

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет

Інфокомунікацій

(повна назва)

Кафедра

Інформаційно-мережної інженерії

(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

рівень вищої освіти

другий (магістерський)

Модернізація ділянки транспортної мережі
на базі обладнання DWDM

(тема)

Виконав:

студент 2 курсу, групи ІМІМ-22-1

Лукінов І.М.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 172 «Телекомунікації

та радіотехніка»

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма

«Інформаційно-мережна інженерія»

(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Рапін В.В.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

(підпис)

Безрук В.М.

(прізвище, ініціали)

2024 р.

Не містить відомостей заборонених до відкритого публікування.

Студент

/ Лукінов І.М. /

Керівник

/ Рапін В.В. /

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інфокомунікацій

Кафедра Інформаційно-мережної інженерії

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма «Інформаційно-мережна інженерія»
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

«_____» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Лукінову Івану Михайловичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Модернізація ділянки транспортної мережі на базі обладнання DWDM

затверджена наказом університету від 23 жовтня 2023 р. № 1233 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 11 січня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Провести модернізацію ділянки транспортної мережі оператора та пуско-налагодження нового обладнання. Ділянка мережі, що модернізується, складається з 23 вузлів (№1-23) які представляють собою 2 транспортних кільця, пов'язаних між собою. Базове обладнання Huawei Optix Metro 6100, 6040, яке забезпечує логічну топологію - лінія. Пропускна здатність системи становила 10 Гбіт/с і, відповідно, розподілялася рівномірно по всім вузлам лінії. Модернізація мережі повинна забезпечити підвищення якості обслуговування, збільшення пропускної спроможності мережі та підвищення надійності каналів зв'язку При розробці кабельну структуру залишити незмінною.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

Вступ

1. Огляд базових технологій передачі на магістральних лініях зв'язку

2. Аналіз можливостей систем хвильового мультиплексування

3. Основні рішення з модернізації транспортної мережі

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) назва, мета і актуальність кваліфікаційної роботи; мета та завдання роботи; огляд технологій передачі даних на магістральних лініях зв'язку; побудова DWDM системи та її спектр; типова система DWDM; проектування вузлів регіональної мережі та вибір їх частот; структурна схема мережі; розрахунок навантаження на обладнання; вибір обладнання відповідно до розрахунків; тестування обладнання та лінії зв'язку, висновки

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Ознайомлення із завданням. Уточнення ТЗ.	23.10.23	виконано
2	Підбір літератури за темою роботи.	24.10-01.11.23	виконано
3	Огляд базових технологій передачі на магістральних лініях зв'язку	02.11-20.11.23	виконано
4	Аналіз можливостей систем хвильового мультиплексування	21.11-20.12.23	виконано
5	Основні рішення з модернізації транспортної мережі	21.12.23-09.01.24	виконано
6	Оформлення презентаційного матеріалу, підготовка до захисту в ЕК	10.01-11.01.24	виконано

Дата видачі завдання 23 жовтня 2023 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____ проф. Рапін В.В.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка 84с., 7 рис., 28 табл., 12 джерел, 1 додаток.

Об'єкт дослідження – транспортна мережа DWDM.

Мета роботи – модернізація транспортної мережі.

Оператори зв'язку для того, щоб залишатися конкурентоспроможними повинні усвідомлювати, що їхні мережі зв'язку потребують постійної модернізації з точки зору підвищення пропускної здатності та гнучкості у різновидах видів трафіку та послуг що можуть передаватися мережею. Постійне, планомірне оновлення обладнання, впровадження нових технологій дозволяє нарощувати абонентську базу, збільшувати швидкість з'єднання, а також розширювати спектр послуг і сервісів.

У роботі розглянуті основні етапи модернізації транспортної мережі зв'язку. Проаналізовано існуючу мережу, визначено її основні недоліки та запропоновано шляхи їх вирішення. Для покращення якості обслуговування та підвищення пропускної спроможності обрано нове обладнання, враховано його сумісність з тим що використовується у регіональній мережі та проведено необхідні розрахунки та тестування з метою відповідності нової мережі до стандартів зв'язку.

ТРАНСПОРТНА ОПТИЧНА МЕРЕЖА, DWDM, SDH, ОПТИЧНИЙ КАНАЛ МОНІТОРИНГУ, НАВАНТАЖЕННЯ НА КАНАЛ ЗВ'ЯЗКУ.

THE ABSTRACT

Explanatory slip 84 p., 7 fig., 28 tab., 12 sources, 1 attach.

Object of research - DWDM transport network.

The purpose of the work - modernization of the transport network.

In order to remain competitive, communication operators must realize that their communication networks need constant modernization in terms of increased bandwidth and flexibility in the variety of types of traffic and services that can be transmitted through the network. Constant, systematic updating of equipment, introduction of new technologies allows to increase the subscriber base, increase connection speed, and also expand the range of services.

The work considers the main stages of modernization of the transport communication network. The existing network was analyzed, its main shortcomings were identified, and ways to solve them were proposed. In order to improve the quality of service and increase the bandwidth, new equipment was selected, its compatibility with that used in the regional network was taken into account, and the necessary calculations and testing were carried out in order to make the new network compliant with communication standards.

TRANSPORT OPTICAL NETWORK, DWDM, SDH, OPTICAL CHANNEL MONITORING, COMMUNICATION CHANNEL LOAD.

ЗМІСТ

	С.
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	11
1 ОГЛЯД БАЗОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕДАЧІ НА МАГІСТРАЛЬНИХ ЛІНІЯХ ЗВ'ЯЗКУ.....	12
1.1 Цілі та завдання роботи.....	12
1.2 Огляд, аналіз та порівняння технологій передачі даних на магістральних лініях зв'язку.....	12
1.2.1 Часове мультиплексування.....	12
1.2.2 Хвильове мультиплексування WDM.....	15
1.3 Порівняння WDM та TDM.....	17
1.4 Огляд стандартів у галузі побудови магістральних ліній зв'язку DWDM.....	18
2 АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ СИСТЕМ ХВИЛЬОВОГО МУЛЬТИПЛЕКСУВАННЯ.....	22
2.1 Огляд принципів технології DWDM.....	22
2.2 Застосування систем хвильового мультиплексування на магістральних лініях зв'язку.....	24
2.3 Структура обладнання DWDM.....	25
2.3.1 Загальний опис систем DWDM.....	25
2.3.2 Компоненти системи DWDM.....	26
2.4 Організація управління та моніторингу мережі DWDM.....	27
2.4.1 Оптичний канал моніторингу.....	27
2.4.2 Вимоги до оптичного каналу моніторингу (OSC).....	28
2.4.3 Параметри інтерфейсів каналу моніторингу.....	29
3 ОСНОВНІ РІШЕННЯ З МОДЕРНІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ.....	31
3.1 Аналіз загальної структури мережі.....	31
3.2 Аналіз параметрів лінії зв'язку.....	35
3.3 Розрахунок довжини регенераційної ділянки.....	37
3.3.1 Протяжність лінії. Розрахунок довжини регенераційної ділянки з урахуванням хроматичної дисперсії.....	37
3.3.2 Розрахунок довжини регенераційної ділянки з	

урахуванням поляризаційно-модової дисперсії (PMD).....	39
3.3.3 Розрахунок експлуатаційного запасу із згасанням.....	40
3.4 Розрахунок запланованого обсягу передачі даних.....	41
3.4.1 Методика розрахунку навантаження на обладнання та канали зв'язку регіональних сегментів.....	41
3.4.2 Загальні відомості про проведені розрахунки.....	51
3.4.2.1 Розрахунок навантаження на канали зв'язку.....	51
3.4.2.2 Розрахунок навантаження на обладнання.....	53
3.5 Організація управління.....	54
3.6 Вибір обладнання.....	54
3.6.1 Вибір обладнання відповідно до проведених розрахунків.....	54
3.6.2 Вибір обсягу та характеристик кабелів.....	58
3.7 Планування розміщення обладнання.....	60
3.7.1 Вибір місця розташування обладнання.....	60
3.7.2 Вибір траси прокладання кабелів.....	61
3.8 Електроживлення обладнання.....	61
3.9 Налаштування програмного забезпечення обладнання DWDM.....	62
3.9.1 Розробка плану налаштування.....	62
3.9.2 Виконання програмного налаштування обладнання OSN8800.....	63
3.10 Тестування лінії зв'язку DWDM, що модернізується.....	64
ВИСНОВКИ.....	73
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	75
ДОДАТОК А СЛАЙДИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ.....	76

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- DSL – Digital subscriber line –цифрова абонентська лінія;
- DSLAM – Digital subscriber line access concentrator – концентратор цифрових каналів абонентського доступу;
- DWDM – Dense Wavelength-Division multiplexing – щільні системи спектрального ущільнення каналів;
- GE – Gigabit Ethernet –розширення стандарту IEEE 802.3 Ethernet;
- HD – High definition – відео високої чіткості;
- IETF – Internet Engineer Task Force - –організація з розвитку мережі Інтернет;
- IP – Internet Protocol – інтернет протокол;
- IP-TV – телемовлення по мережах IP;
- IP VPN – Virtual Private Network - віртуальна приватна мережа 3-го рівня OSI;
- ISP – Internet Service Provider - сервіс-провайдер Інтернет-послуг;
- ITU-T – International Telecommunications Union-Telecommunications standardization sector - Міжнародний Союз електрозв'язку - Сектор стандартизації для телекомунікацій; випускає "рекомендації" стандартних протоколів;
- L2 – Layer 2 ISO OSI. Другий рівень моделі OSI міжмережевої взаємодії;
- OSI - Open Systems Interconnection – взаємодія відкритих систем;
- QoS – Quality of Service - якість обслуговування - концепція, що забезпечує виділення мережевих ресурсів, необхідні роботи програми;
- RFC – Request for Comments, RFC - документ із серії пронумерованих інформаційних документів Інтернету, що містять технічні специфікації та Стандарти;
- SDH – Synchronous Digital Hierarchy – синхронна цифрова ієрархія;
- STM – Synchronous Transfer Mode - синхронний транспортний модуль;
- TCP – Transmission Control Protocol – протокол контролю передачі;
- TDM – Time-division multiplexing – мультиплексування за часом;
- UTP – неекранована кручена пара;
- VoD – відео на вимогу;
- VLAN – Virtual Local Area Network – віртуальна приватна мережа;

VoIP – Voice over IP – технологія передачі голосових сигналів за протоколом IP;

VPN – Virtual Private Network – приватна віртуальна мережа;

WAN – Wide Area Network – глобальна мережа;

ММЗ – мультисервісна мережа зв'язку;

ПЗ – програмне забезпечення;

ПВ – периферійний вузол ММЗ;

ВА – вузол агрегації;

ВД – вузол доступу;

ЧНН – час найбільшого навантаження;

ЦП – центральний пункт регіонального сегмента ММЗ;

ШСД – широкосмуговий доступ до послуг ММЗ.

ВСТУП

Нині обсяг інформації постійно зростає. Це насамперед пов'язано з розвитком глобальної мережі Internet та збільшенням у частки мультимедійного трафіку відносно всього потоку даних що передаються у інфокомунікаційних мережах.

Постійно зростаючі обсяги інформації, що передається, накладають певні вимоги до мереж передачі даних. Оператори зв'язку для того, щоб залишатися конкурентоспроможними повинні усвідомлювати, що їхні мережі зв'язку потребують постійної модернізації з точки зору підвищення пропускної здатності та гнучкості у різновидах видів трафіку та послуг що можуть передаватися мережею. Постійне, планомірне оновлення обладнання, впровадження нових технологій дозволяє нарощувати абонентську базу, збільшувати швидкість з'єднання, а також розширювати спектр послуг і сервісів.

Будь-яка мультисервісна мережа потребує якісного «транспорту». Транспортні мережі об'єднують рознесені у просторі сегменти інфокомунікаційних мереж. Тому вони повинні мати велику пропускну здатність для передачі різнорідного трафіку, а також мати великий рівень надійності, оскільки будь-яка аварія на проміжному сегменті такої мережі може призвести до втрати величезної кількості інформації. Транспортна мережа повинна своєчасно модернізуватися та розширюватися, інакше будь-які нововведення на абонентської частини мережі будуть неефективними.

Тому перед безпосередньою модернізацією мережі рівня регіону чи міста необхідно, в першу чергу, модернізувати транспортну мережу, щоб вона відповідала тим вимогам щодо пропускної спроможності, надійності, масштабованості та розширюваності, які будуть пред'являтися до неї мультисервісною мережею вже після її модернізації. Даному питанню і буде присвячена кваліфікаційна робота магістра.

1 ОГЛЯД БАЗОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕДАЧІ НА МАГІСТРАЛЬНИХ ЛІНІЯХ ЗВ'ЯЗКУ

1.1 Цілі та завдання роботи

Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка проекту модернізації ділянки транспортної мережі оператора та пуско-налагодження нового обладнання.

Завданням роботи є наступні етапи:

- вивчити технічний стан ділянки транспортної мережі, що підлягає модернізації;
- оцінити параметри лінії зв'язку;
- розрахувати обсяги передачі даних на ділянці мережі, що модернізується;
- обґрунтувати вибір нового обладнання;
- вибрати місце розміщення обладнання;
- здійснити налаштування нового обладнання;
- провести необхідні тести обладнання та лінії.

1.2 Огляд, аналіз та порівняння технологій передачі даних на магістральних лініях зв'язку

1.2.1 Часове мультиплексування

Смуга пропускання оптичного волокна значно ширша, ніж потрібно практично будь-якому окремо взятому додатку. Необхідність максимально ефективно використовувати можливості передачі інформації з оптичного волокна послужила поштовхом для інтенсивних досліджень.

Першою у волоконно-оптичних лініях стали застосовувати технологію TDM, яка до цього широко використовується у звичайних системах електрозв'язку. Ця технологія передбачає об'єднання кількох вхідних низькошвидкісних каналів в один складений високошвидкісний канал. Вхідні канали по черзі модулюють високочастотну несучу протягом виділених коротких проміжків часу (тайм-слотів), які повторюються у певному періоді. Наприклад, протягом першого тайм-слота несуча модулюється першим вхідним каналом, протягом другого - другим, протягом третього - третім, протягом четвертого -

четвертим, протягом п'ятого - знову першим, протягом шостого - знову другим і т.д. відповідно до рис. 1.1 [1].

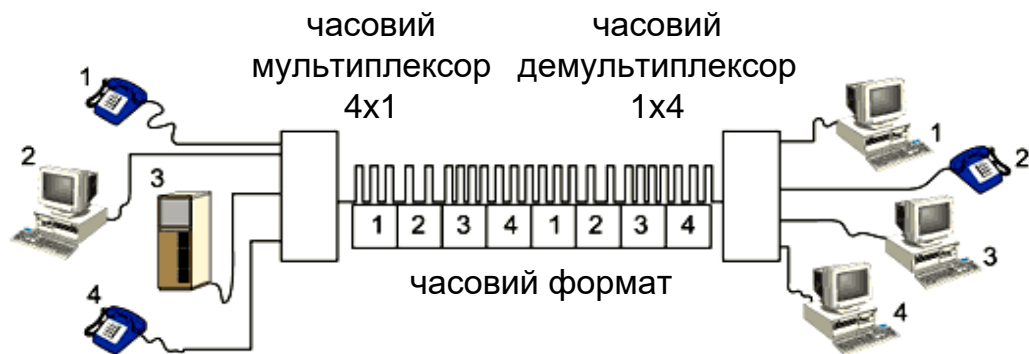


Рисунок 1.1 – Принцип передачі інформаційних каналів у системах TDM

Мультиплексор на одній стороні каналу зв'язку збирає та об'єднує дані з усіх джерел та передає їх по волокну протягом відповідних тайм-слотів. Демультимплексор на іншій стороні лінії зв'язку виділяє тайм-слоти, зчитує дані та передає їх відповідним користувачам у вигляді єдиних вихідних потоків.

Груповий сигнал, сформований внаслідок об'єднання в часі може поєднуватися з іншими аналогічними сигналами в груповий сигнал більш високого рівня. Система групоутворення різних рівнів має назву цифрової ієрархії. При цьому через нестабільність генераторного встаткування й різниці швидкостей передачі досить часто виникає потреба в погоджуванні швидкості потоків на вході встаткування групоутворення з потоком на виході. Цифрові системи передачі, які працюють за даними стандартами є плезіохронними («як би синхронними»), тобто передача здійснюється з однаковою номінальною швидкістю, однак миттєве значення швидкості передачі через нестабільність місцевих генераторів може змінюватися в деяких межах. Тому така ієрархія має назву плезіохронної (Plesiochronous Digital Hierarchy, PDH) [2].

Використання технології TDM дозволило збільшити пропускну спроможність волоконно-оптичних ліній зв'язку до 140 Мбіт/с для потоків даних рівня E4. Однак на сьогоднішній день вже було досягнуто рівня передачі зі швидкістю 10 Гбіт/с. Дана швидкість передачі певною мірою розмежовує два типи систем TDM. Вище за цю швидкість деякі основні характеристики оптичного волокна – поляризаційна модова дисперсія та хроматична дисперсія – починають значно впливати на якість передачі і повинні братися до уваги при

розробці систем зв'язку. Це є серйозною перешкодою для розробок систем TDM, що ведуться в даний час, зі швидкостями передачі 40 Гбіт/с і вище. Крім того, для подальшого збільшення швидкості потрібні нові методи модуляції лазерного випромінювання, що веде до зростання складності та вартості приймального обладнання [10].

Незважаючи на всі труднощі, швидкість передачі цифрових мереж зв'язку постійно зростає. У 1999 року було досягнуто швидкості у 40 Гбіт/с (рівень STM-256). Незважаючи на те, що комерційне впровадження ліній зв'язку рівня STM-256 є поки що малоімовірним, найбільші телекомунікаційні компанії вже повідомили про проведення успішних лабораторних випробувань систем передачі зі швидкістю 40 Гбіт/с на лініях зв'язку довжиною 100 км і більше. Експериментальні лінії зв'язку рівня STM-256 поки що не в повному обсязі підтримують функції введення та виведення каналів ADM (Add/Drop Multiplexing) та крос-комутації [10].

Очікується швидка поява на ринку обладнання цифрових систем передачі SDH, що забезпечують мультиплексування потоків рівня STM-16 і STM-64 високошвидкісні потоки рівня STM-256. Очевидно, перші лінії зв'язку рівня STM-256 будуть застосовуватися в мережах міського та регіонального масштабу. У міру збільшення дальності передачі та появи досконаліших методик компенсації різних негативних факторів лінії зв'язку рівня STM-256 будуть знаходити все більш широке застосування.

