортної мережі спеціального призначення і товару-конкурента

Параметри	Варіанти		Відносний показник якості	Коефіцієнт вагомості параметра
	Базовий (конкурент)	Новий		
Протяжність магістральної ділянки, км	120	120	1	0,25
Пропускна здатність мережі, Гбіт/сек	10	10	1	0,25
Ефективність використання мережевих ресурсів	0,5	1	2	0,2
Безпека даних	0,95	0,99	1,04	0,3
Ціна за продукт, тис. грн.	160000	180000	0,89	-

Розрахуємо індекс економічних параметрів розробки:

$$I_{e. п.} = \frac{P_{Hei}}{P_{Bei}} = \frac{160000}{180000} = 0,89, \quad (4.3)$$

де P_{Hei} , P_{Bei} – економічні параметри (ціна придбання та споживання товару) відповідно нового та базового товарів.

Загальний показник конкурентоспроможності розробки (K) з урахуванням вищезазначених груп показників визначаємо за формулою:

$$K = \frac{I_{т.п.}}{I_{е.п.}} = \frac{1,21}{0,89} = 1,36, \quad (4.4)$$

де $I_{т.п.}$ – індекс технічних параметрів (відносний рівень якості інноваційного рішення); $I_{е.п.}$ – індекс економічних параметрів.

Згідно розрахунків загальний показник конкурентоспроможності –1,36 . Це означає, що наша розробка оптичної транспортної мережі спеціального призначення більш конкурентна на 36% від товару-аналога.

4.2. Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної, дослідно-конструкторської та конструкторсько-технологічної роботи з розробки оптичної транспортної мережі спеціального призначення

4.2.1 Розрахунок витрат, що стосуються виконавців розробки оптичної транспортної мережі спеціального призначення

Основна заробітна плата кожного із розробників (дослідників) Z_0 , якщо вони працюють в наукових установах бюджетної сфери:

$$Z_0 = \frac{M}{T_p} \cdot t, \quad (4.5)$$

де M – місячний посадовий оклад конкретного розробника (інженера, дослідника, науковця тощо), грн.

У 2020 році величини окладів (разом з встановленими доплатами і надбавками) рекомендується брати в межах (6000...15000) грн. за місяць; T_p – число робочих днів в місяці; приблизно $T_p = (21...23)$ дні; t – число робочих днів роботи розробника (дослідника).

Зроблені розрахунки зводимо до таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Заробітна плата розробників

Посада	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн.
Керівник	12000	571,4	25	14285
Інженер-програміст	10000	476,2	25	11905
Консультанти	6000	285,7	25	5142,5
Всього:				33332,5

Основна заробітна плата робітників Z_p , якщо вони беруть участь у виконанні даного етапу роботи і виконують роботи за робочими професіями у випадку, коли вони працюють в наукових установах бюджетної сфери, розраховується за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n t_i \cdot C_i, \quad (4.6)$$

де t_i – норма часу (трудомісткість) на виконання конкретної роботи, годин; n – число робіт по видах та розрядах; C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, який виконує дану роботу. C_i визначається за формулою:

$$C_i = \frac{M_m \cdot K_i}{T_p \cdot T_{zm}}, \quad (4.7)$$

де M_m – розмір мінімальної заробітної плати за місяць, грн.; в 2020 році мінімальна заробітна плата становить – 6000 грн., K_i – тарифний коефіцієнт робітника відповідного розряду, T_p – число робочих днів в місяці; приблизно $T_p = 21 \dots 23$ дні; T_{zm} – тривалість зміни, зазвичай $T_{zm} = 8$ годин.

Таблиця 4.7 – Заробітна плата робітників

Найменування робіт	Трудомісткість, н-год.	Розряд роботи	Погодинна тарифна ставка	Тариф. коеф.	Величина, грн.
Налагоджувальні	5	4	45,34	1,27	226,7
Складальні	2	4	45,34	1,27	90,68
Механічні	1	3	42,13	1,18	42,13
Заготівельні	4	2	38,9	1,09	155,6
Всього					515,17

Додаткова заробітна плата Z_d всіх розробників та робітників, які брали участь у виконанні даного етапу роботи, розраховується як (10...12)% від суми основної заробітної плати всіх розробників та робітників, тобто:

$$Z_d = 0,1 \cdot (Z_p + Z_o) = 0,1 \cdot (33332,5 + 515,17) = 3384,8 \text{ грн.} \quad (4.8)$$

Нарахування на заробітну плату N_{zp} розробників та робітників, які брали участь у виконанні даного етапу роботи, розраховуються за формулою:

де Z_o – основна заробітна плата розробників, грн.; Z_p – основна заробітна плата робітників, грн.; Z_d – додаткова заробітна плата всіх розробників та робітників, грн.; β – ставка єдиного внеску на загальнообов’язкове державне соціальне страхування, % (приймаємо для 1-го класу професійності ризику 22%).

$$\begin{aligned} N_{zp} &= 0,22 \cdot (Z_p + Z_o + Z_d) = \\ &= 0,22 \cdot (33332,5 + 515,17 + 3384,8) = 8191,1 \text{ грн.} \end{aligned} \quad (4.9)$$

Амортизація обладнання, комп’ютерів та приміщень A , які використовувались під час (чи для) виконання даного етапу роботи.

