

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

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри

Роман ОДАРЧЕНКО
“ _____ ” _____ 2022 р.

**ДИПЛОМНА
(КВАЛІФІКАЦІЙНА)
РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВР

Тема: «Мультисервісна мережа компанії»

Виконавець: _____ Дмитро УСТЕНКО
(підпис)

Керівник: _____ Веніамін АНТОНОВ
(підпис)

Нормоконтролер: _____ Денис БАХТІЯРОВ
(підпис)

Київ 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра телекомунікаційних та радіоелектронних систем

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Телекомунікаційні системи та мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Роман ОДАРЧЕНКО

“ _____ ” _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ на виконання дипломної роботи

Дмитра Романовича Устенко

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

1. Тема дипломної (кваліфікаційної) роботи: «Мультисервісна мережа компанії»
затверджена наказом ректора від «25» квітня 2022 р. №433/ст
2. Термін виконання роботи: з 23.05.2022 р. по 17.06.2022 р.
3. Вихідні дані до роботи: MSAN₁, MSAN₂, SW₁ та SW₂, MGW, MGCF
4. Зміст пояснювальної записки: Принципи побудови мультисервісної транспортної мережі MS-OTN, Розрахунок транспортного ресурсу мультисервісної мережі зв'язку, Мультисервісна платформа доступу ITN8600
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: Порівняння SDH/SONET та MS-OTN, Розбивка структури лінії OTN, OTN підтримує різні типи послуг на одній і тій же довжині хвилі, Ієрархія відображення OTN, Положення OTN щодо інших мережевих рівнів, Архітектура транспондер/мукспондер, Впровадження комутації OTN у локаціях ROADM, Зниження попиту на довжину хвилі за допомогою комутації OTN, Моніторинг тандемних з'єднань забезпечує прозорість управління на кількох (вкладених) рівнях, Від кільцевої мережі до коміркової, OTN та Control Plane як динамічний пул ресурсів для хмари, Оптичні приватні віртуальні мережі, Схема проектованої мультисервісної мережі на базі платформи MS-OTN

6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Розробити деталізований зміст розділів дипломної (кваліфікаційної) роботи	23.05.2022- 25.05.2022	Виконано
2	Вступ	25.05.2022	Виконано
3	Принципи побудови мультисервісної транспортної мережі MS-OTN	26.05.2022- 29.05.2022	Виконано
4	Розрахунок транспортного ресурсу мультисервісної мережі зв'язку	30.05.2022- 02.06.2022	Виконано
5	Мультисервісна платформа доступу ITN8600	03.06.2022- 06.06.2022	Виконано
6	Висновки	07.06.2022- 08.06.2022	Виконано
7	Усунення недоліків та захист дипломної роботи	09.06.2022- 17.06.2022	Виконано

7. Дата видачі завдання: “20” травня 2022 р.

Керівник дипломної роботи

(підпис керівника)

Веніамін АНТОНОВ

(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання

(підпис випускника)

Дмитро УСТЕНКО

(П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Дипломна (кваліфікаційна) робота «Мультисервісна мережа компанії» містить 70 сторінок, 17 рисунків, 11 таблиці, 17 використаних джерел.

TSM, SONET, SDH, OTU, OTN, MPLS, IP, ITU-T, DWDM, МУЛЬТИСЕРВІСНА ТРАНСПОРТНА МЕРЕЖА, ПЛАТФОРМА ДОСТУПУ

Об'єкт дослідження – мультисервісна транспортна мережа MS-OTN.

Предмет дослідження – ITN8600 компактне рішення Raisecom на базі платформи MS-OTN.

Мета дипломної (кваліфікаційної) роботи – розкрити принципи побудови мультисервісної транспортної мережи MS-OTN і з'ясувати структуру мультисервісної мережі, розрахувати транспортний ресурс для спроектованої мультисервісної мережи.