Однією з перспективних технологій дальнього зв'язку також розглядається солітонна передача даних. Солітон – це особливий вид світлового імпульсу, який при поширенні у певному середовищі, і зокрема – оптичному волокні, зберігає свою форму (переважно гаусову). При підсиленні солітону через рівні відстані, він теоретично може поширюватися скільки завгодно далеко. Це з урахуванням того, що показник заломлення середовища, у якому поширюється солітон, має невелику добавку, яка квадратично залежить від потужності сигналу. При малих потужностях сигналу цією добавкою можна знехтувати. Однак при поширенні солітону, що є хвильовим пакетом великої потужності, нелінійні явища і хроматична дисперсія за певних умов можуть компенсувати зміни форми солітону. При цьому солітон має виняткову стабільність параметрів поширення і стійкість до зовнішніх впливів. Незважаючи на те, що дальність поширення солітонів і обмежена загасанням сигналу у волокні, ця технологія може успішно застосовуватися для передачі сигналів великої потужності на великі відстані [1].

Незалежно від того, чи стане технологія TDM універсальним протоколом, таким як IP, чи буде адаптоване відповідно до стандартів SDH, найближчими роками її продовжать використовувати багато операторів, як базове кільце при побудові магістральних мереж рівня міста. "Друге дихання" технології TDM забезпечують успіхи у вивченні солітонів. Однак паралельно з технологією TDM може використовуватись технологія WDM для підвищення її ефективності.

1.2.2 Хвильове мультиплексування WDM

У технології WDM відсутні багато обмежень та технологічних труднощів, властивих TDM. Для підвищення пропускної здатності замість збільшення швидкості передачі в єдиному складеному каналі, як це реалізовано в технології TDM, в технології WDM збільшують число каналів (довжин хвиль), що застосовуються в одному оптичному волокні системи передачі (рис. 1.2).

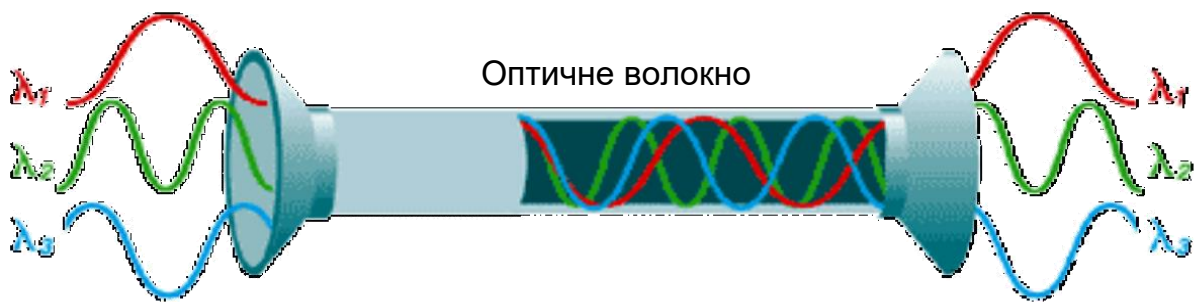


Рисунок 1.2 - Передача сигналу за технологією WDM

Відповідно до Рекомендації ITU-T G.692, до систем передачі з WDM пред'являються вимоги сумісності по оптичним інтерфейсам з існуючими системами передачі апаратури TDM (наприклад, SDH або 10 Gigabit Ethernet). Це обумовлено тим, що обидві технології WDM і TDM застосовуються для збільшення інформаційної пропускної здатності мережі. Технологія WDM може використовуватись паралельно з технологіями TDM для підвищення їхньої ефективності, тому вони доповнюють одна одну. У системі WDM по одному волокну можна передавати декілька мультиплексованих сигналів систем TDM одночасно на різних довжинах хвиль, тобто можна застосувати хвильове мультиплексування до окремих TDM-каналів [2].

Зростання пропускної здатності під час використання технології WDM здійснюється без дорогої заміни оптичного кабелю. Застосування технології

WDM дозволяє здавати у найм як оптичні кабелі чи волокна, так і окремі довжини хвиль, тобто реалізувати концепцію «віртуального волокна». По одному волокну на різних довжинах хвиль можна одночасно передавати різні види трафіку - кабельне телебачення, телефонію, трафік Інтернет, "відео на вимогу" і т.д. Також частину волокон в оптичному кабелі можна використовувати для резерву.

Застосування технології WDM дозволяє виключити додаткове прокладання оптичних кабелів у існуючій мережі. Навіть якщо в майбутньому вартість волокна зменшиться за рахунок використання нових технологій, волоконно-оптична інфраструктура (прокладене волокно та встановлене обладнання) завжди коштуватиме досить дорого. Для її ефективного використання, необхідно мати можливість протягом тривалого часу збільшувати пропускну спроможність мережі та змінювати набір послуг без заміни оптичного кабелю. Технологія WDM надає таку можливість.

Технологія WDM поки застосовується переважно на лініях зв'язку великої протяжності, де потрібна велика смуга пропускання. Мережі міського та регіонального масштабу та системи кабельного телебачення потенційно також є широким ринком для технології WDM [1].

Необхідність ефективно використовувати прокладений кабель призвела до значного збільшення числа каналів, що передаються по одному волокну, та зменшення відстані між ними. В даний час системи із частотним інтервалом між каналами 100 ГГц (~ 0,8 нм) і менше називають системами щільного хвильового мультиплексування DWDM. Теоретично можлива передача в будь-якому діапазоні довжин хвиль, проте практичні обмеження залишають для використання в системах WDM вузький діапазон навколо довжини хвилі 1550 нм. Але навіть цей діапазон надає величезні можливості передачі даних [1].

Численні переваги систем DWDM відбиваються у їхній ціні. По-перше, стають винятково важливими багато властивостей оптичних компонентів та характеристики оптичного кабелю. По-друге, вимоги до архітектури мережі та вибору компонентів систем WDM є жорсткішими, ніж, наприклад, для систем TDM рівня STM-16.

Спільне застосування технологій TDM і WDM дозволяє значно розширити спектр послуг провайдера, залишаючи практично без змін більшу частину наявного обладнання. Застосування технології WDM дає численні переваги, проте потребує високого рівня підготовки технічного персоналу та сучасного контрольно-вимірювального обладнання.

1.3 Порівняння WDM та TDM

Обидві технології WDM та TDM застосовуються для збільшення інформаційної пропускної спроможності мережі. Хоча вони не виключають, а швидше доповнюють одна одну, можна порівняти такі характеристики, як гнучкість структури ліній зв'язку та швидкість передачі.

Гнучкість структури ліній зв'язку

У принципі, технологія TDM дає можливість передачі по лінії зв'язку канали, які будуть різнорідні за типом даних, що передаються. Технологія TDM дозволяє розділити волоконно-оптичний кабель на безліч каналів, по яким з різними швидкостями передаються різні типи трафіку. Можливі різні способи розподілу тайм-слотів. Вони можуть бути постійно закріплені за певними програмами або виділяться на вимогу DAMA (Demand Assignment Multiple Access). Можна змінювати тривалість тайм-слотів або повністю їх виключити. Незважаючи на всі ці можливості, технологія TDM працює найкраще, коли по всіх логічних каналах передається один тип трафіку, а всі тайм-слоти мають однакову тривалість та постійно закріплені за окремими каналами, адже першочергово ця технологія була розроблена під телефонні мережі загального користування. Цей варіант технології TDM досить простий у реалізації та управлінні, та його експлуатаційні витрати також менше.

У технології WDM канали повністю незалежні, тому вона дає більшу гнучкість, ніж технологія TDM. WDM дозволяє без будь-яких труднощів передавати лінією зв'язку безліч каналів з різними типами трафіку і швидкостями передачі. По різних каналах WDM в одному волокні може передаватися трафік Ethernet (10/100/1000Мбіт/с), цифрове відео та тестові сигнали, і ця система буде легко керуватися [2].

Додавання нових каналів в існуючу систему WDM не викликає проблем і не вимагає заново розподіляти всі тайм-слоти, як у технології TDM.

Швидкість передачі

У технології TDM пропускна здатність збільшується за рахунок збільшення швидкості передачі бітів лінії зв'язку. Наскільки швидкою може бути зроблена ця швидкість – у межах певних фундаментальних обмежень оптичного волокна – залежить від електронних компонентів, що використовуються. Щоб отримувати дані від кожного джерела, зберігати їх, передавати протягом

відповідних тайм-слотів, зчитувати та коректно доставляти одержувачу, потрібне застосування цифрових інтегральних схем. Всі ці цифрові компоненти повинні працювати зі швидкістю, що дорівнює або близька до сумарної швидкості передачі лінії зв'язку. Тобто, для кожного каналу, незалежно від його пропускної спроможності, має бути встановлене електронне обладнання, здатне підтримувати повну пропускну спроможність лінії зв'язку.

Оптичне волокно дозволяє передавати дані зі швидкістю кілька Тбіт/с, тоді як комерційно доступні цифрові електронні пристрої нині виконують лише близько 1 мільярда операцій на секунду (1 Гбіт/с). Незважаючи на те, що швидкодія електронних пристроїв продовжує зростати, технологія TDM завжди матиме економічні обмеження через необхідність встановлення кожного каналу найсучаснішого обладнання. Це обмеження стосується як глобальних, і локальних мереж передачі.

Хоча до кінцевого електронного обладнання для окремих каналів WDM і висуваються певні вимоги, як і в системах TDM, все інше обладнання в каналі може підтримувати лише швидкість передачі одного конкретного каналу, а не повну швидкість складеного сигналу. Таким чином, повна пропускну здатність лінії зв'язку не обмежена швидкістю роботи електронних пристроїв, що використовуються. При необхідності повну пропускну здатність можна збільшити в будь-який момент, просто додавши в існуючу систему WDM ще кілька каналів. Найшвидшу лінію зв'язку TDM, яку тільки можна створити з використанням найсучаснішої техніки, у системі WDM можна передавати як один із багатьох каналів. Тому технологія WDM дозволяє досягти сумарної швидкості передачі по лінії зв'язку, яку можна порівняти з загальною пропускну здатністю, що може надаватися оптичним волокном.

Отже можна зробити висновок що на сьогоднішній день саме технологія WDM має найкращі показники для передачі даних по волоконно-оптичним лініям передачі. Але для кращої взаємодії з мережами рівня міста необхідна їх повна сумісність із технологією TDM. Спільне застосування технологій TDM і WDM дозволяє значно розширити спектр послуг з одночасним збільшенням пропускної здатності й дальності передачі інформаційних потоків, залишаючи практично без змін більшу частину наявного встаткування.

1.4 Огляд стандартів у галузі побудови магістральних ліній зв'язку DWDM

Стрімкий розвиток технології DWDM та зростаюча необхідність використовувати її переваги на практиці призвели до того, що безліч національних та міжнародних організацій почали займатися розробкою необхідних стандартів.

У США стандартизацією для низки областей промисловості, у тому числі і для волоконно-оптичних телекомунікацій, займаються організація ТІА (Telcordia Technologies (раніше Bellcore)) та Інститут інженерів з електротехніки та електроніки ІЕЕЕ (Institute of Electrical and Electronics Engineers). На міжнародному рівні стандарти у формі рекомендацій встановлюються двома основними організаціями: ІЕС та ІТУ. Обидві організації мають штаб-квартири в Женеві (Швейцарія) [3].

Міжнародна телекомунікаційна спілка ІТУ

Міжнародна телекомунікаційна спілка ІТУ – це багатопрофільна спілка при ООН, яка об'єднує приватний та державний сектори для координації діяльності в галузі глобальних мереж зв'язку. В основному ІТУ займається стандартами на застосування технологій та обладнання. У ІТУ є відділи радіозв'язку ІТУ-R, стандартизації телекомунікацій ІТУ-T та розвитку телекомунікацій ІТУ-D. Відділ стандартизації телекомунікацій ІТУ-T найбільше пов'язані з волоконно-оптичними мережами. У ньому розробляються стандарти у формі рекомендацій на технічне забезпечення, організацію роботи та встановлення тарифів у галузі глобальних телекомунікацій. У відділі ІТУ-T працюють чотирнадцять дослідницьких груп SG (Study Group), у кожній із яких є представники всіх країн-членів ІТУ. Кожні чотири роки представники всіх країн-членів ІТУ збираються на Всесвітні конференції зі стандартизації в галузі телекомунікацій WTSC (World Telecommunication Standardization Conference) та визначають основні напрямки діяльності цього сектора, формують нові робочі групи та затверджують план робіт на наступні чотири роки. Стандарти ІТУ не є обов'язковими, але широко підтримуються, оскільки полегшують взаємодію між мережами зв'язку та дозволяють провайдерам надавати послуги по всьому світу [1].

Дослідницька група SG 15 відділу ІТУ-T

У відділі ІТУ-T до роботи над конкретними завданнями формуються спеціальні групи, які розпускаються після завершення робіт. Наразі працюють п'ятнадцять таких дослідницьких груп, включаючи групу SG 15 (Транспортні мережі, системи та обладнання), яка найбільш тісно пов'язана із системами DWDM.

Група SG 15 займається розробкою міжнародних стандартів у галузі транспортних мереж, систем та обладнання, включаючи комутацію та процеси обробки сигналів. Наприклад, нещодавно група SG 15 почала працювати в галузі стандартизації передачі даних по волоконно-оптичних мережах з використанням протоколу IP (Internet Protocol). Одна з найважливіших сфер діяльності, яка приваблює до ІТУ-Т безліч нових організацій – стандартизація доступу, зокрема для оптичних мереж. На даний момент до групи SG 15 входить понад 345 членів з 26 країн та 78 наукових та промислових організацій. Це одна з найбільших дослідницьких груп у відділі ІТУ-Т [1].

Міжнародна електротехнічна комісія ІЕС

На відміну від Міжнародного телекомунікаційного союзу ІТУ, який розробляє стандарти на застосування технологій та обладнання (стандартизує протоколи, чітко визначає та описує характеристики різних явищ у лінії зв'язку, стандартизує способи розподілу каналів тощо), Міжнародна електротехнічна комісія ІЕС розробляє стандарти для обладнання. Діяльність ІЕС не обмежується телекомунікаціями і включає також такі галузі, як електроніка, магнетизм та електромагнетизм, електроакустика, вироблення та розподіл енергії [1].

Близько 50 країн є повноправними членами ІЕС. Усі вони мають рівні права при голосуванні та представлені Національними комітетами (National Committees). Кожен Національний комітет представляє інтереси своєї країни у галузі електротехніки та включає як представників держави, так і представників приватних компаній. Спільна робота Національних комітетів спрямована на досягнення згоди у галузі стандартів на міжнародному рівні. Країни-кандидати у члени ІЕС мають статус спостерігачів і не можуть брати участь у голосуванні. Встановлюючи міжнародні стандарти та готуючи технічні доповіді, ІЕС забезпечує національним агентствам зі стандартизації тверду основу для розробки регулюючих стандартів [1].

Дотримання стандартів ІЕС є добровільним, навіть для країн-членів ІЕС.

Інтереси тих, хто розробляє стандарти обладнання, загалом збігаються з інтересами тих, хто розробляє стандарти застосування технологій і устаткування. Тому не дивно, що сфери діяльності технічного комітету ТС 86 ІЕС і ІТУ багато в чому перетинаються. Зокрема, і технічний комітет ТС 86 ІЕС, і ІТУ працюють над такими напрямками, як модова поляризаційна дисперсія PMD (Polarization Mode Dispersion), WDM, оптичні підсилувачі, технічні вимоги до волокна.

Робота ІТУ на вибір еталонного методу вимірювання PMD на практичному

рівні представлена розробкою технічним комітетом ТС 86 відповідних стандартів. Наприклад, технічний комітет ТС 86 підготував технічну доповідь ІЕС 61282-3 з обчислення PMD у волоконно-оптичних системах. Серед опублікованих стандартів - "Методи вимірювання PMD для одномодових оптичних волокон" (ІЕС 61941), в якому розглянуті всі комерційно доступні методи вимірювання PMD для одномодового оптичного волокна. В даний час розглядаються пропозиції щодо розробки специфікацій на кабель зі статистичною поляризаційною модовою дисперсією та методів вимірювання PMD для оптичних підсилювачів та інших оптичних компонентів [1].

Розвиток інформаційних технологій, бурхливе зростання обсягу передачі даних та кількості абонентів мереж широкопasmового доступу – ось основні причини необхідності постійного розвитку та модернізації транспортних мереж передачі даних. Звісно, модернізація має проводитися з урахуванням новітніх технологій і розробок. Технологія щільного хвильового мультиплексування на даний момент є найбільш перспективною для побудови транспортних мереж операторів зв'язку, тому вона обрана основою для модернізації вже існуючої ділянки магістралі передачі даних, проект якої і описується в даній атестаційній роботі.

2 АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ СИСТЕМ ХВИЛЬОВОГО МУЛЬТИПЛЕКСУВАННЯ

2.1 Огляд принципів технології DWDM

Користуючись такими властивостями одномодового оптичного волокна, як широка смуга пропускання та низькі втрати, технологія DWDM використовує безліч несучих спектральних для одночасної передачі сигналів. Порівняно зі звичайною одноканальною системою, щільний WDM (DWDM) не тільки радикально збільшує пропускну здатність мережі і більш повно використовує смугу пропускання оптичного волокна, але й має безліч переваг, таких як легка розширюваність та надійність експлуатації. Особливо слід відзначити можливість прямого підключення різних послуг та надання їм широкої смуги пропускання.

У системах з аналоговою несучою використовується метод частотного мультиплексування (FDM), який також застосовується для більш повного використання ресурсів смуги пропускання кабелю і збільшення пропускну здатності системи передачі. Тобто можна одночасно передавати кілька сигналів із різною частотою. На приймальному кінці ставляться смугові фільтри для виділення каналів на певній частоті, що відповідає частоті несучої конкретного каналу.

Так само, у волоконно-оптичних системах зв'язку, для збільшення пропускну спроможності системи, застосовується метод частотного розподілу каналів або метод розподілу по довжині хвилі (що є фізично одним і тим самим явищем при формуванні несучої, так як довжина хвилі несучого коливання залежить від його частоти і навпаки). Насправді, цей метод мультиплексування є дуже ефективним в оптичних системах зв'язку. На відміну від частотного мультиплексування в системах з аналоговою несучою, у волоконно-оптичних системах зв'язку в якості несучої використовуються спектральні канали. Діапазон частот вікна прозорості оптичного волокна ділиться на кілька каналів залежно від частоти (довжини хвилі) та здійснюється мультиплексована передача багатоканального оптичного сигналу по одному волокну.