Дані відрахування розраховують по кожному виду обладнання, приміщенням тощо.

У спрощеному вигляді амортизаційні відрахування A в цілому бути розраховані за формулою:

$$A = \frac{Ц \cdot N_a}{100} \cdot \frac{T}{12},$$

де $Ц$ – загальна балансова вартість всього обладнання, комп’ютерів, приміщень тощо, що використовувались для виконання даного етапу роботи, грн.; N_a – річна норма амортизаційних відрахувань. Для нашого випадку можна прийняти, що $N_a = (10...25)\%$; T – термін, використання обладнання, приміщень тощо, місяці.

Таблиця 4.8 - Амортизаційні відрахування

Найменування	Ціна, грн.	Норма амортизації, %	Термін використання, м.	Сума амортизації
ПК	7000	20	2	233,3
Вимірювальне обладнання для ВОЛЗ	15000	20	2	500
Інструментарій для роботи з інтегрально-оптичними пристроями	7000	10	2	116,6
Іншеобладнання	7000	10	1	58,3
Всього	908,2			

Витрати на матеріали M , що були використані під час виконання даного етапу роботи, розраховуються по кожному виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_1^n N_i \cdot C_i \cdot K_i - \sum_1^n V_i \cdot C_v, \quad (4.10)$$

де N_i – витрати матеріалу i -го найменування, кг; C_i – вартість матеріалу i -го найменування, грн./кг.; K_i – коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = (1,1 \dots 1,15)$; V_i – маса відходів матеріалу i -го найменування, кг; C_v – ціна відходів матеріалу i -го найменування, грн./кг; n – кількість видів матеріалів.

Таблиця 4.9 - Матеріали, що використовуються при розробці

Найменування матеріалу	Ціна за одиницю, грн.	Витрачено	Вартість витраченого матеріалу, грн
Флюс ФКСН	4	0,05	2,2
Каніфоль	11	0,3	3,6
Припій ПОС-61	500	0,1	55
З врахуванням коефіцієнта транспортування			66,9

Витрати на комплектуючі K , що були використані під час виконання даного етапу роботи, розраховуються за формулою:

$$K = \sum_1^n N_i \cdot C_i \cdot K_i,$$

де N_i – кількість комплектуючих i -го виду, шт.; C_i – ціна комплектуючих i -го виду, грн.; K_i – коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = (1,1 \dots 1,15)$; n – кількість видів комплектуючих.

Таблиця 4.10 - Комплектуючі, що використані на розробку

Найменування	Ціна, грн.	Витрачено, шт.	Вартість, грн
Трансівер (SFP-модуль)	1400	2	2800
Оптичне волокно (SMF9/125)	15	2000м	30000
Патчкорд SMF	150	2	300
Елементи інтегральної оптики	700	2	1400
Хвилеводний модулятор (демодулятор)	1500	2	3000
Корпус	100	1	100
Діоди стану	2	2	4
Інтерфейси	270	2	540
Джерела напруги	50	2	100
Всього, з врахуванням коефіцієнта транспортування		42068	

Витрати на силову електроенергію Ve , якщо ця стаття має суттєве значення для виконання даного етапу роботи, розраховуються за формулою:

$$Ve = V \cdot P \cdot \Phi \cdot K_p,$$

V – вартість 1 кВт-год. електроенергії, в 2021 р. $V \approx 2,9$ для промисловості грн./кВт; P – установлена потужність обладнання, кВт; Φ – фактична кількість годин роботи обладнання, годин, K_p – коефіцієнт використання потужності; $K_p < 1$.

Потужність обладнання складає $-0,1$ кВт.

Кількість годин роботи складає -350 годин.

Коефіцієнт використання потужності $-0,97$.

$Ve = 98,5$ грн.

Інші витрати V_{in} охоплюють: витрати на управління організацією, оплата службових відряджень, витрати на утримання, ремонт та експлуатацію

основних засобів, витрати на опалення, освітлення, водопостачання, охорону праці тощо.

Інші витрати I_v можна прийняти як $(100...300)\%$ від суми основної заробітної плати розробників та робітників, які були виконували дану роботу, тобто:

$$I_v = 2 \cdot (Z_o + Z_p) = 2 \cdot (33332,5 + 515,17) = 67695,34 \text{ грн.} \quad (4.12)$$

Сума всіх попередніх статей витрат дає витрати на виконання даної частини (розділу, етапу) роботи – V .

$$V = 33332,5 + 515,17 + 3384,8 + 8191,1 + 908,2 + 66,9 + 42068 + 98,5 + 67695,34 = 456260,5 \text{ грн.}$$

4.3 Розрахунок загальних витрат на виконання даної роботи

Загальна вартість всієї наукової роботи визначається за $V_{\text{заг}}$ формулою:

$$V_{\text{заг}} = \frac{I_v}{\alpha} = \frac{456260,5}{0,9} = 506956 \text{ грн,} \quad (4.13)$$

де α – частка витрат, які безпосередньо здійснює виконавець даного етапу роботи, у відн. одиницях.