Матеріали дипломної роботи рекомендується використовувати на мережах операторів зв'язку, для подальшої модернізації мереж з метою отримання оптимальної продуктивності, нижчими витратами та великим каталогом послуг.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	7
ВСТУП	10
РОЗДІЛ 1. ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ МУЛЬТИСЕРВІСНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖИ MS-OTN	12
1.1. Модернізація мережі та конкурентні переваги через MS-OTN	12
1.2. Основні принципи побудови MS-OTN	13
1.3. Ключові переваги та фактори переходу на MS-OTN	16
1.4. MS-OTN як наступник SONET та SDH	20
1.5. Архітектура MS-OTN	22
1.6. Підвищення рентабельності мереж за допомогою MS-OTN	29
1.7. Сумісність та функції рівня управління MS-OTN	35
1.8. Сценарії використання MS-OTN	39
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК ТРАНСПОРТНОГО РЕСУРСУ МУЛЬТИСЕРВІСНОЇ МЕРЕЖИ ЗВ'ЯЗКУ	43
2.1. Розрахунок транспортного ресурсу мультисервісних вузлів доступу	43
2.2. Транспортний ресурс між фрагментом мережі з КК та MSAN ₁	45
2.3. Транспортний ресурс між фрагментом мережі з КК та MSAN ₂	46
2.4. Транспортний ресурс для зв'язку MSAN із ЗУС та УСС	47
2.5. Транспортний ресурс для передачі сигнальних повідомлень	47
2.6. Транспортний ресурс між MSAN	53
2.7. Транспортний ресурс для передачі сигнальних повідомлень SIGTRAN	54
2.8. Розрахунок продуктивності MGCF	56
РОЗДІЛ 3. МУЛЬТИСЕРВІСНА ПЛАТФОРМА ДОСТУПУ iTN8600	60
3.1. Технічні дані мультисервісної платформи доступу iTN8600	60
3.2. Огляд функціоналу шасі та вибір обладнання Raisecom	61
ВИСНОВКИ	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	69

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ADM: Add-Drop-Multiplexer – мультиплексор введення-виводу

ASON: Automatically Switched Optical Network - оптична мережа з автоматичною комутацією

ATM: Asynchronous Transfer Mode – асинхронний режим передачі

Bit/s: Bits pro Sekunde oder bps - Біт/с: біт за секунду

CCAT: Contiguous Concatenation - безперервна конкатенація

DS1: Digital Signal 1 - цифровий сигнал 1

DS3: Digital Signal 3 - цифровий сигнал 3

DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexing – щільне мультиплексування з поділом по довжині хвилі

EDFA: Erbium - Doped Fiber Amplifier – волоконний підсилювач, легований ербієм

Ethernet Inverse Multiplexing: bildet 10BaseT-Datenverkehr auf VT 1.5 ab мультиплексування Ethernet (10BaseT)

FCAPS: Fault, Configuration, Accounting, Performance, Security - відмова, конфігурація, облік, продуктивність, безпека

ESCON: Enterprise System Connection – підключення до корпоративної системи

FC: Fibre Channel – оптичний канал

FEC: Forward Error Correction – пряме виправлення помилок

G.709: ITU-T- Рекомендація ITU-T для інтерфейсів OTN

GbE: Gigabit Ethernet (10GbE = 10-Gigabit-Ethernet, 100GbE = 100-Gigabit-Ethernet) - гігабітний Ethernet

GbE/s: Gigabits pro Sekunde - гігабіт за секунду

GCC: General Communication Channel - Загальний канал зв'язку

GFP: Generic Framing Procedure - Загальна процедура побудови кадру

GMPLS: Generalized Multi-Protocol Label Switching – універсальна багатопротокольна комутація за мітками

IP: Internet Protocol - Інтернет-протокол

ITU: International Telecommunications Union - Міжнародний союз електров'язку

MAN: Metropolitan Area Network – міська мережа

Mbit/s: Megabits pro Sekunde - мегабіт за секунду

MPLS: Multi - Protocol Label Switching - багатопротокольна комутація за мітками

OAM: Operations, Administration, Maintenance - експлуатація, адміністрування, обслуговування