Через недосконалість деяких оптичних компонентів (вузькосмугових оптичних фільтрів, когерентних джерел випромінювання) на етапі

мультиплексування досить складно реалізувати дуже щільне частотне ущільнення оптичних каналів. Але можна здійснити мультиплексування за періодичними оптичними частотними каналами на базі нинішнього рівня розвитку виробництва компонентів. Зазвичай мультиплексування з великим каналним проміжком (може бути варіант використання різних вікон прозорості оптичного волокна) називається Мультиплексування за довжиною хвилі (WDM), а ущільнення з меншим проміжком у тому ж вікні прозорості називається Щільним мультиплексуванням по довжині хвилі (DWDM), що є власне різновидом базової технології WDM. Завдяки науковому та технічному прогресу використання сучасних технологій дозволяє мультиплексувати канали з проміжком на рівні нанометра. Можна навіть реалізувати мультиплексування на субнанометровому рівні, але при цьому до компонентів висуваються набагато жорсткіші вимоги. Зараз мультиплексування 32 або більше спектральних каналів з малим каналним проміжком називається DWDM. Стандарт G.692 ITU-T пропонує брати частоту 193.1 ТГц (відповідна довжина хвилі 1552.52 нм) в якості абсолютного еталона, інші частоти спектральних каналів беруться з кратним проміжком 100 ГГц (відповідна різниця довжин хвиль кратна 0,8 нм) [3].

Нижче показано блок-схему DWDM системи та спектр групового сигналу (рис. 2.1).

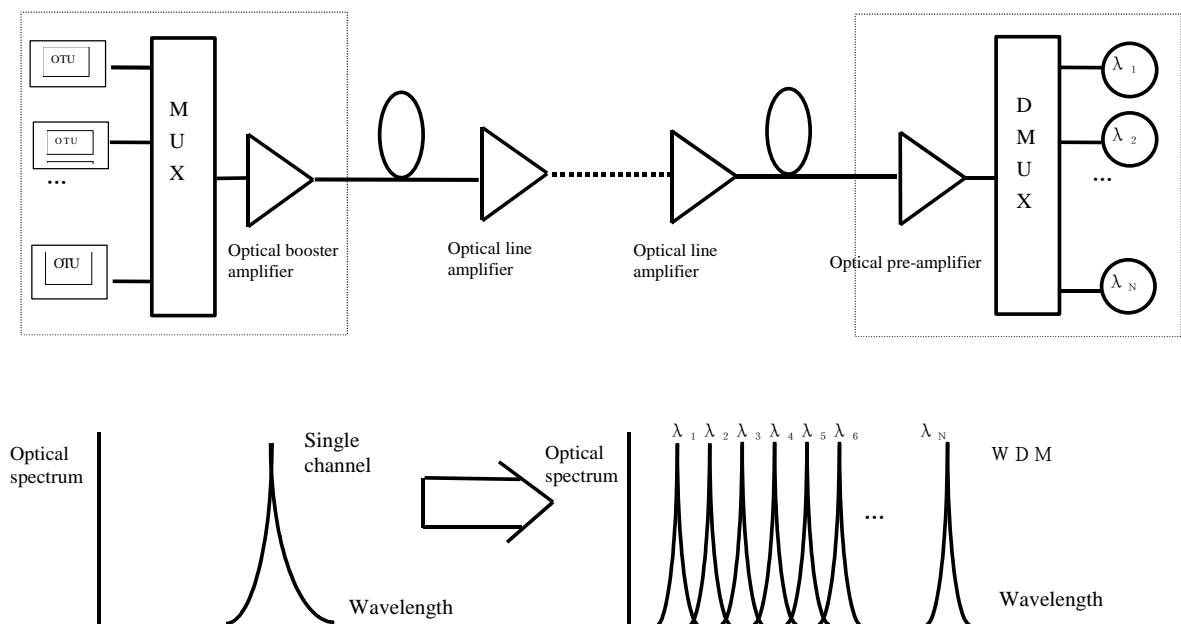


Рисунок 2.1 - Побудова DWDM системи та її спектр

На передавальному кінці оптичний передавач виробляє оптичні сигнали, довжини хвиль яких розрізняються, але їх точність і стабільність задовольняють конкретним вимогам, ці сигнали об'єднуються оптичним мультиплексором і відправляються на EDFA підсилювач (Erbium Doped Fiber Amplifier) для компенсації оптичних втрат мультиплексора і збільшення потужності сигналу, що передається, потім підсилений багатоканальний сигнал направляється для передачі по волокну, досягнувши приймального кінця (проходячи або не проходячи через проміжні лінійні оптичні підсилювачі), сигнал підсилюється передпідсилювачем (застосовується для збільшення чутливості і дальності передачі), потім направляється на демультимплексор для розподілу оптичного сигналу на канали [5].

2.2 Застосування систем хвильового мультиплексування на магістральних лініях зв'язку

Системи DWDM почали застосовуватися з 1996 року головним чином на лініях зв'язку великої протяжності, де в першу чергу потрібно збільшення пропускної спроможності.

Останнім часом на ринку з'являються системи DWDM, розроблені спеціально для міських та регіональних мереж MAN (Metropolitan Area Networks). Такі мережі (DWDM MAN) виключно надійні та можуть підтримувати кільцеву та комічасту топологію мережі на оптичному рівні. Переключення на резервні канали та маршрути у разі потреби відбувається значно швидше, ніж у мережах SDH, що розширює можливості передачі потоків голосу, відео та даних. У майбутньому, це може дозволити відмовитися від більшої частини обладнання, що працює у стандарті SDH. В даний час стало можливим надання абонентам в оренду окремих довжин хвиль у волокні.

Передача трафіку IP безпосередньо мережами DWDM (IP поверх DWDM) дозволяє значно зменшити вартість передачі для кінцевого користувача, оскільки відпадає необхідність використовувати устаткування SDH.

Розвиток технології DWDM дозволяє сподіватися, що рано чи пізно будуть створені і почнуть використовуватися практично повністю оптичні мережі AON (All Optical Network), в яких оптичні сигнали не будуть перетворюватися в електричну форму на проміжних вузлах. Через велику кількість абонентів та величезні швидкості передачі даних у магістральних оптичних мережах DWDM,

забезпечення їхньої працездатності стає виключно важливим завданням.

Багато виробників обладнання поставляють компоненти, що виконують розгалуження, об'єднання та мультиплексування оптичних сигналів різних довжин хвиль, що передаються оптичним волокном. Виробляються оптичні мультиплексори вводу/виводу каналів із заданою довжиною хвилі OADM (Optical Add/Drop Multiplexer). Розробляються і вже з'являються на ринку пристрої оптичного кросконнекту OXC (Optical Cross Connect,), які виконують ті ж функції, що і електронні пристрої кросконнекту мереж SDH. У майбутньому, швидше за все, з'являться повністю оптичні комутатори та маршрутизатори [1, 5].

2.3 Структура обладнання DWDM

2.3.1 Загальний опис систем DWDM

Система DWDM багато в чому схожа традиційну систему TDM. Сигнали різних довжин хвиль, що генеруються одним або декількома оптичними передавачами, об'єднуються мультиплексором у багатоканальний складений оптичний сигнал, який далі поширюється по оптичному волокну. При великих відстанях передачі лінії зв'язку встановлюється один чи декілька оптичних підсилювачів. Демультиплексор приймає складений сигнал, виділяє з нього вихідні канали з різними довжинами хвиль та спрямовує їх на відповідні фотоприймачі. На проміжних вузлах деякі канали можуть бути додані або виділені зі складеного сигналу за допомогою мультиплексорів вводу/виводу або пристроїв крос-комутації відповідно до рис. 2.2.

Головною відмінністю систем DWDM від систем TDM є те, що у системі DWDM передача ведеться на кількох довжинах хвиль. Важливо, що на кожній довжині хвилі у системі DWDM може передаватися груповий мультиплексований сигнал систем TDM.

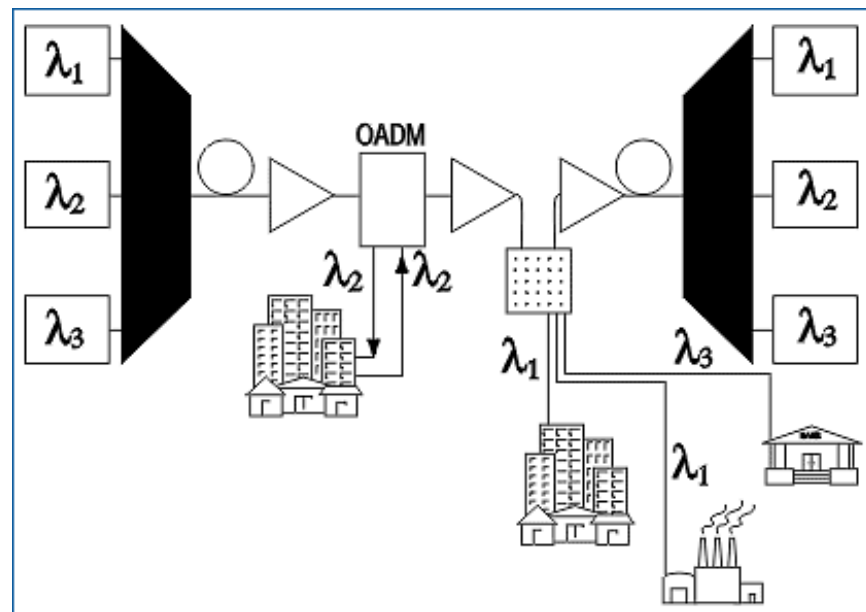


Рисунок 2.2 - Типова система WDM з можливостями додавання/виділення та крос-комутацією каналів

Система DWDM у загальному випадку складається з одного або декількох лазерних передавачів, мультиплексора, одного або декількох підсилювачів EDFA, мультиплексорів вводу/виводу, оптичного волокна (кабелю), демультимплексора та відповідного числа фотоприймачів, а також електронного обладнання, яке перетворює та обробляє дані відповідно до використовуваного протоколу зв'язку, та системи мережного управління.

2.3.2 Компоненти системи DWDM

Загальна структура WDM системи з N спектральними каналами складається з передавального термінального блоку оптичного мультиплексування, приймального термінального блоку оптичного мультиплексування (OMT) та блоку лінійного оптичного ретранслятора (OLA). Якщо їх класифікувати за складом, то мережа складатиметься з обладнання у наступному порядку:

- блок оптичного транспондера (OTU);
- мультиплексор з розподілом по довжині хвилі: блок оптичного мультиплексора/демультиплексора (OMU/ODU);
- оптичний підсилювач, що має різновиди: бустер, проміжний чи лінійний та передпідсилювач (BA/LA/PA);
- оптичний супервізорний канал (OSC).

Блок переміщення спектрального каналу (транспондер) перетворює довжину хвилі у стандартний спектр ІТУ-Т [3]. Система використовує перетворення оптичний/електричний/оптичний (О/Е/О), тобто фотодіод перетворює прийнятий оптичний сигнал у електричний і потім електричний сигнал перетворюється на оптичний певної довжини хвилі, таким чином, щоб вихідний спектральний сигнал відповідав вимогам технології DWDM.

Мультиплексор з розподілом по довжині хвилі можна класифікувати як передавальний оптичний мультиплексор. Він використовується на передавальному кінці системи передачі. Це компонент з кількома входами та одним виходом. Кожен із вхідних портів служить для введення сигналу із заданою довжиною хвилі. Введені світлові хвилі різного спектру виводяться через вихідний порт. Оптичний демультиплексор використовується на приймаючому кінці системи передачі. Він навпаки має один вхідний та кілька вихідних портів, які розділяють один вхідний сигнал на декілька різних спектральних сигнали, відповідно до кількості виходів [4].

Оптичний підсилювач не тільки підсилює оптичний сигнал, але й характеризується високим коефіцієнтом підсилення в режимі реального часу, широкою смугою, та малими шумами. Це є обов'язковим ключовим компонентом нових систем комунікації. Нині використовуються підсилювачі EDFA (Erbium-Doped Fiber Amplifier), SOA (Semiconductor Optical Amplifier) і FRA (Fiber Raman Amplifier). Серед них у високошвидкісних волоконних лініях далекого зв'язку великої ємності як передпідсилювач, лінійний підсилювач і підсилювач потужності найбільш широко використовується EDFA підсилювачі.

Оптичний супервізорний канал служить для моніторингу та керування системою передачі WDM. В основному використовується довжина хвилі 1510 нм та пропускна здатність 2 Мбіт/с. Чутливість приймача (не гірше 50 дБм). Але вона нижче перед EDFA підсилювачем та вище після нього [4].

2.4 Організація управління та моніторингу мережі DWDM

2.4.1 Оптичний канал моніторингу

Системний адміністратор SDH має можливість вести моніторинг та керувати обладнанням за допомогою байтів службових заголовків, що передаються в кадрі SDH (наприклад, байтів E1, E2, D1- D12), незалежно від виду обладнання (TM, ADM або REG). На відміну від системи SDH, обладнання

лінійного підсилювача DWDM здійснює лише оптичне підсилення сигналів послуг. Оскільки сигнали послуг проходять процедуру обробки світла замість введення/виведення, для моніторингу експлуатації оптичної лінії має бути доданий службовий сигнал. Далі, якщо по довжині хвилі передаються службові байти заголовків SDH, виникає питання який із сигналів SDH використовувати. Інформація керування та моніторингу не може передаватися за допомогою сигналу послуг. Тому для керування в системі DWDM потрібно використовувати окремий канал. Такий канал називається оптичним каналом моніторингу (OSC). Для оптичних лінійних підсилювачів, що використовують технологію з легуванням ербієм (EDFA), зона підсилення сигналу становить 1530-1565 нм, OSC повинен знаходитися поза доступною зоною EDFA (OSC поза смугою), тому для нього було обрано робочу довжину 1510 нм. Як тип коду лінії для каналу моніторингу використовується кодування з інверсією кодових маркерів (СМІ).

2.4.2 Вимоги до оптичного каналу моніторингу (OSC)

Вимоги до оптичного каналу моніторингу в системі DWDM:

- оптичний канал моніторингу не повинен обмежувати робочий діапазон оптичного підсилювача;
- оптичний канал моніторингу не повинен обмежувати відстань передачі між двома підсилювачами;
- оптичний канал моніторингу не повинен впливати на трафік з довжиною хвилі 1310 нм;
- оптичний канал моніторингу залишається доступним у разі відмови лінійного підсилювача.

На основі цих вимог:

- довжина хвилі для оптичного каналу моніторингу не повинна бути меншою за 980 нм або 1480 нм для одночасного використання EDFA, який використовує лазер і працює саме на цих довжинах хвиль при накачуванні, і оптичному підсиленні Рамана з робочою довжиною хвилі ~1480 нм;
- довжина хвилі оптичного каналу моніторингу має бути не менше 1310 нм, так як тоді займаються ресурси смуги частот вікна 1310 нм і утруднюється передача трафіку в цьому вікні;
- чутливість приймача для каналу оптичного моніторингу має бути дуже високою. Відстань між станціями не повинна бути обмежена потужністю сигналу OSC і може бути відстанню між оптичними підсилювачами. Тому для

забезпечення високої чутливості на прийомі оптичний канал моніторингу повинен використовувати низькошвидкісну оптичну сигналізацію;

– довжина хвилі оптичного каналу моніторингу розташована за межами зони підсилення ОА, внаслідок чого при відмові підсилювача передача каналом не переривається. Для оптичних лінійних підсилювачів із волокном, легованим ербієм (EDFA), зона підсилення становить 1528-1610 нм. Тому довжина хвилі оптичного каналу моніторингу повинна розташовуватися за межами даної зони. Звичайна робоча довжина хвилі оптичного каналу моніторингу: 1510 нм або 1625 нм. Відповідно до рекомендацій ІТУ-Т, оптичний канал моніторингу системи DWDM має бути повністю незалежним від основного каналу. Незалежність каналів стосується напрямів потоків сигналу. На стороні ОТМ сигнал каналу моніторингу об'єднується і підсилюється в напрямку передачі до входу в основний канал; на стороні прийому сигнал каналу моніторингу відокремлюється до попереднього підсилення та демультимплексування сигналу основного каналу. Така сама процедура обробки сигналу каналу моніторингу характерна і для сторони ОЛА [2].

Як видно з вищенаведеного, канал моніторингу не бере участі в процесі підсилення в системі передачі, обриваючись і відновлюючись на кожному пункті.

Цим він відрізняється від основного каналу. Устаткування розподілу по довжині хвилі надає сигнал моніторингу оптичних каналів прозорості передачі.

2.4.3 Параметри інтерфейсів каналу моніторингу

Параметри інтерфейсів каналу моніторингу наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Параметри інтерфейсів каналу моніторингу

Довжина хвилі каналу моніторингу	1510 нм
Швидкість передачі сигналу моніторингу	2 Мбіт/с
Кодування сигналу	СМІ
Потужність передачі сигналу	(0~ -7 дБм)
Тип джерела	MLM LD
Мін. чутливість приймача	-48 дБм

У цьому розділі були розглянуті основні принципи технології DWDM, яка заснована на принципах хвильового мультимплексування і цим кардинально відрізняється від інших поширених технологій, таких як PDH і SDH. Ця технологія надає повний набір функцій для забезпечення ефективної роботи

магістральної транспортної мережі та інструменти для здійснення моніторингу та управління. Хвильове мультиплексування має ряд специфічних особливостей і дуже чутливе до налаштувань, тому велику увагу в ході пуско-налагоджувальних робіт необхідно приділяти тестуванню як самого обладнання, так і всієї лінії передачі в цілому.