4.4 Прогнозування витрат на виконання та впровадження результатів науково-дослідної роботи

Прогнозування загальних витрат Z_v на виконання та впровадження результатів виконаної наукової роботи здійснюється за формулою:

$$Z_v = \frac{V_{\text{заг}}}{\beta} = \frac{506956}{0,5} = 1013912 \text{ грн,} \quad (4.14)$$

де β – коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання даної роботи.

Так, якщо розробка знаходиться: на стадії науково-дослідних робіт, то $\beta \approx 0,1$; на стадії технічного проектування, то $\beta \approx 0,2$; на стадії розробки

конструкторської документації, то $\beta \approx 0,3$; на стадії розробки технологій, то $\beta \approx 0,4$; на стадії розробки дослідного зразка, то $\beta \approx 0,5$; на стадії розробки промислового зразка, $\beta \approx 0,7$; на стадії впровадження, то $\beta \approx 0,9$.

Етап роботи – розробка дослідного зразка $\beta=0,5$.

4.5. Прогнозування комерційних ефектів від реалізації оптичної транспортної мережі спеціального призначення

З метою прогнозування комерційних ефектів від реалізації оптичної транспортної мережі спеціального призначення складемо таблицю вихідних показників, за рахунок яких і відбуватиметься отримання комерційного ефекту.

Таблиця 4.11 – Вихідні дані для прогнозування комерційного ефекту від реалізації оптичної транспортної мережі спеціального призначення

Рік реалізації розробки	1	2	3
Кількість од. реалізації, шт.	5	10	20

Величина зростання ціни реалізації розробки, грн. – 20000 грн.

Кількість продукції, що випускалась до впровадження розробки – 1шт.

Збільшення чистого прибутку підприємства Π_i для кожного із років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки, розраховується за формулою:

$$\Delta \Pi_i = \sum_1^n (\Delta \text{Ц}_0 \cdot N + \text{Ц}_0 \cdot \Delta N) \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{v}{100}\right) \quad (4.15)$$

де $\Delta \Pi_0$ – покращення основного оціночного показника від впровадження результатів розробки у даному році. Зазвичай таким показником може бути ціна одиниці нової розробки; N – основний кількісний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році до впровадження результатів наукової розробки; ΔN – покращення основного кількісного показника діяльності підприємства від впровадження результатів розробки; Ц_0 – основний оціночний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році після

впровадження результатів наукової розробки; n – кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки; λ – коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість.

Збільшення чистого прибутку підприємства Π_1 протягом першого року складе:

$$\Delta\Pi_1 = (1 \cdot 20000 + 160000 \cdot 5) \cdot 0,8333 \cdot 1 \cdot (1 - 0,18) = 558090 \text{ грн.}$$

Збільшення чистого прибутку підприємства Π_2 протягом другого року (відносно базового року, тобто року до впровадження результатів наукової розробки) складе:

$$\Delta\Pi_2 = (1 \cdot 20000 + 160000 \cdot 10) \cdot 0,8333 \cdot 1 \cdot (1 - 0,18) = 1102570 \text{ грн.}$$

Збільшення чистого прибутку підприємства протягом третього року (відносно базового року, тобто року до впровадження результатів наукової розробки) складе:

$$\Delta\Pi_3 = (1 \cdot 20000 + 160000 \cdot 20) \cdot 0,8333 \cdot 1 \cdot (1 - 0,18) = 2191530 \text{ грн.}$$

4.6 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та період їх окупності витрат на розробку оптичної транспортної мережі спеціального призначення

4.6.1 Визначення абсолютної ефективності вкладених інвестицій у розробку оптичної транспортної мережі спеціального призначення

Для цього користуються формулою:

$$E_{абс} = (ПП - PV), \quad (4.17)$$

де $ПП$ – приведена вартість всіх чистих прибутків, що їх отримає підприємство (організація) від реалізації результатів наукової розробки, грн.; PV – теперішня вартість інвестицій $PV = ZB$, грн.

У свою чергу, приведена вартість всіх чистих прибутків $ПП$ розраховується за формулою:

$$ПП = \sum_1^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1+\tau)^t} \quad (4.18)$$

де $\Delta\Pi$ – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої НДДКР, грн.; t – період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої НДДКР, роки; τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні; для України цей показник знаходиться на рівні 0,1; t – період часу (в роках) від моменту отримання чистого прибутку до точки „0”.

$$\begin{aligned} \text{ПП} &= (558090 / (1+0,1)^1) + (1102570 / (1+0,1)^2) + (2191530 / (1+0,1)^3) = \\ &= 3065100 \text{ грн.}, \end{aligned}$$

$$\text{Еабс} = 3065100 - 1013912 = 2051188 \text{ грн.}$$

Оскільки $\text{Еабс} > 0$, то результат від проведення наукових досліджень та їх впровадження принесе прибуток, але це також ще не свідчить про те, що інвестор буде зацікавлений у фінансуванні даного проекту (роботи).