OC-n: Optical Carrier Level n (1, 3, 12, 48, 192, 768) - рівень оптичної несучої n (1, 3, 12, 48, 192, 768)

OCh: Optical Channel – оптичний канал

OCC: Optical Carrier Channel – оптичний несучий канал

ODU: Optical channel Data Unit – блок даних оптичного каналу

OMS: Optical Multiplex Section – секція оптичного мультиплексування

OOS: OTM Overhead Signal – службовий сигнал OTM

OPU: Optical channel Payload Unit – блок корисного навантаження оптичного каналу

OTN: Optical Transport Networking (siehe G.709) - Оптична транспортна мережа (див. G.709)

OTS: Optical Transmission Section – Секція оптичної передачі

OTU: Optical Transport Unit – оптичний транспортний блок

O - VPN: Optical Virtual Private Network - оптична віртуальна приватна мережа

Packet-over-SONET: GbE über OC-48/STM-16 - GbE через OC-48 / STM-16

ROADM: Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer - оптичний мультиплексор введення/виводу, що реконфігурується.

SAN: Storage Area Network – мережа зберігання даних

SDH: Synchronous Digital Hierarchy – синхронна цифрова ієрархія

SLA: Service Level Agreement – угода про рівень обслуговування

SONET: Synchronous Optical Network – синхронна оптична мережа

Tbit/s: Terabits pro Sekunde - Тбіт/с: терабіт за секунду

TCM: Tandem Connection Monitoring - Моніторинг тандемного з'єднання

VCAT: Virtual Concatenation - Віртуальна конкатенація

VLAN: Virtual Local Area Network – віртуальна локальна мережа

VOIP: Voice Over IP - передача голосу по IP

WAN: Wide Area Network – глобальна мережа

WDM: Wavelength Division Multiplexing – мультиплексування з поділом по довжині хвилі

ВСТУП

Актуальність теми. На сьогодні значна кількість операторів зв'язку має досить розвинену інфраструктуру для побудови становлення телекомунікаційної галузі. Інфраструктура включає в себе первинні мережі, в окремих випадках мережі доступу і транспортну інфраструктуру. Завдяки цим умовам традиційні послуги зв'язку, такі як доступ в Інтернет, телефонія і так далі, швидко втрачають прибутковість, в результаті чого розвивається конкурентна боротьба в усіх сегментах ринку і такій ситуації неминучого зниження тарифів. Впровадження ринку технології мультисервісних оптичних транспортних мереж (MS-OTN) прискорюється. Це пов'язано з великим технологічним стрибком у розвитку оптичних мереж, за який виступає MS-OTN, а також зі зниженням інтересу до мереж SDH/SONET. Важливим аспектом тут є те, що технологія MS-OTN може вирішити бізнес-завдання клієнтів за рахунок підвищення продуктивності мережі, а також пропонує інші переваги, такі як економія, менший час затримки, краще управління мережею та підготовка мереж для хмарних та програмно-визначуваних мережевих рішень. Ці аспекти розглядаються далі.

Порівняно зі старими транспортними мережами MS-OTN пропонує низку переваг. Далі буде детально розказано про переваги та описано, як мережеві оператори та постачальники послуг можуть отримати вигоду з оптичних мереж з оптимальною продуктивністю, нижчими витратами та великим каталогом послуг. MS-OTN пропонує такі переваги:

- Зниження транспортних витрат.
- Ефективне використання оптичного спектра
- детермінізм
- Віртуалізована мережева робота
- Гнучкість мережевої архітектури, дизайну та продуктивності.
- Внутрішня безпека
- Надійна та нескладна робота.

Мета роботи - розкрити принципи побудови мультисервісної транспортної мережі MS-OTN і з'ясувати структуру мультисервісної мережі, розрахувати транспортний ресурс для спроектованої мультисервісної мережі.