3 ОСНОВНІ РІШЕННЯ З МОДЕРНІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ

3.1 Аналіз загальної структури мережі

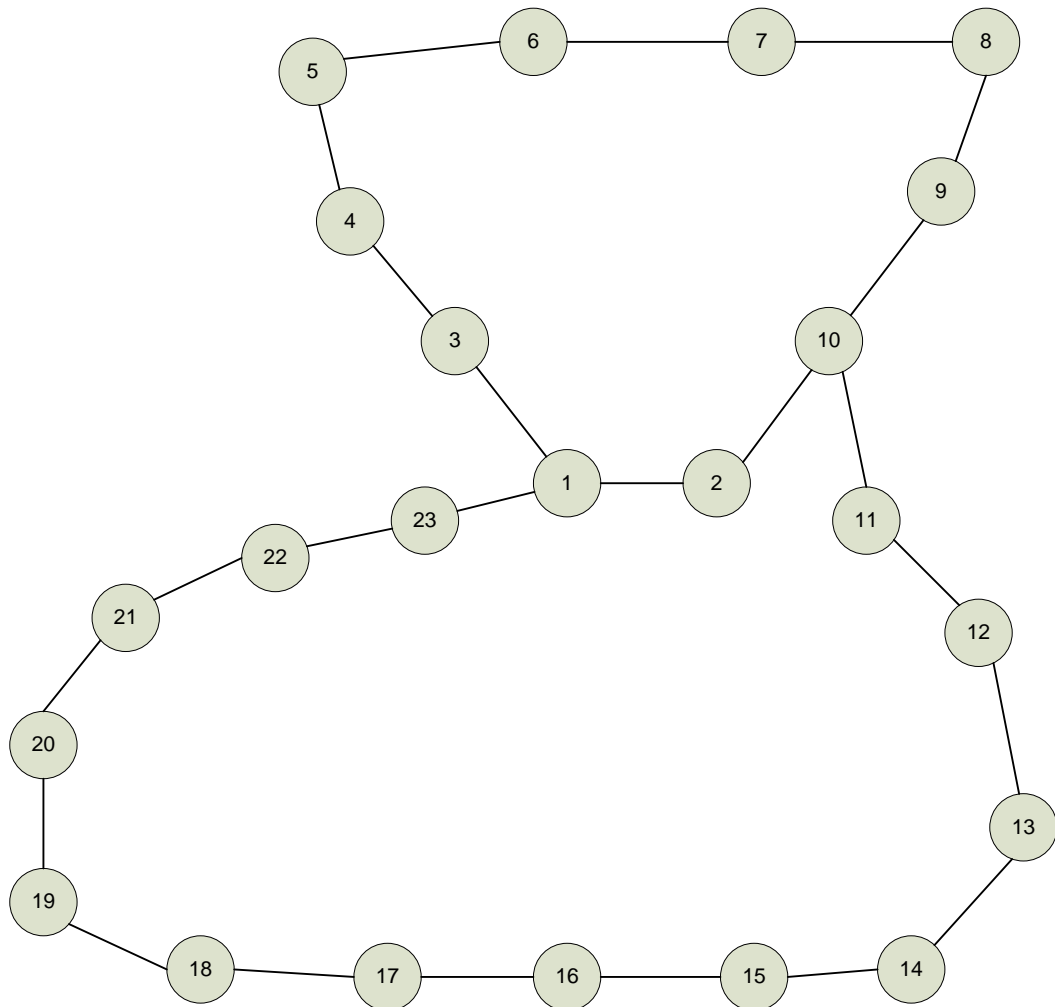


Рисунок 3.1 – Структурна схема транспортних кілець мережі зв'язку

Ділянка мережі, що модернізується, складається з 23 вузлів (№1-23) які представляють собою 2 транспортних кільця, пов'язаних між собою, відповідно до рис. 3.1.

До модернізації на ділянці мережі, що розглядається, функціонувало обладнання Huawei Optix Metro 6100, 6040, яке забезпечувало логічну топологію - лінія. Пропускна здатність системи становила 10 Гбіт/с і, відповідно, розподілялася рівномірно по всім вузлам лінії [3].

Таким чином, основними потребами модернізації транспортної мережі оператора є:

- підвищення якості обслуговування;
- збільшення пропускної спроможності транспортної мережі;
- підвищення надійності каналів зв'язку.

Таблиця 3.1 – Відстань між вузлами

Вузол	Відстань між вузлами
Вузол №1 - Вузол №2	3 км
Вузол №1 - Вузол №3	80 км
Вузол №3 - Вузол №4	97 км
Вузол №4 - Вузол №5	65.2 км
Вузол №5 - Вузол №6	30.4 км
Вузол №6 - Вузол №7	46 км
Вузол №7 - Вузол №8	44.5 км
Вузол №8 - Вузол №9	45 км
Вузол №9 - Вузол №10	43 км
Вузол №10 - Вузол №2	113 км
Вузол №10 - Вузол №11	51.5 км
Вузол №11 - Вузол №12	47.4 км
Вузол №12 - Вузол №13	41.7 км
Вузол №13 - Вузол №14	63.5 км
Вузол №14 - Вузол №15	28.6 км
Вузол №15 - Вузол №16	51.9 км
Вузол №16 - Вузол №17	42.2 км
Вузол №17 - Вузол №18	44.8 км
Вузол №18 - Вузол №19	27.8 км
Вузол №19 - Вузол №20	18,9 км
Вузол №20 - Вузол №21	33 км
Вузол №21 - Вузол №22	116 км
Вузол №22 - Вузол №23	24.9 км
Вузол №23 - Вузол №1	51 км

Відповідно до вимог технічного завдання на проектування в рамках проекту модернізації, що розробляється, проектування та будівництво нових трас ВОЛЗ не передбачається. Всі проектні рішення, що передбачають модернізацію системи DWDM, використовують волоконну ємність вже існуючого оптичного кабелю.

Модернізація існуючої оптичної мережі забезпечить перехід на логічну топологію "Зірка" на обласних сегментах регіональної мультисервісної мережі з усіх вузлів мережі. Застосування логічної топології "Зірка" вимагатиме від

оптичної мережі DWDM значне збільшення кількості довжин хвиль, що використовуються.

Крім збільшення кількості довжин хвиль, довжина трас проходження цих каналів при розділенні кільцевих логічних сегментів у ряді випадків значно збільшиться.

Регіональна мережа DWDM використовує оптичні волокна оптичної кабельної мережі. Проектування та будівництво нових оптичних кабельних сегментів не передбачається.

Таким чином буде проведено такі роботи з модернізації мережі:

- проектування та будівництво нових вузлів DWDM;
- модернізація існуючих вузлів регіонального сегменту DWDM;
- модернізація існуючих вузлів міжрегіонального сегменту DWDM.

Особливістю фізичної та логічної топології Регіональної мережі DWDM є використання оптичного кабельного ресурсу разом із Міжрегіональним сегментом мережі DWDM.

У нашому випадку, нові вузли регіональної мережі DWDM проектується на виділених оптичних волокнах сегментів ММЗ, що модернізуються, і включаються в існуючі сегменти DWDM. Перелік нових вузлів наведено в табл. 3.2. Модернізовані сегменти ММЗ утворюють нові сегменти DWDM у регіональній мережі.

Таблиця 3.2 – Нові вузли DWDM Регіонального сегмента

Вузол	Тип вузла	Тип обладнання на вузлі
Вузол №1	OTM	OSN 8800 T32
Вузол №2	OTM	OSN 8800 T32
Вузли №3-23	OADM	OSN 8800 T16

Важливою частиною побудови DWDM є вибір хвиль передачі. У ході проектування довжини хвиль вибираються, виходячи з наступних факторів:

1. Хвилі не повинні перетинатися у вузлах OTM.

У даних вузлах весь спектр демультимплексується та перенаправляється між вузлами. Ми можемо перевикористовувати хвилі в тому випадку, якщо вони працюватимуть на різних ділянках мережі, які не стикаються між собою. У нашому випадку, ми маємо два OTM вузла. Ці вузли є опорними пунктами мережі DWDM усієї філії і через них проходять хвилі міжрегіонального сегмента

DWDM мережі, тому до вибору хвиль ми висуваємо підвищені вимоги.

2. Довжини хвиль необхідно вибрати так, щоб вони були розподілені по спектру не тільки рівномірно, а й послідовно.

3. Довжини хвиль вибираються з урахуванням можливості розширення системи та додавання нових хвиль у майбутньому.

Керуючись вищевикладеними факторами, для нашої ділянки мережі були обрані наступні довжини хвиль (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 - Розподіл частот для ділянки мережі, що модернізується.

Вузол	Тип вузла	Частота, ТГц
Вузол №1	OTM	-
Вузол №2	OTM	-
Вузол №3	OADM	192,1; 192,2
Вузол №4	OADM	192,3; 192,4
Вузол №5	OADM	192,1; 192,2
Вузол №6	OADM	192,5; 192,6
Вузол №7	OADM	192,7; 192,8
Вузол №8	OADM	192,7; 192,8
Вузол №9	OADM	192,7; 192,9
Вузол №10	OADM	192,8; 192,9
Вузол №11	OADM	196,0; 195,9
Вузол №12	OADM	196,0; 195,9
Вузол №13	OADM	195,8; 195,7
Вузол №14	OADM	195,8; 195,7
Вузол №15	OADM	195,6; 195,5
Вузол №16	OADM	195,6; 195,5
Вузол №17	OADM	195,4; 195,3
Вузол №18	OADM	195,2; 195,1
Вузол №19	OADM	195,0; 194,9
Вузол №20	OADM	195,2; 195,1
Вузол №21	OADM	194,7; 194,8
Вузол №22	OADM	194,7; 194,8
Вузол №23	OADM	194,7; 194,8

Оскільки логічна топологія нашої лінії, що планується, – зірка, то вузлом агрегації всіх OADM вузлів буде вузол №1 і вузол №2 (хвилю їм не вибираємо).

На основі нашого вибору хвиль будуть обрані відповідні транспондери для кожного вузла.

3.2 Аналіз параметрів лінії зв'язку

Відношення сигнал/шум OSNR (Optical Signal-to-Noise Ratio) є невід'ємною характеристикою системи WDM і відображає перевищення потужності сигналу над шумовим фоном для кожного оптичного каналу.

У міру проходження сигналу лінії зв'язку значення OSNR знижується в залежності від протяжності лінії, числа підсилювачів EDFA і швидкості передачі. Оптичні підсилювачі лінії зв'язку підвищують рівень корисного сигналу, але також підвищують рівень шуму і вносять свій шум і в канал зв'язку, таким чином сильно впливають на показник OSNR. Протяжна лінія з великою кількістю підсилювачів вимагає встановлення регенератора для відновлення форми сигналу, якщо розрахунковий OSNR на ділянці лінії стає нижче гранично допустимого значення [4].

Значення OSNR для випадку, коли всі сегменти між підсилювачами однакові за довжиною, а різницею згасання для щільно розташованих оптичних каналів в одному вікні прозорості волокон кабелю можна знехтувати і вважати загасання однаковим для всіх каналів смуги, обчислюється за формулою (3.1) [5].

$$\text{OSNR} = P_s'(\lambda) - L - NF - 10\lg[N] - 10\lg[h \cdot \nu < \nu_0] \quad (3.1)$$

де:

- $P_s'(\lambda)$ - вихідна потужність на одну довжину хвилі, дБм;
- L - втрати сегмента між підсилювачами, дБ;
- NF - значення шуму для оптичного підсилювача, дБ;
- N - кількість підсилювачів у ланцюзі;
- h - постійна Планка;
- ν - оптична частота;
- ν_0 - оптична смуга пропускання.

У існуючому обладнанні OptiX BWS 1600G і новому OSN8800 передбачена функція прямої корекції помилок (FEC), яка дозволяє істотно підвищити запас стійкості перешкод на 6 - 7 дБ для передачі зі швидкістю 10 Гбіт/с. Ця технологія дозволяє підвищити OSNR і в такий спосіб збільшити дальність передачі. Для системи DWDM з використанням функції FEC прийнятний показник OSNR має бути більше 20 дБ, а у разі використання

SuperWDM з функцією FEC, прийнятне значення OSNR має бути більше 17 дБ [3, 5].

Розрахункові параметри відношення сигналу шуму для нових сегментів DWDM наведено в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 - Розрахункові параметри відношення сигнал шум і згасання між сегментами

Сегмент DWDM	Згасання, db	OSNR, db
Вузол №1 - Вузол №2	3,69	34,20
Вузол №1 - Вузол №3	21,40	31,75
Вузол №3 - Вузол №4	25,31	29,82
Вузол №4 - Вузол №5	18,00	31,19
Вузол №5 - Вузол №6	9,99	32,20
Вузол №6 - Вузол №7	13,58	33,08
Вузол №7 - Вузол №8	13,24	32,20
Вузол №8 - Вузол №9	14,50	33,08
Вузол №9 - Вузол №10	12,89	32,20
Вузол №10 - Вузол №2	28,99	26,68
Вузол №10 - Вузол №11	14,85	33,08
Вузол №11 - Вузол №12	14,04	33,08
Вузол №12 - Вузол №13	12,59	32,20
Вузол №13 - Вузол №14	17,61	31,19
Вузол №14 - Вузол №15	9,58	32,20
Вузол №15 - Вузол №16	14,94	33,08
Вузол №16 - Вузол №17	12,71	32,20
Вузол №17 - Вузол №18	13,30	33,08
Вузол №18 - Вузол №19	9,39	32,30
Вузол №19 - Вузол №20	7,35	32,30
Вузол №20 - Вузол №21	10,59	32,20
Вузол №21 - Вузол №22	29,68	26,20
Вузол №22 - Вузол №23	8,73	32,20
Вузол №23 - Вузол №1	14,73	33,08

Враховуючи відстань між вузлами модернізованої лінії, отримаємо наступну схему мережі відповідно до рис. 3.2.

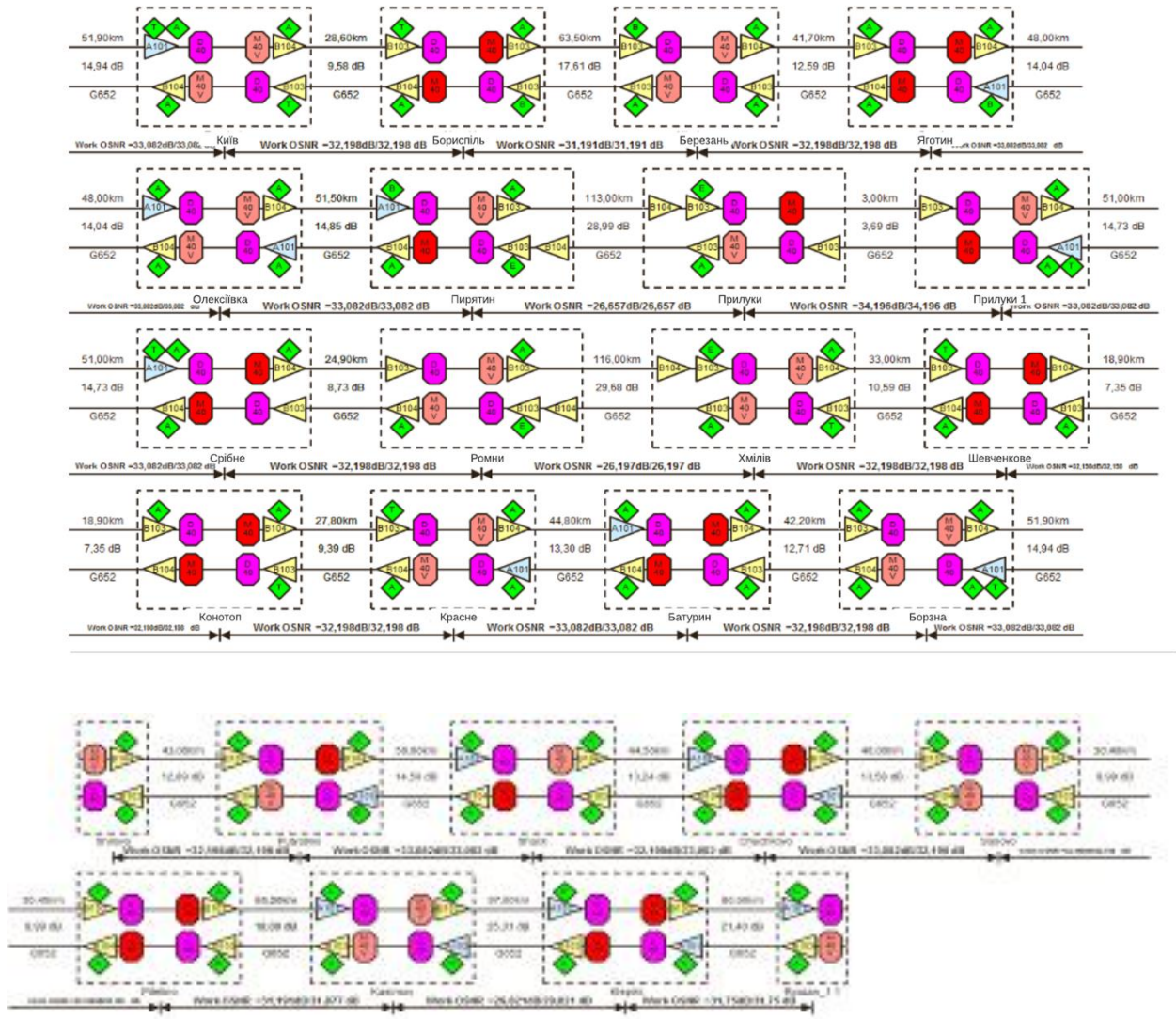


Рисунок 3.2 – Структурна схема мережі

3.3 Розрахунок довжини регенераційної ділянки

3.3.1 Протяжність лінії. Розрахунок довжини регенераційної ділянки з урахуванням хроматичної дисперсії

Співвідношення сигнал/шум. У табл. 3.5 [5]. наведено основні параметри оптичних специфікацій для стандартів STM-16 та STM-64. Як видно, система STM-64 висуває більш високі вимоги до співвідношення сигнал/шум, перевищуючи на 5-10 дБ цей параметр для STM-16, що веде до меншого допустимого числа підсилувачів EDFA між регенераторами STM-64.

Таблиця 3.5 – Основні параметри оптичних специфікацій стандартів STM-16 та STM-64.

Параметри	STM-16 (2,5 Гбіт/с)	STM-64 (10 Гбіт/с)
Мінімальне відношення сигнал/шум, дБ	18-21	27-31
Допустима дисперсія в кабельній системі, пс/нм	10500	1600
Обмеження через PMD	Ні	< 400 км

Розрахуємо довжину регенераційної ділянки, обмеженої хроматичною дисперсією для стандарту STM-16. Для волокон SF та NZDSF візьмемо стандартні значення питомої дисперсії 20 та 5,5 пс/(нм*км) відповідно. Звідси одержуємо формулу (3.2) [5],

$$L_{\text{дисп}} = \tau / \tau_{\text{пит}}, \quad (3.2)$$

де τ - припустима дисперсія в кабельній системі, пс/нм, $\tau_{\text{пит}}$ - значення питомої дисперсії пс/(нм*км).