4.7 Розрахунок відносної ефективності вкладених коштів в НДДКР оптичної транспортної мережі спеціального призначення

Для цього користуються формулою:

$$\text{Ев} = \sqrt[\tau]{1 + \frac{\text{Еабс}}{\text{PV}}} - 1, \quad (4.19)$$

де Еабс – абсолютна ефективність вкладених інвестицій, грн.; PV – теперішня вартість інвестицій $\text{PV} = \text{ЗВ}$, грн.; τ – життєвий цикл наукової розробки, роки.

$$\text{Ев} = \sqrt[3]{1 + \frac{2051188}{1013912}} - 1 = 0,44$$

Далі, розрахована величина Ев порівнюється з мінімальною (бар'єрною) ставкою дисконтування, що дорівнює:

$$\tau = d + f, \quad (4.20)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2021 році в Україні $d = (0,14 \dots 0,2)$; f – показник, що характеризує

ризикованість вкладень; зазвичай, величина $f = (0,05...0,1)$, але може бути і значно більше.

$$E_B = 0,44 \geq \tau = 0,14 + 0,05 = 0,19.$$

Оскільки величина $E_B > \tau_{\text{мін}}$, то інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки оптичної транспортної мережі спеціального призначення.

4.8 Розрахунок терміну окупності коштів, вкладених в наукову розробку оптичної транспортної мережі спеціального призначення

Термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій Ток можна розрахувати за формулою:

$$\text{Ток} = \frac{1}{E_B} = \frac{1}{0,44} = 2,3 \text{ роки.} \quad (4.21)$$

Оскільки Ток $< 3...5$ -ти років, то фінансування даної наукової розробки оптичної транспортної мережі спеціального призначення в принципі є доцільним.

Висновки до розділу: економічна частина даної магістерської роботи містить розрахунок витрат на розробку та виготовлення нового технічного рішення сума яких складає 456260,5 гривень. Було прогнозовано орієнтовану величину витрат по кожній з статей витрат. Також обраховано величину приведенного прибутку, який може отримати виробник від реалізації нового технічного рішення, який складатиме 3065100 грн., знайдено термін окупності витрат для виробника, що становить 2,3 роки та величину абсолютної ефективності вкладених інвестицій у розробку оптичної транспортної мережі спеціального призначення, яка склала 2051188 грн.

В результаті аналізу розрахунків можна зробити висновок, що розроблена оптична транспортна мережа спеціального призначення характеризується високими показниками якості та конкурентоспроможності і даний проект є привабливим з точки зору інвестиційної політики.

ВИСНОВКИ

1) У МКР виконано розробку та проектування волоконно-оптичної транспортної мережі спеціального призначення із високою пропускнуою здатністю.

2) Здійснено розрахунок дисперсії та втрат у волоконному світловоді, інших елементах ВОЛЗ. Проведено аналіз енергетичного балансу системи, виходячи з якого розраховано максимальну довжину регенераційної ділянки та кількість необхідних оптичних підсилювачів (2) для розрахованої довжини ділянки регенерації ВОЛЗ з урахуванням технології CWDM.

3) Розроблено структурні схеми мультиплексування, а також узагальнену схему волоконно-оптичного тракту і здійснено аналіз їх функціонування.

4) Проведено вибір елементної бази волоконного каналу зв'язку спеціального призначення. Для забезпечення особливих вимог системи планується обрати польовий броньований 8-жильний волоконно-оптичний кабель ОЛКК компанії Одескабель з удосконаленим оптичним комутатором та використанням нових типів лазерних трансиверів з когерентною модуляцією сигналів нового типу.

5) Проведені технічні та економічні розрахунки підтверджують працездатність спроектованої схеми ВОЛЗ з урахуванням запропонованих апаратних засобів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Иванов В. И, Цифровые и аналоговые системы передачи / В.Н. Гордиенко, Г.Н Попов., Л.Б. Аснин, В.Н. Репин, М.С Тверецкий, К.Е. Заславский, Р.И. Исаев // М.: Радио и связь – 1995. – 354 с.
2. Слепов Н.Н. Синхронные цифровые сети SDH // Эко–Трендз – 1997. – 234 с.
3. Гроднев И.И. Волоконно – оптические линии связи // М.: Радио и связь 1990 – С.391.
4. Убайдуллаев Р.Р. Волоконно оптические сети. // М.: Эко-Трендз 2001 – С.267.
5. Лисенко Г.Л. Аналіз і моделювання роботи оптичних комутаторів для високопродуктивних волоконно-оптичних мереж / С.Є. Тужанський, О.Ф. Абудайя // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005 - №2. – С. 69-76.
6. Натрошвили О.Г. Применение методов временного мультиплексирования оптических сигналов в системах волоконно-оптической связи компьютерных сетей / В. П. Кожемяко, А. И. Прангишвили // ВНТУ – 2009. - 221 с.
7. Андрушко Л. М. Справочник по волоконно-оптическим линиям связи / В.А. Вознесенский.// К.: Техника. – 1998. – 360 С.
8. Балашов Е. П. Эволюционный синтез систем / Е. П. Балашов, А. И. Кноль. – М. : Радио и связь, 1985. – 328 с.
9. Волоконна та інтегральна оптика. Ч.1. Навчальний посібник / Г. Л. Лисенко. – Вінниця : ВДТУ, 1998. – 127 с.
10. Дмитриев С. А. Волоконно-оптическая техника: современное состояние и перспективы / С. А. Дмитриев, Н. Н. Слепов. – М. : Изд. Connect, 2005. – 360 с.
11. Иванов А. Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения / А. Б. Иванов. – М. : Компания Сайрус Системс, – 1999. – 672 с.