Об'єктом дослідження – мультисервісна транспортна мережа MS-OTN.

Предметом дослідження – ITN8600 компактне рішення Raisecom на базі платформи MS-OTN.

Методи досліджень. Проведені в роботі дослідження ґрунтуються на теорії ймовірностей, математичній статистиці та моделюванні.

Практичне значення отриманих результатів.

Матеріали дипломної роботи рекомендується використовувати на мережах операторів зв'язку, для подальшої модернізації мереж з метою отримання оптимальної продуктивності, нижчими витратами та великим каталогом послуг.

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

- Науково-практична конференція «Проблеми експлуатації та захисту інформаційно-комунікаційних систем», м. Київ, 2022 р.

РОЗДІЛ 1

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ МУЛЬТИСЕРВІСНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖИ MS-OTN

1.1. Модернізація мережі та конкурентні переваги через MS-OTN

Коли на початку 1990-х років було розроблено архітектуру SDH/SONET, мережі передачі даних та голосу все ще розроблялися та впроваджувалися окремо. Однак за допомогою SDH/SONET дані та голос були дуже швидко об'єднані в єдину транспортну мережу, при цьому транспортні протоколи та інтерфейси голосових мереж були адаптовані для елементів передачі даних. Розроблені адаптації використовувалися передачі трафіку даних через кадри SDH/SONET, щоб оператори мереж могли використовувати мережі SDH/SONET. Однак це виявлялося все більш неефективним, оскільки рівні корисного навантаження для голосу та даних значно відрізняються один від одного. Промисловість усвідомила, що MS-OTN (надалі OTN) повинні бути спроектовані так, щоб дані могли передаватися у власному форматі мереж передачі даних. Це означало використання фіксованого розміру кадру замість фіксованої частоти кадрів SDH/SONET. В порівнянні з SDH/SONET ця фундаментальна зміна дозволяє набагато ефективніше призначати трафік даних на основі IP для OTN. Тісна інтеграція інтернет-протоколу (IP) та OTN через Ethernet набагато більше підходить для сьогоденного поєднання мережевих протоколів та трафіку даних. Максимальна лінійна швидкість 40 гігабіт в секунду (Гбіт/с), застосовна для SDH/SONET більше не є перешкодою для більш високих швидкостей передачі даних.[1]

OTN не тільки великий технологічний прорив для оптичних мереж, але також пропонує бізнес-можливості для операторів мереж і постачальників послуг. Завдяки OTN мережні оператори та постачальники послуг можуть вводити накладення коміркової мережі для поєднання корисних навантажень SDH/SONET, Ethernet та OTN. Це дозволяє їм ефективно модернізувати свою інфраструктуру та продовжувати передавати звичайний трафік даних. Ця архітектурна гнучкість захищає інвестиції, що

вже зроблені в старі транспортні технології, і в той же час дозволяє SDH/SONET використовувати лінії зі швидкістю 100 Гбіт/с та більше. Завдяки вибіркового оновленню (або обмеженню при одночасному зростанні) постачальники послуг можуть поетапно модернізувати свої мережі, щоб уникнути дорогих збоїв у роботі важливих послуг або проблем, що виникають.[1]

Впровадження конвергентних мереж з OTN та SDH/SONET відкриває численні можливості для подолання перешкод у сфері пропускної спроможності, затримки та управління. Проте реальна конкурентна перевага для клієнтів полягає у впровадженні OTN для безперешкодної передачі протоколів Ethernet і центрів обробки даних через межі мережі та ядра, що оптимізує використання вже зроблених інвестицій для інтерфейсів маршрутизації і водночас знижує кількість переходів маршрутизатора та затримка в мережі зведена до мінімуму. OTN – це технологічна платформа, на основі якої надається орієнтований на з'єднання трафік даних Ethernet для досягнення узгодженої передачі з високою пропускною здатністю, низькою затримкою та найбільш економічною ціною.[2]