Розрахуємо довжину регенераційної ділянки, обмеженої хроматичною дисперсією для стандарту STM-16.

$$L_{\text{дисп}} = 10500/20 = 525 \text{ км, для SF волокна.}$$

$$L_{\text{дисп}} = 10500/5.5 = 1909 \text{ км, для NZDSF волокна.}$$

Розрахуємо довжину регенераційної ділянки, обмеженої хроматичною дисперсією для стандарту STM-64.

$$L_{\text{дисп}} = 1600/20 = 80 \text{ км, для SF волокна.}$$

$$L_{\text{дисп}} = 1600/5.5 = 290 \text{ км, для NZDSF волокна.}$$

Хроматична дисперсія. STM-16 допускає значно більшу дисперсію сигналу лінії (табл. 3.6.) [5], ніж STM-64, що дає вигоду як у протяжності сегментів між послідовними оптичними підсилювачами, так і в загальній протяжності лінії між регенераторами. Завдяки лінійності хроматичної дисперсії, можна досягти значного збільшення довжин, зазначених у таблиці, використовуючи вставки фрагментів ВОК на основі волокна зі змщеною дисперсією.

Таблиця 3.6 – Обмеження загальної протяжності через вплив хроматичної дисперсії.

Тип волокна	STM-16	STM-64
Стандартне одномодове волокно SF, км	525	80
Одномодове волокно з ненульовою зміщеною дисперсією, км	1909	290

Як видно з розрахунків, хроматична дисперсія не є обмеженням на ділянці мережі, що модернізується, при використанні стандартного одномодового волокна SF, так як довжина прольотів між вузлами набагато менше, ніж максимальна довжина ділянки ВОЛЗ, обмеженого хроматичною дисперсією для швидкостей порядку 2,5 Гбіт/с.

3.3.2 Розрахунок довжини регенераційної ділянки з урахуванням поляризаційно-модової дисперсії (PMD)

Проведемо оцінку впливу PMD на передачу каналів STM-16 та STM-64. У рамках промислових вимог PMD не повинна перевищувати 1/10 бітового інтервалу. Звідси значення накопиченої поляризаційної модової дисперсії не повинні перевищувати 40 і 10 пс для ліній STM-16 і STM-64 відповідно. Величина PMD при проходженні світлом довжини L визначається за формулою

$$\tau_{PMD} = T * L^{1/2}, \quad (3.3)$$

де T - питома поляризаційна модова дисперсія.

При T= 0,5 пс/км^{1/2} (для волокон NZDSF - TrueWave™ та SMF-LS™, табл. 3.5) отримуємо для ліній STM-16 та STM-64 граничні протяжності між регенераторами – формула (3.3) [5]:

$$L = \tau_{PMD}^2 / T^2 = 40^2 / 0,5^2 = 6400 \text{ км, для лінії STM-16.}$$

$$L = 10^2 / 0,5^2 = 400 \text{ км, для лінії STM-64.}$$

Перше обмеження таке велике, що справа до нього не доходить. Зауважимо, що, на відміну від хроматичної дисперсії, поляризаційна модова дисперсія не компенсується. Тому зменшити цей параметр можна тільки за допомогою нових волокон, наприклад NZDSF - LEAF™, для якого T < 0,08 пс/км^{1/2}.

У нашому випадку PMD для стандарту STM-16 (2,5Гбіт/с) не є обмеженням

для системи, вплив PMD необхідно буде враховувати при проектуванні ліній зв'язку починаючи зі швидкості 10 Гбіт і вище (що можливо при розширенні системи в майбутньому).

3.3.3 Розрахунок експлуатаційного запасу із згасанням

За прийнятими нормами експлуатаційний запас на деградацію системи $E = 6$ дБ. 3дБ – на станційний запас та 3дБ – лінійний запас.

На виході вихідного підсилювача всіх вузлах ми встановлюємо нормований рівень $P_{\text{пер}} = 4$ дБ.

Для вхідних підсилювачів OAU101, OAU103 будемо використовувати на вузлах модернізованої ділянки мережі, мінімальний вхідний рівень сигналу по хвилі $P_{\text{пр}} = -32$ дБ.

Згасання на роз'ємних з'єднаннях приймемо $A_{\text{рз}} = 0,5$ дБ. Кількість роз'ємних з'єднань – 2 (на магістральних кросах).

Згасання на нероз'ємних з'єднаннях $A_{\text{нз}} = 0,1$ дБ.

Згасання в волокні марки, що використовується $\alpha = 0,2$ дБ.

Будівельна довжина $L_{\text{буд}} = 2$ км.

Таким чином, ми можемо розрахувати довжину регенераційної ділянки за формулою (3.4) [4]:

$$L_a = \frac{P_{\text{пер}} - P_{\text{пр}} - 3 - A_{\text{рз}} * N_{\text{рз}} + A_{\text{нз}}}{\alpha + A_{\text{нз}} / L_{\text{буд}}} \quad (3.4)$$

$$L_a = \frac{4 - 32 - 6 - 0,5 * 2 + 0,1}{0,2 + 0,1 / 2} = 124 \text{ км}$$

З розрахунків видно, що довжина прольоту більша, ніж відстані між вузлами ділянки мережі, що модернізується, тому згасання не є обмеженням.

У результаті, після аналізу всіх факторів, що обмежують довжину прольотів між вузлами, дійшли висновку, що встановлення додаткових регенераторів між вузлами лінії не потрібно.

3.4 Розрахунок запланованого обсягу передачі даних

3.4.1 Методика розрахунку навантаження на обладнання та канали зв'язку регіональних сегментів

При розрахунку показників навантаження була використана методика розрахунку навантаження оператора зв'язку і формули (3.5 - 3.27) [6].

Будемо використовувати наступні припущення щодо розрахунків навантаження [6]:

- а) для абонентів широкосмугового доступу до ресурсів Інтернет:
 - 1) кількість абонентів ШСД становило – 96 751 осіб. Планується абонентів ШСД – 132 435 осіб.
 - 2) кількість активних абонентів ($N_{\text{ШСД}}^{\text{акт}}$) послуг ШСД становить 50% від загальної кількості абонентів ШСД;
 - 3) необхідна мінімальна швидкість доступу ($C_{\text{мін.ШСД}}^{\text{ниск}}$) у напрямку до абонента з розрахунку на одного абонента ШСД при наданні послуг доступу до Інтернету в ЧНН становить 64 Мбіт/с;
 - 4) зростання вимог ($K_{\text{норм.зрост}}$) щодо мінімальної швидкості доступу у напрямку до абонента для одного абонента ШСД при наданні послуг доступу до Інтернету у період 2021-2023 року становитиме 40% на рік від величини мінімальної швидкості доступу на початок попереднього року;
 - 5) величина необхідної швидкості доступу у напрямку від абонента ($C_{\text{мін.ШСД}}^{\text{висх}}$) становитиме 40% від необхідної швидкості у напрямку до абонента;
 - б) частка трафіку ШСД ($K_{\text{рег}}^{\text{ШСД}}$), який замикається у межах регіонального сегмента, становить 10% від загального трафіку абонентів ШСД.
- б) для абонентів послуги IP VPN та абонентів послуги доступу до Інтернету з використанням IP підключення:
 - 1) кількість точок підключення абонентів послуг IP VPN та послуги доступу до Інтернету з використанням IP підключення ($N_{\text{MSE}}^{\text{підкл}}$) у період 2021-2023 року збільшиться пропорційно до збільшення кількості абонентів ШСД у цей же період;
 - 2) кількість існуючих точок підключення абонентів послуг IP VPN та послуги доступу до Інтернету відповідає кількості інтерфейсів QinQ, налаштованих на MSE маршрутизаторах у регіональному сегменті;
 - 3) величина продуктивності каналів зв'язку для абонентів послуги IP

VPN та абонентів послуги доступу до Інтернету з використанням IP підключення ($K_{MSE}/\text{ШПД}$) у напрямку до абонента становить 20% від необхідної загальної швидкості у напрямку до абонента для абонентів ШСД;

4) швидкість доступу до абонента та від абонента для абонентів IP VPN та послуги доступу до Інтернету з використанням IP підключення (C_{MSE}) є симетричною;

5) частка трафіку абонентів IP VPN та послуги доступу до Інтернету з використанням IP підключення, що замикається в межах одного пристрою MSE ($K_{\text{рег}}^{MSE}$) становить 10% від загальної величини трафіку, що надходить на абонентські інтерфейси MSE;

с) для абонентів послуги прозорого Ethernet:

1) відношення необхідної швидкості доступу для абонентів послуги прозорого Ethernet ($K_{L2}/\text{ШПД}$) становить 5% від необхідної загальної швидкості у напрямку абонента ШСД;

2) трафік послуги прозорий Ethernet є симетричним;

3) послуги прозорого Ethernet надаються лише у межах регіональних сегментів.

d) для абонентів послуг IMS:

1) кількість абонентів послуг IMS (N_{IMS}) [6]:

- абонентів послуг IMS на 01.01.2013 – 56 736 осіб;

- абонентів послуг IMS на 01.01.2014 – 70 653 осіб;

2) частка одночасних звернень абонентів до послуг IMS ($K_{IMS}^{\text{одн}}$) складає 10% від загальної кількості абонентів послуги IMS ;

3) швидкість передачі, необхідна голосових з'єднань ($C_{\text{голос}}$) – 0,09 Мбіт/с;

4) частка голосових з'єднань IMS (K_{IMS}^{Call}) від загальної кількості звернень до послуг IMS становить 80%;

5) частка голосових з'єднань послуги IMS (K_{IMS}^{Local}), що встановлюються в межах одного міста, становить 80% від загальної кількості голосових з'єднань IMS ;

6) частка голосових з'єднань послуги IMS (K_{IMS}^{Region}), що встановлюються в межах однієї філії, становить 15% від загальної кількості голосових з'єднань IMS ;

7) частка голосових з'єднань послуги IMS (K_{IMS}^{MPC}), що встановлюються

з використанням MPC, становить 5% від загальної кількості голосових з'єднань IMS ;

- 8) трафік голосових з'єднань є симетричним;
 - 9) частка трафіку голосових послуг на ЦП IMS свого регіону ($K_{IMS}^{ЦП}$) становить 10% від загальної кількості звернень до послуг IMS;
 - 10) трафік голосових послуг на ЦП IMS є симетричним;
 - 11) частка трафіку відеоз'єднань із сервером відеоконференцій (K_{IMS}^{VConf}) становить 10% від загальної кількості звернень до послуг IMS;
 - 12) трафік однієї абон. сесії відеоз'єднань ($C_{відео}$) становить 1Мбіт/с;
 - 13) частка відеоз'єднань із сервером відеоконференцій свого регіону ($K_{IMS}^{VConf-PC}$) становить 90% від загальної кількості відеоз'єднань;
 - 14) частка відеоз'єднань із сервером відеоконференцій іншого регіону ($K_{IMS}^{VConf-MPC}$) становить 10% від загальної кількості відеоз'єднань.
- е) для абонентів відео послуг:
- 1) кількість абонентів послуги IPTV (N_{IPTV}) та абонентів послуги VoD (N_{VoD}) наведено нижче [6]:
 - кількість абонентів IPTV на 01.01.2023: 2350 осіб;
 - кількість абонентів IPTV, які споживають сервіс VoD на 01.01.2023: 1700 осіб;
 - кількість абонентів IPTV на 01.01.2023: 5500 осіб;
 - кількість абонентів IPTV, які споживають сервіс VoD на 01.01.2023: 3650 осіб;
 - 2) розподіл абонентів послуги IPTV по вузлах регіонального сегмента пропорційно числу абонентів послуг ШСД на вузлах ММЗ, де планується надання послуг IPTV;
 - 3) джерелом трафіку послуг VoD, NVoD є ЦП регіонального сегмента, споживачем трафіку послуг VoD є абоненти цієї послуги;
 - 4) кількість ТВ-каналів доступних абонентам у рамках послуг IP-TV у форматі MPEG-2 на першому етапі складає 80, на другому етапі становить 216;
 - 5) кількість ТВ-каналів доступних абонентам у рамках послуг IP-TV у форматі MPEG-4 (HD) на першому етапі складає 20, на другому етапі становить 19;
 - 6) трафік одного каналу IP/TV, VoD, NVoD у форматі MPEG-2 – 4 Мбіт/с;

7) трафік одного каналу IP/TV у форматі MPEG-4 HD – 12 Мбіт/с;

f) для транзиту трафіку технологічних підсистем та корпоративних додатків Замовника:

1) трафік технологічних підсистем $C_{\text{техн}}$ симетричний та спрямований до ЦУ регіонального сегмента;

2) трафік технологічних підсистем вузла $C_{\text{техн}}^{\text{вузла}}$ становить 1% від трафіку комерційних послуг;

g) для забезпечення параметрів якості обслуговування (QoS), що необхідні для надання заданого в ТЗ комплексу послуг, пред'являються такі вимоги:

1) резерв продуктивності ($K_{\text{запас}}$) обладнання вузла ММЗ повинен становити не менше 25% від необхідної продуктивності обладнання на першому етапі та не менше 15% на другому етапі;

2) резерв пропускної спроможності каналів зв'язку ММЗ повинен становити не менше 25% від необхідної продуктивності на каналі зв'язку на першому етапі та не менше 15% на другому етапі;

Формули, що використовуються для розрахунку навантаження

h) розрахунок навантаження на канали зв'язку вузлів ММЗ, розраховується за такими формулами:

1) кількість активних абонентів у ПНН ($N_{\text{ШСД}}^{\text{акт}}$) розраховується за формулою (3.5):

$$N_{\text{ШСД}}^{\text{акт}} = N_{\text{ШСД}} * 0,5, \quad (3.5)$$

де $N_{\text{ШСД}}$ - число абонентів ШСД на вузлі;

2) розрахунок трафіку абонентів ШСД у напрямку до абонента ($C_{\text{мін.ШСД}}^{\text{нисх}}$), Мбіт/с розраховується за формулою (3.6):

$$C_{\text{мін.ШСД}}^{\text{нисх}} = N_{\text{ШСД}} * C_{\text{мін.ШСД}}^{\text{нисх}} * K_{\text{норм.зрост}}^3, \quad (3.6)$$

де $N_{\text{ШСД}}$ - число абонентів ШСД на вузлі;

$C_{\text{мін.ШСД}}^{\text{нисх}}$ - потрібна мінімальна швидкість доступу, Мбіт/с;

$K_{\text{норм.зрост}}$ - щорічне зростання вимог абонента до смуги пропускання.

Ступінь 3 вказує на те, що розрахунок провадиться на період у 3 роки тобто 01.01.2021(до 01.01.2024).

3) розрахунок трафіку абонентів ШСД у напрямку від абонента ($C_{ШСД}^{висх}$), Мбіт/с розраховується за формулою (3.7):

$$C_{ШСД}^{висх} = C_{ШСД}^{нисх} * 0,4, \quad (3.7)$$

де $C_{ШСД}^{нисх}$ - трафік абонентів ШСД у напрямку до абонента, Мбіт/с;

4) розрахунок трафіку абонентів IP VPN та абонентів послуги доступу до Інтернету з використанням IP підключення C_{MSE} , Мбіт/с, на вузлі розраховується за формулою (3.8);

$$C_{MSE} = C_{ШСД}^{нисх} * K_{MSE/ШПД}, \quad (3.8)$$

Де $C_{ШСД}^{нисх}$ – трафік абонентів ШСД, Мбіт/с;

$K_{MSE/ШПД}$ - частка трафіку абонентів IP VPN щодо трафіку ШСД.

5) розрахунок трафіку абонентів послуги прозорого Ethernet C_{L2} , Мбіт/с на вузлі розраховується за формулою (3.9):

$$C_{L2} = C_{ШСД}^{нисх} * K_{L2/ШПД}, \quad (3.9)$$

де $K_{L2/ШПД}$ - частка трафіку абонентів прозорого Ethernet щодо трафіку ШСД.

б) розрахунок трафіку голосових з'єднань абонентів послуги IMS вузлі C_{IMS} , Мбіт/с, розраховується за формулою (3.10):

$$C_{IMS}^{Call} = N_{IMS} * K_{IMS}^{одн} * K_{IMS}^{Call} * C_{голос}, \quad (3.10)$$

де N_{IMS} - число абонентів IMS на вузлі;

$K_{IMS}^{одн}$ - частка одночасного звернення до послуг IMS;

K_{IMS}^{Call} – частка голосових з'єднань від загальної кількості звернень до послуг IMS;

$C_{голос}$ - швидкість передачі, необхідна для голосових з'єднань.

7) розрахунок трафіку голосових послуг на ЦП IMS розраховується за формулою (3.11).

$$C_{IMS}^{ЦП} = N_{IMS} * K_{IMS}^{одн} * K_{IMS}^{ЦП} * C_{голос}, \quad (3.11)$$

де, N_{IMS} - число абонентів IMS на вузлі;

$K_{IMS}^{ЦП}$ – частка трафіку голосових послуг на ЦУ IMS;

$K_{IMS}^{одн}$ - частка одночасного звернення до послуг IMS;

$C_{голос}$ - швидкість передачі, необхідна для голосових з'єднань.

8) розрахунок трафіку відеоз'єднань із сервером відеоконференцій IMS розраховується за формулою (3.12).

$$C_{IMS}^{Conf} = N_{IMS} * K_{IMS}^{одн} * K_{IMS}^{VConf} * C_{відео}, \quad (3.12)$$

де, K_{IMS}^{VConf} - частка трафіку відеоз'єднань із сервером відеоконференцій;

$C_{відео}$ - швидкість передачі, необхідна для відео з'єднань.

9) розрахунок трафіку послуг IMS розраховується за такою формулою (3.13).

$$C_{IMS} = C_{IMS}^{ЦП} + C_{IMS}^{VConf} + C_{IMS}^{Call}, \quad (3.13)$$

Де C_{IMS}^{VConf} – трафіку відеоз'єднань із сервером відеоконференцій IMS;

$C_{IMS}^{ЦП}$ - трафік голосових послуг на ЦУ IMS;

C_{IMS}^{Call} - трафік голосових з'єднань IMS.

10) розрахунок трафіку абонентів послуги IPTV на вузлі C_{IPTV} , Мбіт/с, розраховується за формулою (3.14):

$$\begin{aligned}
C_{IPTV} = & (N_{\text{ШСД}} * K_{IPTV} - N_{\text{ШСД}} * K_{VOD}) * \frac{N_{TV}}{N_{TV} + N_{HDTV}} * 4 \\
& + (N_{\text{ШСД}} * K_{IPTV} - N_{\text{ШСД}} * K_{VOD}) * \frac{N_{HDTV}}{N_{TV} + N_{HDTV}} * 12 + N_{\text{ШСД}} \\
& * K_{VOD} (1 - K_{\text{одн.VOD}}) * \frac{N_{TV}}{N_{TV} + N_{HDTV}} * 4 + N_{\text{ШСД}} \\
& * K_{VOD} (1 - K_{\text{одн.VOD}}) * \frac{N_{HDTV}}{N_{TV} + N_{HDTV}} * 12, \tag{3.14}
\end{aligned}$$

де N_{TV} – кількість каналів IPTV мовлення;

N_{HDTV} - число каналів IPTV мовлення у форматі HD;

$N_{\text{ШСД}}$ - число абонентів ШСД на вузлі;

K_{IPTV} – частка абонентів IPTV;

K_{VOD} – частка абонентів VoD;

$K_{\text{одн.VOD}}$ - частка одночасних звернень до послуги VoD абонентів IPTV.