12. Іоргачов Д. В. Волоконно-оптичні кабелі: теоретичні основи, конструювання і розрахунок, технологія виробництва та експлуатація: монографія / Д. В. Іоргачов, О. В. Бондаренко, О. Ф. Дашенко, А. В. Усов. – Одеса : Астропринт, 2000. – 536 с.

13. Кожем'яко В. П. Паралельно-ієрархічні мережі як структурно-функціональний базис для побудови спеціалізованих модулів образного комп'ютера: монографія. / В. П. Кожем'яко, Л. І. Тимченко, А. А. Яровий. – Вінниця : Універсум-Вінниця, 2005.–160 с

14. Миямото Т. Рамановское усиление уже применяется в системах CWDM / Т. Миямото, Р. Линдсэй. // Lightware Russian Edition. – 2005. – № 3. – С. 22–24.

15. Офіційна web-сторінка Fortis System [Електронний ресурс] // Кабельные системы CORNING. 2018. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.fortis-system.com.ua>.

16. Волоконно-оптичні кабелі [Електронний ресурс] // Одескабель. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <http://odeskabel.com/products/vok-kabeli/volonkonno-opticheskie-kabeli-modulnoj-konstruktsii/bronirovannyj-volonkonno-opticheskij-kabel-oklkk.html>.

17. Кучеренко О.К. Волоконна та інтегральна оптика : Навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані системи та технології» спеціалізації « Комп'ютерно-інтегровані оптико-електронні системи і технології» та спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка» спеціалізації «Фотоніка та оптоінформатика» [Текст] / Уклад.: О.К. Кучеренко. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 216с.

18. Гургенидзе А.Т., Корше В.И. Мультисервисные сети и услуги широкополосного доступа.– С.-П., 2003.– 434с.

19. Д.А.Мельников. Информационные процессы в компьютерных сетях.– М.:Кудиц-образ,1999. – 256с.

20. В.Г.Олифер, Н.А.Олифер. Компьютерные сети: принципы, технологии, протоколы. – М.:Питер, 2002. – 668с.

21. Методичні вказівки до виконання студентами-магістрантами економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. В. О. Козловський – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 22 с.

ДОДАТКИ

Додаток А
(обов'язковий)

ВНТУ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. каф. ЛОТ, проф. д.т.н.

_____ Н.І. Заболотна

«_____» _____ 2021р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи

ОПТИЧНА ТРАНСПОРТНА МЕРЕЖА
СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ
08-04. МКР.001.00.000 ТЗ

Керівник роботи

к.т.н., проф. кафедри ЛОТ
ВНТУ

_____ Лисенко Г.Л.

Виконавець: ст. гр. ЛТО-19мз

_____ Горшков В.В.

1 ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Робота проводиться на підставі наказу ректора по Вінницькому національному технічному університету №___ від __ _____ 2021 р. та індивідуального завдання на магістерську кваліфікаційну роботу.

Дата початку роботи: 16.02.2021 р.

Дата закінчення: 15.06.2021 р.

2 МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МКР

Метою роботи є удосконалення волоконно-оптичних технологій передачі даних для розширення функціональних можливостей роботи оптичних транспортних мереж державних підприємств, зокрема у секторі оборони і безпеки держави..

Об'єктом дослідження є процеси передачі даних у оптичних транспортних мережах..

Предмет дослідження – методи, засоби і архітектура оптичних транспортних мереж спеціального призначення.

Для досягнення поставленої мети у магістерській кваліфікаційній роботі розв'язуються такі *задачі*:

1) провести порівняльний аналіз сучасних технологій оптичних транспортних мереж, а також апаратних і програмних засобів оптичного тракту ділянки мережі спеціального призначення;

2) спроектувати схему оптичного лінійного тракту волоконної мережі спеціального призначення, обґрунтувати вибір елементної бази та архітектури мережі, здійснити аналіз втрат, дисперсії та енергетичного балансу мережі та її окремих вузлів;

3) виконати розрахунок параметрів та змодельовати роботу волоконно-оптичної лінії передачі та обладнання транспортної мережі спеціального призначення, проаналізувати функціонування її окремих вузлів;

4) удосконалити методикку передачі і технологію роботи оптичної мережі для розширення функціональних можливостей в умовах спеціального застосування;

5) розробити схеми основних функціональних вузлів мережі на основі сучасної елементної бази та проаналізувати їх роботу;

6) розрахунок економічної ефективності оптичної транспортної мережі

3 ДжЕРЕЛА РОЗРОБКИ МКР

Список використаних джерел:

1. Иванов В. И, Цифровые и аналоговые системы передачи / В.Н. Гордиенко, Г.Н. Попов., Л.Б. Аснин, В.Н. Репин, М.С. Тверецкий, К.Е. Заславский, Р.И. Исаев // М.: Радио и связь – 1995. – 354 с.