За умови, якщо розрахункове значення C_{IPTV} перевищує 560 для першого етапу і 1092 для другого етапу, то для C_{IPTV} використовуються значення 560 і 1092 Мбіт/с відповідно;

11) розрахунок трафіку абонентів послуги VOD на вузлі C_{VOD} , Мбіт/с, розраховується за формулою (3.15):

$$C_{VOD} = N_{\text{ШСД}} * K_{IPTV} * K_{VOD} * 4. \tag{3.15}$$

12) розрахунок технологічного трафіку на вузлі $C_{\text{техн}}$, Мбіт/с, розраховується за формулою (3.16):

$$C_{\text{техн}} = (C_{\text{ШСД}}^{\text{нискх}} + C_{MSE} + C_{L2} + C_{IMS} + C_{IPTV} + C_{VOD}) * 0,01, \tag{3.16}$$

де $C_{\text{ШСД}}^{\text{нискх}}$ – трафік абонентів ШСД, Мбіт/с;

C_{MSE} - трафік абонентів IP VPN та послуги доступу до Інтернету з використанням IP підключення, Мбіт/с;

C_{L2} - трафік абонентів послуги прозорого Ethernet, Мбіт/с;

C_{IMS} - трафік абонентів послуг IMS, Мбіт/с;

C_{IPTV} – трафік абонентів відео послуг, Мбіт/с;

C_{VOD} - трафік абонентів послуги VOD, Мбіт/с.

13) розрахунок загального навантаження на канал зв'язку у напрямку до абонента $C^{нисх}$, Мбіт/с, розраховується за формулою (3.17):

$$C^{нисх} = C_{ШСД}^{нисх} + C_{MSE} + C_{L2} + C_{IMS} + C_{IPTV} + C_{VOD} + C_{техн} \quad (3.17)$$

де $C_{техн}$ – технологічний трафік.

14) розрахунок загального навантаження на канал зв'язку за направленням від абонента $C^{висх}$, Мбіт/с, розраховується за формулою (3.18):

$$C^{висх} = C_{ШСД}^{висх} + C_{MSE} + C_{L2} + C_{IMS} + C_{VOD} + C_{техн} \quad (3.18)$$

де $C_{ШСД}^{висх}$ – трафіку абонентів ШСД, Мбіт/с.

і) розрахунок навантаження на канали зв'язку регіонального та міжрегіонального сегмента (РС-МРС) провадиться за такими формулами:

1) розрахунок навантаження на канали зв'язку РС-МРС ($C_{нисх.ШСД}^{РС-МРС}$), створюваного абонентами послуг Інтернет, розраховується за формулою (3.19):

$$C_{нисх.ШСД}^{РС-МРС} = C_{мін.ШСД}^{нисх} * N_{ШСД} * K_{норм.зрост}^3 * (1 - K_{рег}^{ШСД}), \quad (3.19)$$

де $N_{ШСД}$ – число абонентів ШСД у регіоні;

$C_{мін.ШСД}^{нисх}$ - потрібна мінімальна швидкість доступу, Мбіт/с;

$K_{норм.зрост}$ - щорічне зростання вимог абонента по смузі пропускання. Ступінь 3 вказує на те, що розрахунок проводиться на період 3 роки щодо 01.01.2021 (до 01.01.2024);

$K_{рег}^{ШСД}$ - частка трафіку ШСД, що замикається у межах регіонального сегмента.

2) розрахунок навантаження на канали зв'язку РС-МРС, створюваного абонентами послуг L3VPN та доступу до Інтернету з використанням IP підключення ($C_{MSE}^{РС-МРС}$) розраховується за формулою (3.20):

$$C_{MSE}^{РС-МРС} = C_{ШСД}^{нисх} * K_{MSE/ШСД} * (1 - K_{рег}^{ШСД}), \quad (3.20)$$

де $C_{\text{ШСД}}^{\text{нисх}}$ – трафік абонентів ШСД, Мбіт/с;

$K_{MSE/\text{ШСД}}$ - частка трафіку абонентів IP VPN щодо трафіку ШСД;

$K_{\text{Рег}}^{\text{ШСД}}$ - частка трафіку послуг L3VPN та доступу до Інтернету з використанням IP підключення, що замикається в межах регіонального сегменту.

3) розрахунок навантаження на канали зв'язку PC-MPC, створюваного абонентами послуг IMS ($C_{IMS}^{\text{PC-MPC}}$), розраховується за формулою (3.21):

$$C_{IMS}^{\text{PC-MPC}} = N_{IMS} * K_{IMS}^{\text{одн}} * (K_{IMS}^{\text{Call}} * C_{\text{голос}} * K_{IMS}^{\text{MPC}} + K_{IMS}^{\text{VConf}} * C_{\text{відео}} * K_{IMS}^{\text{VConf-MPC}}), \quad (3.21)$$

де N_{IMS} – число абонентів IMS на вузлі;

$K_{IMS}^{\text{одн}}$ - частка одночасного звернення до послуг IMS;

K_{IMS}^{Call} – частка голосових з'єднань від загальної кількості звернень до послуг IMS;

$C_{\text{голос}}$ - швидкість передачі, необхідна для голосових з'єднань;

K_{IMS}^{VConf} - частка трафіку відеоз'єднань з сервером відеоконференцій;

$C_{\text{відео}}$ - швидкість передачі, необхідна для відео з'єднань;

K_{IMS}^{MPC} - частка голосових з'єднань, що встановлюються з використанням MPC;

$K_{IMS}^{\text{VConf-MPC}}$ – частка з'єднань, що встановлюються з використанням сервера іншого регіону.

4) розрахунок навантаження на канали зв'язку PC-MPC, створюваного технологічним трафіком ($C_{\text{техн}}$) розраховується за формулою (3.22):

$$C_{\text{техн}} = (C_{\text{нисх.ШСД}}^{\text{PC-MPC}} + C_{MSE}^{\text{PC-MPC}} + C_{IMS}^{\text{PC-MPC}}) * 0,01, \quad (3.22)$$

де $C_{\text{нисх.ШСД}}^{\text{PC-MPC}}$ – навантаження на канали зв'язку PC-MPC, створюване абонентами ШПД послуг Інтернет;

$C_{MSE}^{\text{PC-MPC}}$ – навантаження на канали зв'язку PC-MPC, створюване абонентами послуг L3VPN та доступу до Інтернету з використанням IP підключення;

C_{IMS}^{PC-MPC} - навантаження на канали зв'язку PC-MPC, створюване абонентами послуг IMS.

5) розрахунок загального навантаження на канали зв'язку PC-MPC ($C_{нисх}^{PC-MPC}$, $C_{висх}^{PC-MPC}$) розраховуються за формулами (3.23), (3.24):

$$C_{нисх}^{PC-MPC} = C_{нисх.ШСД}^{PC-MPC} + C_{MSE}^{PC-MPC} + C_{IMS}^{PC-MPC} + C_{техн}, \quad (3.23)$$

$$C_{висх}^{PC-MPC} = C_{нисх.ШСД}^{PC-MPC} * 0,4 + C_{MSE}^{PC-MPC} + C_{IMS}^{PC-MPC} + C_{техн} + C_{техн}. \quad (3.24)$$

ж) Для забезпечення необхідних параметрів QoS проектні значення допустимого навантаження повинні враховувати технологічний запас, як це визначено нижче:

1) розрахунок навантаження на канал зв'язку у напрямку до абонента із забезпеченням технологічного запасу ($C_{проект}^{нисх}$) розраховується за формулою (3.25).

$$C_{проект}^{нисх} = K_{запас} * C^{нисх}, \quad (3.25)$$

де $C_{проект}^{нисх}$ – проектне навантаження на канал зв'язку з урахуванням технологічного запасу, Мбіт/с;

$K_{запас}$ - коефіцієнт закладеного технологічного резерву за продуктивністю;

$C^{нисх}$ - загальне навантаження на канал зв'язку у напрямку від абонента, Мбіт/с.

2) розрахунок навантаження на канал зв'язку у напрямку від абонента із забезпеченням технологічного запасу ($C_{проект}^{висх}$) розраховується за формулою (3.26).

$$C_{проект}^{висх} = K_{запас} * C^{висх}, \quad (3.26)$$

де $C_{проект}^{висх}$ – проектне навантаження на канал зв'язку у напрямку від абонента з урахуванням технологічного запасу, Мбіт/с;

$C^{висх}$ - загальне навантаження на канал зв'язку у напрямку від абонента, Мбіт/с.

к) розрахунок навантаження на обладнання вузлів ММЗ, розраховується за такими формулами:

1) необхідна продуктивність устаткування вузлі ($P_{\text{заг}}$) розраховується за такою формулою (3.27).

$$P_{\text{заг}} = C_{\text{проект}}^{\text{нисх}} + C_{\text{проект}}^{\text{висх}} \quad (3.27)$$

де $P_{\text{заг}}$ - загальна продуктивність мережевого пристрою, Мбіт/с;

$C_{\text{проект}}^{\text{висх}}$ – проектне навантаження на канал зв'язку у напрямку від абонента з урахуванням технологічного запасу, Мбіт/с;

$C_{\text{проект}}^{\text{нисх}}$ – проектне навантаження на канал зв'язку у напрямку до абонента з урахуванням технологічного запасу, Мбіт/с.

3.4.2 Загальні відомості про проведені розрахунки

У цьому розділі наведено дані розрахунків навантаження на вузли, канали зв'язку та обладнання регіональної мережі DWDM на 1 січня 2023 року. Розрахунки виконувались на підставі таких даних [6]:

- прогнози зростання абонентської бази до 01.01.2024 р. оператора;
- поточний розподіл абонентів за DSLAM на ММЗ оператора;
- схеми організації зв'язку регіонального сегмента, розроблені у межах поточного проекту;

Відповідно до методики у кожному регіональному вузлі у проведених розрахунках враховуються такі типи трафіку даних:

- трафік масових абонентів;
- трафік корпоративних клієнтів IP VPN та послуги доступу до Інтернету з використанням IP підключення;
- трафік абонентів послуги прозорого Ethernet;
- трафік абонентів послуг IMS;
- трафік абонентів відео послуг IP TV та «відео на вимогу» (VoD);
- трафік технологічних підсистем.

3.4.2.1 Розрахунок навантаження на канали зв'язку

У табл. 3.7 наведено результати розрахунків вхідного/вихідного трафіку периферійних вузлів, проектної продуктивності каналу, наявність резерву.

Наявність резерву у проекті характеризує наявність дублюючого каналу зв'язку відповідно до схем організації зв'язку регіонального сегменту, розроблених у рамках поточного проекту».

Таблиця 3.7 - Розрахункові значення продуктивності вхідного/вихідного трафіку ПУ, проектної продуктивності каналу, наявність резерву

Канал	Трафік каналу, низхідний, Гбіт/с	Трафік каналу, висхідний, Гбіт/с	Проектна продуктивність каналу (за наявності резерву - у разі одиничної відмови каналу) Гбіт/с	Існуюча продуктивність каналу (разом із резервом), Гбіт/с	Наявність резерву у проекті
Вузол №3 – ВА Вузол №1 АМТС	0,86	0,34	2,00	1,00	Так
Вузол №4 – ВА Вузол №1 АМТС	1,56	0,62	1 0,00	1,00	Так
Вузол №5 – ВА Вузол №1 АМТС	1,26	0,51	2,00	1,00	Так
Вузол №6 – ВА Вузол №1 АМТС	1,44	0,58	1 0,00	1,00	Так
Вузол №7 – ВА Вузол №1 АМТС	0,51	0,20	2,00	1,00	Так
Вузол №8 – ВА Вузол №1 АМТС	1,15	0,32	2,00	1,00	Так
Вузол №9 – ВА Вузол №1 АМТС	0,76	0,30	2,00	1,00	Так
Вузол №10 – ВА Вузол №1 АМТС	0,67	0,27	2,00	1,00	Так
Вузол №11 – ВА Вузол №1 АМТС	1,26	0,51	2,00	1,00	Так
Вузол №12 – ВА Вузол №1 АМТС	1,03	0,41	2,00	1,00	Так
Вузол №13 – ВА Вузол №1 АМТС	0,76	0,3	2,00	1,00	Так
Вузол №14 – ВА Вузол №1 АМТС	0,67	0,27	2,00	1,00	Так
Вузол №15 – ВА Вузол №1 АМТС	1,26	0,51	2,00	1,00	Так
Вузол №16 – ВА Вузол №1 АМТС	1,15	0,32	2,00	1,00	Так
Вузол №17 – ВА Вузол №1 АМТС	0,86	0,34	10,00	1,00	Так
Вузол №18 – ВА Вузол №1 АМТС	0,51	0,20	2,00	1,00	Так
Вузол №19 – ВА Вузол №1 АМТС	0,76	0,3	10,00	1,00	Так
Вузол №20 – ВА Вузол №1 АМТС	0,67	0,27	2,00	1,00	Так
Вузол №21 – ВА Вузол №1 АМТС	1,26	0,51	2,00	1,00	Так
Вузол №22 – ВА Вузол №1 АМТС	1,15	0,32	2,00	1,00	Так
Вузол №23 – ВА Вузол №1 АМТС	0,78	0,31	2,00	1,00	Так

3.4.2.2 Розрахунок навантаження на обладнання

У табл. 3.8 показано значення сумарного трафіку вузла та проектні продуктивності вузлів регіонального сегмента.

Таблиця 3.8 - Розрахунок навантаження обладнання периферійних вузлів

Вузол	Сумарний трафік вузла, Гбіт/с	Проектна продуктивність вузла у напрямку до абонента, Гбіт/с	Проектна продуктивність вузла у напрямку від абонента, Гбіт/с
Вузол №3	1,20	4	4
Вузол №4	2,12	20	20
Вузол №5	1,77	4	4
Вузол №6	2,02	20	20
Вузол №7	0,71	4	4
Вузол №8	1,47	4	4
Вузол №9	1,06	8	8
Вузол №10	0,94	8	8
Вузол №11	1,77	4	4
Вузол №12	1,44	4	4
Вузол №13	1,06	4	4
Вузол №14	0,94	4	4
Вузол №15	1,77	4	4
Вузол №16	1,47	4	4
Вузол №17	1,20	20	20
Вузол №18	0,71	4	4
Вузол №19	1,06	20	20
Вузол №20	0,94	4	4
Вузол №21	1,77	4	4
Вузол №22	1,47	4	4
Вузол №23	1,09	4	4

У табл. 3.9 показано значення сумарного трафіку вузлів агрегації та проектні продуктивності вузлів агрегації.

Таблиця 3.9 - Розрахунок навантаження обладнання вузлів агрегації

Вузол	Сумарний трафік вузла, Гбіт/с	Проектна продуктивність вузла у напрямку до абонента, Гбіт/с	Проектна продуктивність вузла у напрямку від абонента, Гбіт/с
ВА Вузол №1 АТМС	27,98	80,00	80,00
ВА Вузол №2	27,98	80,00	80,00

3.5 Організація управління

Проектоване обладнання вузлів зв'язку мережі ВАТ «Укртелеком» володіє високим ступенем надійності та стійкості до відмови і відноситься до класу необслуговуваного обладнання, яке не вимагає постійної присутності персоналу.

Локальне управління та моніторинг обладнання, що проектується, передбачається з використанням програмних та апаратних засобів, що поставляються у складі комплексу обладнання OSN 8800. Для здійснення локального управління та моніторингу обладнання передбачено використання існуючого робочого місця.

Також проектом передбачено організацію віддаленого управління проектованим обладнанням з існуючого центру управління МРЦУС ВАТ «Укртелеком» у м. Київ. Для керування обладнанням на даному об'єкті передбачається використання системи керування типу iManager U 2000 вер. ПО V 100 (Виробник компанія Huawei Technologies Co., Ltd , Китай) [7].

Так як у системі DWDM моніторинг та керування здійснюється за допомогою хвилі керування, то, відповідно, на кожну нову полицю необхідно встановити плати FIU та SC 2.

Плата FIU служить виділення хвилі управління із загального спектру сигналу прийомі і додавання хвилі управління загального спектру сигналу на виході.

Плата SC 2 служить прийому і передачі безпосередньо самої хвилі управління [7].

3.6 Вибір обладнання

3.6.1 Вибір обладнання відповідно до проведених розрахунків

Оптична транспортна система спектрального ущільнення DWDM оператора зв'язку побудована на базі обладнання OptiX Metro 6040-6100 виробництва Huawei Technologies (КНР).

Усі транспондери забезпечують передачу даних без втрат і у разі пошкодження каналу зв'язку у некритичних ситуаціях відновлюють дані за допомогою покращеного алгоритму виправлення помилок (AFEC). На ділянках, де загальна довжина оптичного каналу перевищує 800 км., використовується електрична регенерація для відновлення трафіку.

За весь час експлуатації обладнання OptiX Metro 6040-6100 показало свою експлуатаційну надійність та зручність організації нових каналів. Система управління T2000 забезпечує простоту та ергономічність при спостереженні та керуванні мережею [9].



Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд платформи OptiX OSN 8800

Для модернізації регіональних сегментів мультисервісних мереж компанією Huawei Technologies замість OptiX Metro 6040-6100 було обрано обладнання OptiX OSN 8800, що зображено на рис. 3.3 [7].

Дане обладнання повністю сумісне на рівні фізичного середовища і має розширений функціонал порівняно з платформою OptiX Metro 6040-6100. Ця платформа дозволяє задовольнити всі технічні запити операторів зв'язку під час проектування, побудови та розширення оптичної транспортної мережі. Цінову позицію платформи OSN 8800 можна порівняти за рівнем з транспондерами платформи OptiX Metro 6040-6100, що застосовується в попередньому проекті. Тим самим зберігається рівень витрат при організації одного оптичного каналу

та додатково з'являється можливість отримати розширений функціонал платформи OSN 8800 [7].

Використання загальної шини в шасі поділяє транспондери на окремі пристрої: лінійні плати (WDM) та сервісні плати (GE, STM, FC). Використання транспондерної схеми також зберігається.

Наявність загальної шини обміну трафіком дозволить використовувати агрегацію транспортних потоків до загального потоку, тим самим збільшується коефіцієнт використання одного оптичного каналу. Таким чином, агрегація каналів вирішує проблему неповної утилізації оптичного каналу і знижує загальну кількість задіяних оптичних каналів на сегменті.

У разі, якщо довжина одного напрямку логічного сегмента мультисервісної мережі потребує регенерації, то вона можлива без застосування спеціальних плат регенерації. Регенерацію на платформі OptiX OSN 8800 можна організувати застосуванням штатних лінійних плат без вивантаження на сервісні інтерфейси [7].

Відсутність додаткового перетворення WDM-Client Service-WDM підвищить надійність мережі. Тим самим модернізація мережі на базі оптичного обладнання, спеціалізованого для регіональних мереж підвищить загальну надійність, знизить номенклатуру запасних частин та полегшить експлуатацію та планування мережі надалі.

Типове рішення щодо вибору обладнання для вузла OADM

Як було обґрунтовано вище, у якості обладнання для нових вузлів OADM обрано OSN 8800 T16 [7].

1. Rack – стандартна стійка, яка має 4 полиці з платами (Subrack) і дистриб'ютор живлення.

2. Common Unit – плати загального призначення:

- TN11PIU02 – плата живлення полиці (необхідно дві штуки для забезпечення резервування);

- TN11AUX02 – плата службових інтерфейсів;

- TN51SCC01 – контролер полиці.

Для забезпечення функцій управління та інтеграції нашого обладнання до системи управління необхідні такі плати:

- TN13FIU01 - плата, що виділяє\додає хвилю управління з\в загального спектру (2 шт - одна для виділення і ще одна для додавання хвилі управління);

- TN12SC201 – плата приймання передачі хвилі управління (1 шт) [7].

3. OADM Multiplexer Unit – мультиплексорний блок

- TN12M4001 – плата мультиплексора, здатна додавати до 40 хвиль у канал зв'язку;

- TN12D4001 – плата демультиплексора, здатна виділяти до 40 хвиль з каналу зв'язку;

- TN12M40V01 - плата мультиплексора, здатна додавати до 40 хвиль канал зв'язку, з програмними змінними атенюаторами [7].

4. Amplifier Unit - підсилювачі

На підставі аналізу параметрів лінії, вибираємо вхідні та вихідні підсилювачі:

- TN12OBU103/104 – вихідний підсилювач (по одному на кожен напрям);

- TN12OAU101/103 – вхідний підсилювач (по одному на кожен напрям).

Потужності даних підсилювачів буде достатньо забезпечення впевненого прийому [7].

5. Dispersion Compensation Module - модулі компенсації дисперсії

З аналізу відстаней між вузлами лінії вибираємо модулі компенсації дисперсії. Для вузла №2 це будуть модулі:

- SSE-DCM(T)-C-652(10km) – Модуль компенсації дисперсії на 10 км;

- SSE-DCM(A)-C-652(20km) – Модуль компенсації дисперсії на 20 км;

- SSE-DCM(A)-C-652(40km) – Модуль компенсації дисперсії на 40 км;

- SSE-DCM(A)-C-652(60km) – Модуль компенсації дисперсії на 60 км;

- SSE-DCM(A)-C-652(80km) – Модуль компенсації дисперсії на 80 км;

- SSE-DCM(A)-C-652(100km) - Модуль компенсації дисперсії на 100 км [7].

6. DWDM Transponder - транспондери

З розрахунків планованого обсягу передачі, вибираємо транспондери.

На вузлах використовуємо такі транспондери:

- TN53TDX – плата, що має 2 клієнтські порти, з можливістю виділення до 10Гбіт/с на порт. Таким чином, розміщення 2 таких плат не тільки відповідатиме розрахунковим значенням, але й забезпечуватиме можливість збільшення обсягу передачі даних (для цього треба буде задіяти другий клієнтський порт);

- TN54TOA - плата, що має 8 клієнтських портів, з можливістю виділення до 1Гбіт/с на порт [7] .

7. Attenuator/Adapter – фіксовані атенюатори

Необхідні для вирівнювання рівнів на клієнтських та лінійних входах транспондерів.

8. Software Charge Quotation & Charge Item Collection Програмне забезпечення.

Типове рішення для вузла OTM буде аналогічним за винятком вибору шасі, замість OSN 8800 T16, використовуваних на вузлах OADM будемо використовувати шасі OSN 8800 T32, дане шасі маємо великі комутаційні можливості, можливість обробки більшого обсягу передачі даних.

3.6.2 Вибір обсягу та характеристик кабелів

На основі типової схеми оптичних з'єднань для OADM і OTM вузла, ми можемо розрахувати обсяг оптичних патч-кордів.

Для встановлення та введення в дію обладнання OSN6800 потрібні такі види кабелів [6]:

1. Електричні:
 - a. кабелі живлення;
 - b. кабелі заземлення.
2. Комутаційні кабелі:
 - a. мідні – кручена пара категорії 5e для комутації полиць у стійці між собою.
 - b. оптичні.

Кабелі живлення та заземлення поставляються разом із обладнанням Huawei.

Характеристики кабелів живлення та заземлення [7]:

- напруга: 450/750V,
- ДЕРЖСТАНДАРТ: 60227 ІЕС 02(RV)
- діаметр: 25mm²
- максимальний струм: 110А
- забарвлення кабелів живлення: чорний та блакитний колір. Для заземлення кабелів: жовтий.

Розрахунок довжини кабелів заземлення та живлення заснований на довжині траси до ПУЕ та ГЗШ приміщення, яким буде встановлена стійка DWDM.

Комутаційні кабелі:

1. Мідні кабелі – кручена пара UTP категорії 5e.

Необхідні для комутації полиць однієї стійки між собою. Роз'єми з обох

боків RJ-45. Довжина фіксована. Поставляються у комплекті зі стійкою.

2. Оптичні патч-корди:

Необхідні для комутації всередині стійки між платами, а також для комутації обладнання DWDM з обладнанням ММЗ та магістральними кросами.

Характеристики оптичних патч-кордів:

- тип конекторів: LC/UPC - LC/UPC; LC/UPC - FC/UPC;
- стандарт: Single mode - G652D;
- діаметр: 2мм.

Всі оптичні роз'єми на платах обладнання OSN6800 мають вигляд конектора UPC LC.

Оптичні роз'єми на магістральних кросах всіх вузлів – UPC FC. Роз'єми на обладнанні ММЗ UPC LC.

Таким чином, нам будуть необхідні оптичні патч-корди трьох видів:

- Dual UPC LC-LC – для комутації обладнання DWDM та ММЗ. Довжина визначається проектом (рис. 3.1);

- UPC LC-FC – для комутації обладнання DWDM та магістральних кросів. Довжина визначається проектом (рис. 3.1);

- UPC LC-LC 3м. – для комутації усередині стійки.

Нижче представлена зведена таблиця кабелів, що закуповуються (табл. 3.10):

Таблиця 3.10 - Зведена таблиця кабелів:

Тип кабелю	Призначення	Тип конектора	Довжина, м	Кількість
60227 IEC 02(RV)	Живлення, заземлення нового обладнання	-	рис. 3.1	23
Single mode-G652D	Комутація між платами в одній стійці	LC-LC	3м	906
Single mode - G652D	Комутація між обладнанням DWDM та магістральними кросами	LC-FC	рис. 3.1	140
Single mode - G652D	Комутація між обладнанням DWDM та обладнанням ММЗ	LC-LC	рис. 3.1	136

3.7 Планування розміщення обладнання

3.7.1 Вибір місця розташування обладнання

Розглянемо приклад розміщення устаткування з прикладу вузла №10.

Основне проектоване обладнання вузла зв'язку розміщується на другому поверсі в приміщенні АТС у телекомунікаційній стійці 19" 2200*600*300мм, що входить до комплексу постачання обладнання, в будівлі ВАТ «Укртелеком» за адресою: м. Прилуки, вул. Київська, д. 116.

Розміщення проектованого обладнання повинно виконуватись відповідно до норм технологічного проектування та вимог фірм-виробників обладнання з урахуванням мінімальної протяжності з'єднувальних кабелів та зручностей технічної експлуатації.

У ході проведення проектно-тестувальних робіт було перевірено несучу здатність перекриттів залежно від фактичного розміщення технологічного обладнання.

Відповідно до СНиП 2.01.07-85 «Навантаження та впливу» нормативні значення рівномірно розподілених навантажень для перекриттів приміщень приймаються не більше 2,0 кПа (200 кгс/м²).

Розрахунок тимчасового навантаження та рівномірно розподілених навантажень на міжповерхове перекриття від проектованого та існуючого обладнання вузла зв'язку за адресою: м. Прилуки, вул. Київська, д. 116, представлений у табл. 3.11.

Для розрахунку приймається маса існуючого та проектованого обладнання для конкретного типу перекриттів приміщення (21,6 м²).

Відповідно до технічної документації на обладнання рівномірно розподілене навантаження для перекриття приміщення проектованого та існуючого внутрішнього технологічного обладнання, що розміщується, становить не більше 36,3 кгс/м² і не перевищує 200 кгс/м².

При цих типах розташування обладнання несуча здатність перекриттів технічних приміщень забезпечена. Заходи щодо підготовки приміщень та посилення будівельних конструкцій не потрібні.

Таблиця 3.11 - Розрахунок сумарної маси проектного та існуючого обладнання

Проектоване обладнання	маса, кг
Устаткування волоконно-оптичних систем передачі із спектральним розподілом оптичних каналів DWDM Huawei OSN 8800 - 1 шт.	110,0
Існуюче обладнання	маса, кг
Шафа телекомунікаційна 19 ”, (місце 1) – 1шт.	135,0
Шафа телекомунікаційна 19 ”, (місце 2) – 1шт.	140,0
Шафа телекомунікаційна 19 ”, (місце 3) – 1шт.	120,0
Шафа телекомунікаційна 19”, Існ. обладнання ВАТ «Укртелеком» (місце 5) – 1шт.	150,0
Шафа телекомунікаційна 19 ”, (місце 6) – 1шт.	130,0
Сумарна маса обладнання	785
Рівномірно розподілене навантаження (відповідно до площі плити покриття 21,6м ²), кгс/м ²	36,3

3.7.2 Вибір траси прокладання кабелів

На даному вузлі є можливість здійснити прокладання комутаційних кабелів та кабелів живлення за існуючими конструкціями. На вузлі є кабель-рости сходового типу, завширшки 300 мм. Траса проходить від стійки DWDM до магістрального кросу, на якому здійснюватиметься комутація з лінією та обладнанням ММЗ.

3.8 Електроживлення обладнання

Електроживлення обладнання, що проектується, здійснюється від існуючих джерел електропостачання. Зовнішнє електропостачання цим проектом не розробляється.

Електроживлення проектного обладнання Huawei OSN 8800 здійснюється постійним струмом напругою -60В від існуючого щита живлення ВРЩ-60В, розташованого в приміщенні через існуючі шини живлення.

Відповідно до акта з розмежування балансової належності та відповідальності з експлуатації електричних пристроїв забезпечується 2 кабельні введення від ТП 131. Для забезпечення II категорії надійності електропостачання передбачена можливість включення існуючого дизельного генератора з ручним перемиканням між вводами.

Таблиця 3.13 - Потужність потужності проектного обладнання [4]

Устаткування	Потужність, Вт
Шасі №1 Assembly Subrack (OSN 8800) - 1 шт .	1000
Шасі №1 Assembly Subrack (OSN 8800) - 1 шт .	1000
Загальна споживана потужність	2000

Примітка: для розрахунку приймається споживана потужність обладнання оптимальної конфігурації.

3.9 Налаштування програмного забезпечення обладнання DWDM

3.9.1 Розробка плану налаштування

Специфіка налаштування обладнання DWDM така, що потребує особливого підходу до організації пуско-налагоджувальних робіт.

Принцип організації робіт з налаштування магістральної лінії DWDM має практичний характер і ґрунтується на зручності при переміщенні між вузлами, які рознесені між собою у просторі на десятки кілометрів, а також на принципі проходження сигналу через вузли магістралі.

Маючи два вузли з конфігурацією OTM і набір вузлів з конфігурацією OADM між ними, ми починаємо налаштування з вузла OTM. Рухатимемося вздовж магістралі, від одного OADM до іншого в умовному напрямку А.

На кожному OADM є дві клієнтські плати транспондера, які працюють у різні напрямки. Відповідно, спочатку ми налаштуємо прийом у напрямку В (виділення хвилі) на першу клієнтську плату, а потім передачу в напрямку А (додавання хвилі) з другої клієнтської плати.

Під налаштуванням ми розумітимемо вирівнювання загального спектра сигналу, так як після вставки\виділення однієї хвилі із загального спектру, транзитні хвилі і хвиля, що виділяється будуть мати, швидше за все, різні рівні.

Також налаштування потребують рівні на входах підсилювачів. Тут ми аналогічно налаштуємо лише приймальний підсилювач із напрямку В та вихідний підсилювач, який працює у напрямку А.

На інших OADM налаштування аналогічні. Таким чином, виходить, що ми проводимо налаштування сигналу в одному напрямку, від одного OTM до іншого. Після того, як ми досягнемо другого OTM, ми розвертаємо сигнал і вже йдемо у зворотному напрямку, роблячи аналогічні операції.

3.9.2 Виконання програмного налаштування обладнання OSN8800

На початку необхідно підключитися до полиці через порт NM. Потрібно відкрити програму Navigator та встановити з'єднання з полицею.

Насамперед потрібно прописати необхідну службову інформацію:

Ім'я полиці:

:cm-set-nename: мережеве ім'я полиці

id елемента:

:cm-set-neid: id полиці

Після того, як змінився ID елемента, полиця перезавантажується. Після завантаження полиці потрібно перевірити, що вона завантажилася з правильним ім'ям і id.

Далі потрібно запуснути перформанси:

:per-set-starttime:15m,2000@1@2@3@4@5; - стартувати перфоманси 15-хвилинні (для нової полиці)

:per-set-starttime:24h,2000@1@2@3@4@5; - стартувати перфоманси 24-годинні (для нової полиці)

А, щоб перформанси ініціалізувалися, необхідно змінити дату, так як вони налаштовані на запуск із 2000 року:

:set-time:15*10*00; - встановлення часу

:set-date:2023-02-12; - Встановлення дати

Далі необхідно прописати нові плати в полиці за допомогою команд:

:cfg-get-bdinfo – отримати інформацію про плату

:cfg-get-phybd – подивитися на фізично встановлені плати (які, можливо, ще потрібно прописати)

:cfg-add-board:номер слота, назва плати – додавання плати

:cfg-del-board: номер слота, назва плати - видалення плати

Після того як всі плати додані, необхідно провести локальні тести для нових плат. Після локальних тестів починаємо безпосередньо налаштування.

Насамперед, наводимо норму рівнів на входах та виходах вхідного підсилювача.

Робимо це за допомогою вбудованого змінного атенюатора:

: cfg-set-attenuation: номер плати, порт, 1, значення загасання; - встановити значення згасання на змінному атенюаторі

: cfg-get-attenuation: номер плати, порт, 1; - запитати значення згасання на змінному атенюаторі

Після того, як на вхідному підсилювачі рівні налаштовані, потрібно

налаштувати рівні на вихідному підсилювачі. На мультиплексорах, що використовуються на новому устаткуванні OSN8800, встановлені програмні змінні атенюатори на кожен порт. Таким чином, ми маємо можливість вирівнювати спектр, регулюючи рівень кожної хвилі на мультиплексорі. Для цього потрібно використовувати команди:

:cfg-set-attenuation: номер плати, порт, 1, значення загасання; - встановити значення згасання на змінному атенюаторі

:cfg-get-attenuation: номер плати, порт, 1; - запитати значення згасання на змінному атенюаторі

Після того, як спектр вирівняний. Необхідно налаштувати загальний рівень сигналу на вході і, відповідно, на виході підсилювача вихідного, за допомогою команд згаданих вище.

Крім регулювання змінного атенюатора, є можливість програмно змінювати коефіцієнт посилення підсилювача за допомогою команди:

:cfg-set-stdgain:номер слота,порт,1,коефіцієнт посилення; - встановити gain на підсилювачі

:cfg-get-stdgain:номер слота,порт,1 – подивитися gain на підсилювачі

Зазвичай, при налаштуванні намагаються не змінювати початкові значення коефіцієнта посилення, так як діапазону регулювання змінного атенюатора вистачає для налаштування рівнів.

Після вихідного підсилювача ми вже ніяк не можемо вплинути на рівень сигналу і на його спектр. Тому ми фіксуємо значення рівня сигналу, що йде далі в лінію, знімаємо спектрограми з контрольних точок та ідемо на наступний вузол.

3.10 Тестування лінії зв'язку DWDM, що модернізується

Відповідно до вимог замовника робіт - оператора зв'язку, локальні тести необхідно проводити лише на новому устаткуванні.

Так як все обладнання, яке ми налаштовуємо на даному проекті, нове, то, відповідно, на ньому необхідно проводити дані тести.

Тести необхідно проводити у відповідність до вимог, які представляє замовник – оператор зв'язку [8], які, у свою чергу ґрунтуються на міжнародних стандартах.

Результатом локальних тестів є протокол тестування устаткування, який заповнюється по мірі виконання етапів тестування.

Нижче наведено результати локальних тестів обладнання OSN8800.

Під час проведення тестів використовувалося устаткування фірми EXFO:

1. Система оптична вимірювальна FTB-500 з модулем OSA FTB-5240B – аналізатор спектру.
2. Система оптична вимірювальна FTB-500 з модулем 10GE FTB-8510G – модуль тестування 10 Гігабіт Ethernet.
3. Система вимірювальна оптична FTB-500 із модулем 1GE FTB-8510B – модуль тестування 1 Gigabit Ethernet.

А також:

4. Вимірник оптичної потужності - оптичний тестер EPM-102X
5. Мультиметр - Mastech MY64

Нижче наведено тести для типового вузла OADM (таблиці 3.13-3.27), тести інших вузлів будуть ідентичні.

Таблиця 3.13 - Перевірка електроживлення та аудіо-візуальної аварійної сигналізації на стійці

Об'єкт тестування			Перевірка електроживлення та аудіо-візуальної аварійної сигналізації на стійці			
тип обладнання	Версія	Розміщення	Джерело живлення 1,	Джерело живлення 2,	Аварійна сигналізація	Результат (норма/не норма)
OptiX OSN 8800	TN1K6A FB	B	-67,5	-67,5	Аудіо-візуальна	Норма
OptiX OSN 8800	TN1K6A FB	C	-67,5	-67,5	Аудіо-візуальна	Норма

Вимоги [7]: 1. Напруга джерел живлення 1 і 2 має бути в діапазоні від -40 до -72 В;

Таблиця 3.14 – Рівень чутливості транспондерів із клієнтської сторони

Об'єкт тестування					Чутливість приймача	
Тип плати	Версія плати	Розміщення (№ слота)	Порт	Тип інтерфейсу	Вимірюване значення, dBm	Результат (норма/не норма)
TOA	TN5M4TOA01	C02	RX1	1000BASE	-19	Норма
			RX2	-SX-0.5	-19	Норма
			RX3	KM	-19	Норма
			RX4		-19	Норма

Вимоги [7]: Чутливість транспондера, за інтерфейсом 1000BASE-SX-0.5

КМ, повинна бути не гіршою від -17dBm.