2. Слепов Н.Н. Синхронные цифровые сети SDH // Эко–Трендз – 1997. – 234 с.

3. Гроднев И.И. Волоконно – оптические линии связи // М.: Радио и связь 1990 – С.391.

4. Убайдуллаев Р.Р. Волоконно оптические сети. // М.: Эко-Трендз 2001 – С.267.

5. Лисенко Г.Л. Аналіз і моделювання роботи оптичних комутаторів для високопродуктивних волоконно-оптичних мереж / С.Є. Тужанський, О.Ф. Абудайя // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005 - №2. – С. 69-76.

6. Андрушко Л. М. Справочник по волоконно-оптическим линиям связи / В.А. Вознесенский.// К.: Техника. – 1998. – 360 С.

4 ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ МКР

Основними вимогами є:

- аналіз технологій оптичних транспортних мереж;
- моделювання параметрів мережі;
- розрахунок елементів оптичного тракту мережі; обґрунтування вибору елементної бази та оптичного кабелю;
- розробка структури і обґрунтування вибору компонентів оптичної мережі;
- економічний аналіз доцільності розробки.

5 ВИКОНАВЕЦЬ

Вінницький національний технічний університет, кафедра лазерної та оптикоелектронної техніки, студент групи ЛТО-19мз Горшков В.В.

6 ЕТАПИ МКР І ТЕРМІНИ ЇХ ВИКОНАННЯ

№	Назва та зміст етапу	Термін виконання		Очікувані результати	Звітна документація
		початок	закінчення		
1.	Розробка технічного завдання (ТЗ)	04.03.2021	14.03.2021	Розроблене ТЗ	Додаток А
2.	Аналіз технологій оптичних мереж	15.03.2021	30.03.2021	Проведений огляд літературних джерел	Вступ. Розділ 1
3.	Проектування елементів оптичного тракту мережі	31.03.2021	30.04.2021	Схема тракту, обґрунтування вибору елементів	Розділ 2
4.	Моделювання параметрів мережі і компонентів	01.04.2021	30.04.2021	Модель, програмне забезпечення, опис	Розділ 3
5.	Аналіз економічної ефективності розробки	01.05.2021	05.06.2021	Економічна частина	Розділ 4

7 ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОРЯДОК РЕАЛІЗАЦІЇ МКР

У результаті виконання роботи будуть розроблені:

- модель характеристик оптичного лінійного тракту;
- розрахунок оптичного волокна і кабелю;
- схеми оптичного комутатора;

- схеми основних функціональних вузлів мережі;
- економічна частина МКР.

Результати, отримані в процесі виконання роботи, можуть бути впроваджені для побудови оптичних транспортних мереж спеціального призначення, в науково-дослідних роботах.

8 МАТЕРІАЛИ ЯКІ ПОДАЮТЬ ПІСЛЯ ЗАКІНЧЕННЯ РОБОТИ ТА ПІД ЧАС ЕТАПІВ

За результатами виконання МКР до ЕК подаються пояснювальна записка, графічна частина МКР, рецензія.

9 ПОРЯДОК МКР ТА ЇЇ ЕТАПІВ

Поетапно результати виконання МКР розглядаються керівником роботи та обговорюються на засіданні кафедри.

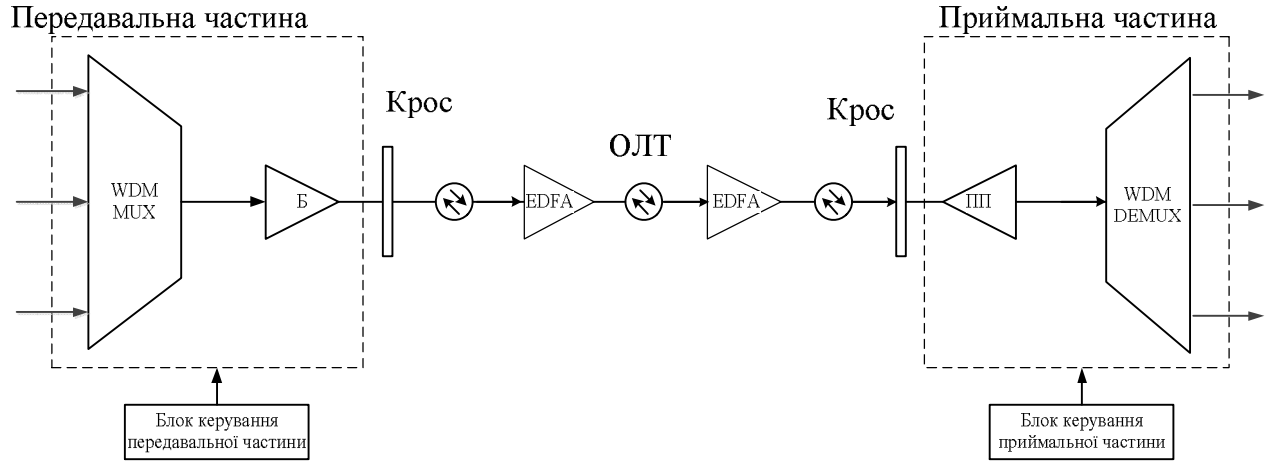
Захист магістерської кваліфікаційної роботи відбувається на відкритому засіданні ЕК.

10 ВИМОГИ ЩОДО ТЕХНІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ З ОБМЕЖЕНИМ ДОСТУПОМ

У зв'язку з тим, що інформація не є конфіденційною, заходи з її технічного захисту не передбачаються.

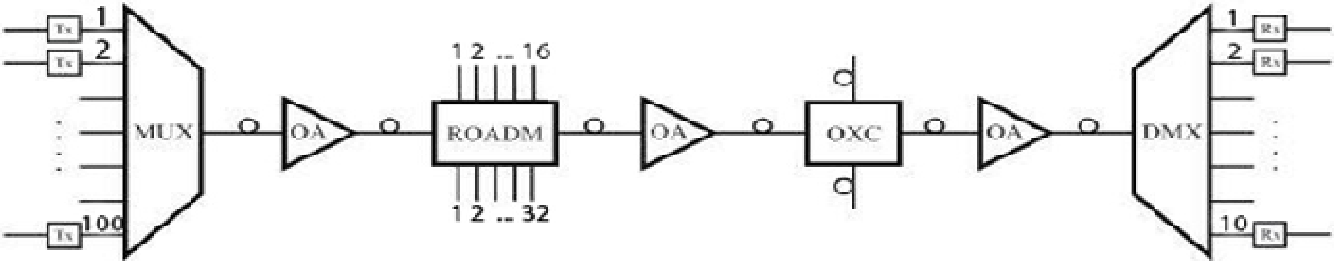
Додаток Б
(обов'язковий)

Оптична транспортна мережа. Узагальнена схема



Додаток В
(обов'язковий)

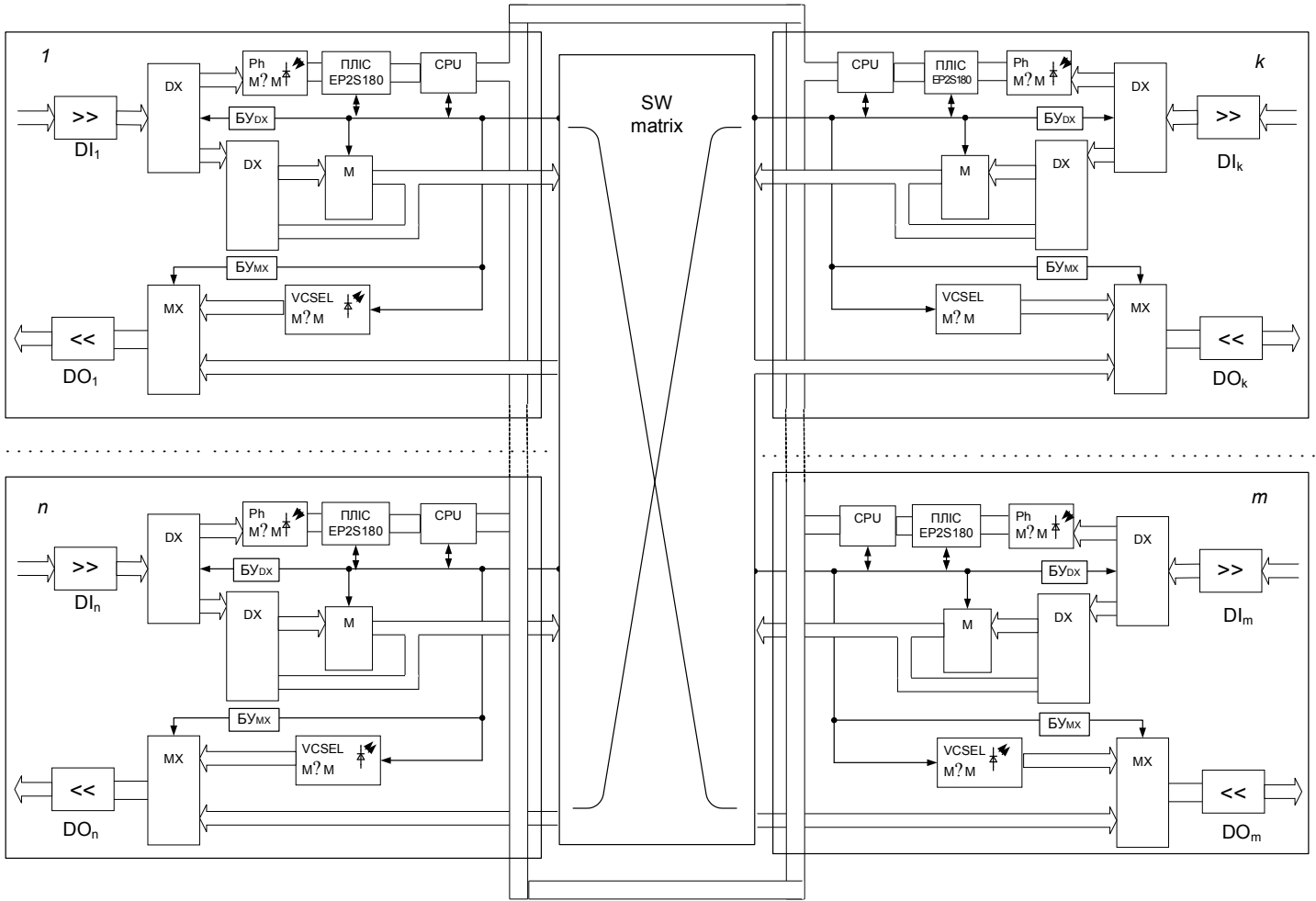
Оптичний лінійний тракт мережі. Варіант реалізації