Таблиця 3.15 – Рівень потужності оптичного випромінювання транспондерів

Об'єкт тестування					Випромінювана оптична		Результат (норма/не норма)
Тип плати	Версія плати	Розміщення (№ слота)	Порт	Тип інтерфейсу	Вимірюване значення, dBm	Програмно виміряне значення, dBm	
ND2	TN5M3ND201	C01	OUT1	800 ps/nm-C Band (Odd)	0.48	0,5	Норма
			OUT2		0.57	0,7	Норма
TOA	TN5M4TOA01	C02	TX1	1000BAS	-5,5	-5,1	Норма
			TX2	E-SX-0.5	-5,5	-5,4	Норма
			TX3	КМ	-5,5	-5,3	Норма
			TX4		-5,5	-5,4	Норма

Вимоги [7]:

1. Потужність випромінювання плати TOA від -9,5 до -2,5 dBm;
2. Потужність випромінювання плати ND 2 від -3 до 2 dBm;

Таблиця 3.16 – Центральна частота оптичного каналу та відхилення

Об'єкт тестування				Центральна частота та відхилення			Результат (норма/не норма)
Тип плати	Версія плати	Розміщення (№ слота)	Порт	Виміряне значення, ТГц	Норма, ТГц	Відхилення від норми, ГГц	
ND2	TN5M3ND201	C01	OUT1	192,7023	192,7	2,3	Норма
			OUT2	192,8021	192,8	2,1	Норма

Вимоги [7]:

1. Центральна довжина хвилі (частота) має відповідати рекомендації МСЕ-T G .694.1 (табл.1) для міжканальної відстані 100ГГц;
2. Відхилення центральної частоти транспондерів типу ND 2 у системі з міжканальним інтервалом 0,1 ТГц має бути не більше 10 ГГц;

Таблиця 3.17 - Коефіцієнт придушення бічної моди (SMSR)

Об'єкт тестування				SMSR	Результат (норма/не норма)
Тип плати	Версія плати	Розміщення (№ слота)	Порт	Вимірне значення, дБ	
ND2	TN5M3ND201	C01	OUT1	49,99	Норма
			OUT2	49,34	Норма

Вимоги [7]:

- Для транспондерів ND 2 SMSR має бути більшим за 35дБ;

Таблиця 3.18 – Ширина спектру оптичного каналу лише на рівні -20дБ

Об'єкт тестування				Ширина спектру на рівні -20дБ	Результат (норма/не норма)
Тип плати	Версія плати	Розміщення (№ слота)	Порт	Вимірне значення, нм	
ND2	TN5M3ND201	C01	OUT1	0,206	Норма
			OUT2	0,200	Норма

Вимоги [7]:

- Для транспондерів ND 2 ширина спектра повинна бути меншою за 0,3 нм;

Таблиця 3.19 - Згасання, що вноситься кінцевим мультиплексором M40

Об'єкт тестування				Згасання, що вноситься мультиплексором	Результат (норма/не норма)
Тип плати	Версія плати	Розміщення (№ слота)	Порт	Вимірне значення, dB	
M40	TN12 M4001	B01 (Ш)	1	5,16	Норма
			2	5,07	Норма
			6	4,8	Норма
			7	5,1	Норма
			12	4,62	Норма
			13	4,66	Норма
			14	4,09	Норма
			25	5,16	Норма
			26	4,68	Норма
			27	5,2	Норма
			31	4,22	Норма
			32	4,83	Норма
			33	4,78	Норма
			34	4,36	Норма
			35	4,51	Норма
			36	4,55	Норма
			37	4,7	Норма
			38	3,88	Норма
			39	5,21	Норма
			40	3,95	Норма

Вимоги [7]:

1. Згасання, що вноситься мультиплексором M40 повинно бути менше 6,5 dB;

Таблиця 3.20 – Згасання, що вноситься кінцевим демультимплексором D 40

Об'єкт тестування				Згасання, що вноситься мультиплексором	Результат (норма/не норма)
Тип плати	Версія плати	Розміщення (№ слота)	Порт	Вимірне значення, dB	
D40	TN12D 4001	B07 (Ш)	1	4,09 _	Норма
			2	4,66	Норма
			6	4,5	Норма
			7	3,83	Норма
			12	3,95	Норма
			13	4,24	Норма
			14	4,4	Норма
			25	4,75	Норма
			26	4,6	Норма
			27	3,98	Норма
			31	4,71	Норма
			32	3,95	Норма
			33	3,78	Норма
			34	4,17	Норма
			35	4,57	Норма
			36	4,75	Норма
			37	3,98	Норма
38	4.31	Норма			
39	4,75	Норма			
40	4,24	Норма			

Вимоги [7]:

1. Згасання, що вноситься демультимплексором D 40 повинно бути менше 6,5 dB;

Таблиця 3.22 – Захищеність каналів демультимплексора від перехідних перешкод

Об'єкт тестування				Ізоляція каналів демультимплексора D40				Результат (норма/не норма)
				Ізоляція суміжних каналів		Мінімальна ізоляція		
Тип плати	Версія плати	Розміщення (№ слота)	Порт i	Порт j	Ізоляція між портами i і j, dB	Порт	Ізоляція, dB	
D40	TN12D 4001	B07 (Ш)	1	2	28,2	2	28,2	Норма
			2	1	29,5	1	29,5	Норма
				3	30,2			
			6	7	28	39	28	Норма
				5	28			
			7	8	32	38	30	Норма
				6	30			
			12	13	31,6	37	28,8	Норма
				11	28,8			
			13	14	30,5	34	29,5	Норма
				12	29,5			
			14	15	31	21	29	Норма
				13	29			
			D40	TN12D 4001	B07 (Ш)	25	26	28
24	30,3							
26	27	28,3				25	28,1	Норма
	25	28,1						
27	28	28,3				28	28,3	Норма
	26	29,1						
31	32	31,2				39	28	Норма
	30	28						
32	33	31,9				38	30,2	Норма
	31	30,2						
33	34	31,1				37	29,1	Норма
	32	29,1						
34	35	28,7				34	28,7	Норма
	33	31,3						
35	36	31,6				21	31,1	Норма
	34	31,1						
36	37	28,9				20	28,9	Норма
	35	29,4						
37	38	28,7				38	28,7	Норма
	36	28,9						
38	39	2,7	39	29,7	Норма			
	37	30,1						
39	40	28	40	28	Норма			
	38	29,8						
40	39	30	39	30	Норма			

Вимоги [7]:

1. Ізоляція суміжних каналів демультимплексора D 40 повинна бути більше 25 dB;

Таблиця 3.23 – Ширина лінії оптичного каналу демультиплексора

Об'єкт тестування				Ширина спектру, нм		Результат (норма/не норма)
Тип плати	Версія плати	Розміщення (№ слота)	Порт	На рівні -20 dB	На рівні -1 dB	
M40	TN12M4001	B01 (Ш)	1	1,15	0,23	Норма
			2	1,21	0,3	Норма
			6	1,19	0,27	Норма
			7	1,27	0,27	Норма
			12	1,22	0,31	Норма
			13	1,26	0,33	Норма
			14	1,19	0,25	Норма
			25	1,22	0,31	Норма
			26	1,22	0,34	Норма
			27	1,15	0,26	Норма
			31	1,16	0,31	Норма
			32	1,3	0,33	Норма
			33	1,29	0,27	Норма
			34	1,17	0,26	Норма
			35	1,12	0,35	Норма
			36	1,12	0,28	Норма
			37	1,12	0,25	Норма
			38	1,23	0,3	Норма
			39	1,23	0,32	Норма
			40	1,3	0,27	Норма

Вимоги [7]:

1. Для TN 12 D 40 ширина спектра на рівні -20дБ повинна бути не більше 14 нм, а на рівні -1 дБ не менше 02 нм;

Таблиця 3.24 - Коефіцієнт підсилення оптичного підсилювача

Об'єкт тестування				Вхідна потужність та коефіцієнт посилення оптичного підсилювача			Результат (норма/не норма)
Тип плати	Частота каналу, ТГц	Версія плати	Розміщення (№ слота)	Вхідна потужність, dBm	Вихідна потужність, dBm	Коеф. Підсилення, dB	
OBU	192,8	TN12OB	B03 (Ш)	-17,19	0,23	17,42	Норма
	192,6	U104		-17,24	0,13	17,37	Норма
OAU	192,8	TN13OA U101	B06 (Ш)	-16,33	3,69	20,02	Норма
OBU	192,7	TN12OB U104	B 13 (С)	-17,03	-0,14	16,89	Норма
OAU	192,6	TN13OA U101	B 15 (С)	-16,38	4,48	20,86	Норма

Вимоги [7]:

1. Діапазон коефіцієнта підсилення TN 12 OBU 104 17 ± 1.5 дБ;

2. Діапазон коефіцієнта підсилення TN 12 OBU 103 23 ± 1.5 дБ;
3. Діапазон коефіцієнта підсилення TN 13 OAU 101 20-31 дБ;
4. Діапазон коефіцієнта підсилення TN 13 OAU 103 24-36 дБ.

Таблиця 3.25 – Параметри оптичного каналу керування

Об'єкт тестування			Тестування оптичного каналу управління				Результат (норма/не норма)
Тип плати	Версія плати	Розміщення (№ слота)	Центральна довжина хвилі, нм	Чутливість приймача, dBm	Вихідна потужність, dBm	Програмно вимірне значення, dBm	
SC2	TN12SC201	B04	1508,3 26	-4 9,9	-2,19	-2,2	Норма
			1508,803	-50,3	-2,36	-2,2	Норма

Вимоги [7]:

1. Центральна довжина хвилі має бути в діапазоні 1500-1520 нм;
2. Чутливість приймача менше -48 dBm ;
3. Вихідна потужність від -4 до 0 dBm ;

Таблиця 3.26 - Вимірювання поточних рівнів потужності в контрольних точках

Об'єкт тестування				Результат		Результат (норма/не норма)
Тип плати	Версія плати	Розміщення (№ слота)	Контрольна точка (порт)	Вимірне значення, dBm	Програмно вимірне значення, dBm	
M40	TN12M4001	B01 (Ш)	OUT	-	3,1	Норма
			MON	-6,5	-	
OBU	TN12OBU104	B03 (Ш)	IN	-	-10	Норма
			OUT	-	7	Норма
			MON	-13	-	Норма
FIU	TN12FIU01	B05 (Ш)	MON	-12,88	-	Норма
OAU	TN13OAU101	B06 (Ш)	IN	-	-7,9	Норма
			OUT	-	12	Норма
			MON	-7,56	-	Норма
D40	TN12D4001	B07 (Ш)	IN	-	12,3	Норма
			MON	1,06	-	Норма
M40	TN12M4001	B11 (С)	OUT	-	3,6	Норма
			MON	-7,26	-	Норма
OBU	TN12OBU104	B13 (С)	IN	-	-10,1	Норма
			OUT	-	6,8	Норма
			MON	-13,28	-	Норма
FIU	TN13FIU01	B14 (С)	MON	-13,12	-	Норма

Продовження таблиці 3.26

OAU	TN13OAU10 1	B15 (C)	IN	-	-9,4	Норма
			OUT	-	12,2	Норма
			MON	-6,85	-	Норма
D40	TN12D4001	B17 (C)	IN	-	12,4	Норма
			MON	1,76	-	Норма
SC2	TN12SC201	B04	TM1	-2,19	-2,2	Норма
			RM1	-15	-14,4	Норма
			TM2	-2,36	-2,2	Норма
			RM2	-15	-14,5	Норма

Таблиця 3.27 - Вимірювання кількості помилок на секції (24 години)

Об'єкт тестування, інтерфейс (номер хвили/тип інтерфейсу/станція джерело/станція приймач)	Результат тесту					Результат (норма/не норма)
	Число відправлених пакетів	Число отриманих пакетів	Число втрачених пакетів	FEC	Latency на 100 км (мс)	
192,7 /1 GE / Прилуки1 / Пирятин	70221117 49	70221117 49	0	0	0,60018	Норма
192,7; 192,8 /1 GE / Прилуки1 / Пирятин	70219375 48	70219375 48	0	0	0,61421	Норма

Вимоги: відповідно до рекомендації ITU-T G.826, G.828.

На основі аналізу існуючої схеми мережі та параметрів лінії зв'язку, враховуючи необхідність модернізації магістральної ділянки, було розроблено проект, який включає розрахунок обсягу даних і вибір на його основі обладнання, вибір місця розміщення даного обладнання на вузлах, етапи налаштування та тестування. Після модернізації лінії збільшено пропускну спроможність на кожен вузол завдяки тому, що логічна топологія змінилася на «зірку». Існуюча до цього топологія «кільце» забезпечувала пропускну спроможність 10 Гбіт/с, яка ділилася між всіма вузлами лінії. У результаті були наведені результати виконаної роботи, які показують, що нове обладнання введено в дію та працює в штатному режимі, про що свідчать результати локальних тестів обладнання. Системні тести показали, що всі необхідні параметри модернізованої лінії перебувають у нормі.

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі магістра було розглянуто проект модернізації ділянки транспортної мережі оператора зв'язку з урахуванням устаткування щільного хвильового спектрального мультиплексування.

У ході роботи було проаналізовано існуючу лінію зв'язку, логічну та фізичну топологію мережі. Вибір обладнання ґрунтувався на розрахунках параметрів лінії та проєктованого навантаження на канал зв'язку. Проєкт модернізації розроблявся з урахуванням необхідності покращення параметрів магістралі у зв'язку із зростанням числа абонентів, наданням нових послуг, а також підвищенням якості вже існуючих. Проєкт спирається на новітні технології магістральних мереж передачі даних, а саме на сімейство технологій WDM, які за основними показниками перевершують класичні PDH та SDH технології.

Під час виконання було зроблено наступні висновки:

1. У порівнянні з технологіями сімейства TDM, такими як SDH і PDH, технології WDM засновані на принципі хвильового мультиплексування, що дозволяє з легкістю нарощувати швидкість передачі даних, просто додаючи нові хвилі в спектр. Так само дана система має велику гнучкість, масштабованість і, що важливо, дозволяє використовувати вже існуючі оптичні волокна. У ході розробки проєкту враховувалося і те, що вся транспортна мережа оператора зв'язку побудована за технологією DWDM, і нова лінія повинна була бути повністю інтегрована до існуючої транспортної мережі. Це більшою мірою і зумовило вибір обладнання.

2. На існуючій лінії використовується обладнання Metro 6040, яке працює за технологією "точка-точка". При існуючій фізичній та логічній топології «кільце» швидкість передачі даних обмежувалася 10 Гбіт/с яка розподілялася між усіма вузлами сегмента мережі. У результаті модернізації логічна топологія лінії змінюється з «кільця» на «зірку», фізична топологія зберігається. Дане перетворення дозволить виділити окремі хвилі для кожного вузла кільця, що дозволить розширити канал передачі даних від ЦП до кожного ВА і надалі збільшувати його незалежно від інших каналів.

3. Для модернізації було обрано обладнання фірми Huawei OSN 8800. Це рішення було засноване на тому, що вся транспортна мережа оператора зв'язку

побудована на основі обладнання даного вендора. Застосування вищевказаного обладнання повністю задовольнить вимоги щодо сумісності та повної інтеграції ділянки мережі, що модернізується.

4. Основні елементи системи DWDM, характеристики яких залежать від розрахункових параметрів лінії зв'язку та каналу передачі даних, були вибрані на основі відповідних розрахунків. Розрахунок регенераційних ділянок на основі трьох факторів: поляризаційної та хроматичної дисперсії, згасання показав, що встановлення додаткових регенераційних пунктів не потрібне. На основі розрахунку навантаження на канал зв'язку та обладнання були обрані транспондери TOA та TDX, що дозволяють передавати до 10 Гбіт/с на одній довжині хвилі, що повністю задовольняє потреби абонентів.

5. Після налаштування та введення в дію нового обладнання спектрального мультиплексування, як і будь-яка система передачі даних, система DWDM, що впроваджується, потребує тестування. У ході проведених локальних тестів обладнання переконалися в його повній працездатності та відповідності його параметрів міжнародним нормам.

Крім локальних тестів самого обладнання, тестування потребує і вся лінія, що модернізується в цілому. В результаті 24 тестів було перевірено роботу всіх плат-транспондерів на наявність бітових помилок. Також було проведено тест на часову затримку поширення сигналу. Отримані результати повністю відповідають міжнародним нормам та стандартам.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Бахаревський А. / DWDM мережі нового покоління: [Електронний ресурс] // Сайт Ciscoexpo.
2. Introduction to DWDM Technology: Cisco Systems, Inc., 2001. – 66 с.
3. Characteristics of a single-mode optical fibre and cable: Recommendation ITU-T G.652 / ITU-T, 2009. – 22 с.
4. ОСТН 600-93. Галузеві будівельно-технологічні норми на монтаж споруд та пристроїв зв'язку.
5. Методика розрахунку навантаження на канали та обладнання мультисервісної мережі зв'язку. – Відділ розвитку ВАТ «Укртелеком», 2010. – 16 с.
6. iManager U2000 Unified Network Management System. Operation Guide for WDM End-to-End Management. - Huawei Technologies Co., Ltd., 2010. – 228 с.
7. Посібник з тестування обладнання DWDM. - ВАТ «Укртелеком», 2010. - 34 с.
8. Optical interfaces for multichannel systems with optical amplifiers: Recommendation ITU-T G.692/ ITU-T, 2005. – 8 с.
9. OptiX BWS 1600G Backbone DWDM Optical Transmission System: Hardware Description. - Huawei Technologies Co., Ltd., 2011. – 851 с.
10. OptiX OSN 8800/6800/3800: Hardware Description. - Huawei Technologies Co., Ltd., 2010. – 2012 с.
11. Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid: Recommendation ITU-T G.694.1/ ITU-T, 2012. – 20 с.
12. Synchronous frame structures used at 1544, 6312, 2048, 8448 and 44 736 kbit/s hierarchical levels: Recommendation ITU-T G.704/ ITU-T, 1998. – 45 с.