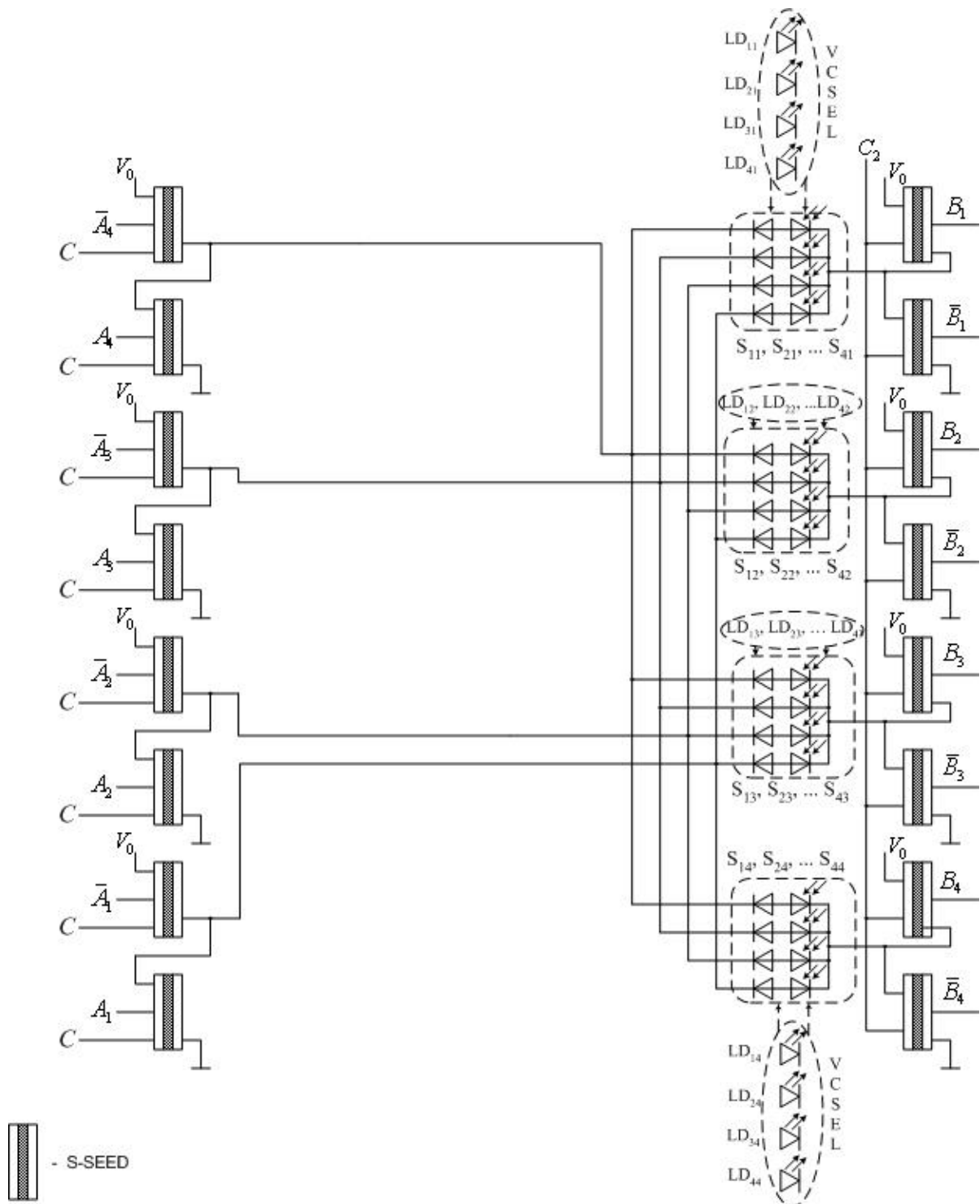
MUX/DMX – Мультиплексор/демультиплексор
ROADM – Мультиплексор введення/виведення

OA – Оптичний підсилювач
OXC – Оптичний крос-комутатор

Додаток Г
 (обов'язковий)
 Схема структурна оптичного комутатора



Додаток Е
(обов'язковий)
Схема базової комірки оптичного комутатора



Додаток Е
(обов'язковий)
Схема додаткового захисту мережі