1.2. Основні принципи побудови MS-OTN

Галузь електрозв'язку та мережі постачальників послуг розвиваються з високою швидкістю, щоб впоратися з різким зростанням трафіку цифрових даних, який викликаний мультимедійними послугами, мобільними програмами, соціальними мережами, VoIP (передача голосу по Інтернет-протоколу) та хмарними обчисленнями, а також необхідно стабільне збільшення кількості додатків з високими вимогами до пропускної спроможності. Протягом десятиліть у мережевому трафіку даних постачальників послуг переважали телефонні дзвінки, при цьому передача відбувалася через заплановане з'єднання між двома кінцевими точками через лінійні мережі. Сьогодні більшість мережного трафіку даних заснована на пакетах, що генеруються широким спектром служб і додатків з непередбачуваними, сильно вагаються шаблони трафіку даних і вимоги з точки зору пропускної спроможності та продуктивності передачі даних. Мережі постачальників послуг, які були оптимізовані для передачі голосу,

тепер вимагають нової транспортної технології, яка підходить для сучасних моделей трафіку даних і контенту.[1]

Транспортні технології попереднього покоління, такі як синхронна оптична мережа (SONET) та синхронна цифрова ієрархія (SDH), не призначені для послуг, які в основному засновані на пакетах та вимагають пропускної спроможності 40 Гбіт/с і більше. З цієї причини лідери галузі телекомунікацій розробили оптичну транспортну мережу (OTN), стандартизовану Міжнародним союзом електрозв'язку (ITU) як G.709.

Мережі з технологією OTN спроектовані та оптимізовані для підтримки сучасних програм з високою пропускною здатністю мережі. Крім того, OTN стає дедалі кращим транспортним стандартом задоволення зростаючого попиту пропускну спроможність мережі. Сектор стандартизації електрозв'язку ITU (ITU - T) визначає OTN у ряді стандартів. Специфікація G.709 діє як визначення базової технології. Стандарти ITU-T охоплюють формат інкапсуляції, а також мультиплексування, перемикання, управління, моніторинг та відмовостійкість оптичних каналів, якими передаються корисні дані клієнта. OTN також дозволяє визначати продуктивність мережі в доменах кількох постачальників послуг та надавати послуги безперервного та всебічного моніторингу.

У той час як поєднання технологій OTN та Ethernet стало звичайним явищем у наші дні, OTN спочатку не призначалася для конкретного використання з Ethernet. Через широке використання SDH/SONET тоді OTN фактично була створена для управління довжинами хвиль WDM (Мультиплексування з поділом по довжині хвилі) за допомогою SDH/SONET, розробленого як корисне навантаження клієнта. OTN була розроблена для підтримки керованої інфраструктури довжин хвиль для оптовиків. Повна прозорість корисного навантаження походить від цієї початкової мети. Коли в 2009 році стало ясно, що більшість трафіку даних, що обробляється через OTN, буде базуватися на Ethernet, стандарти OTN були відповідним чином розширені та повністю адаптовані до характеристик Ethernet.[3]

OTN часто називають «цифровою оболонкою», оскільки ця технологія дозволяє прозоро передавати різні послуги на одній довжині хвилі, внаслідок чого для кожної

послуги можуть використовуватись окремі функції моніторингу. Початкова стандартизація OTN сталася у 1998 році. З того часу OTN набула більш широкого поширення на ринку операторів телекомунікаційних мереж. Спочатку OTN діяла як оптична магістраль для прозорої передачі корисного навантаження SONET і SDH, для розширених операцій, подібних до SDH/SONET (OAM або операції, адміністрування та обслуговування), а також для функцій FCAPS (відмова, конфігурація, облік, продуктивність, безпека) для клієнтських корисних навантажень, таких як Ethernet, Fibre Channel (FC), ESCON та цифрове відео.

При оновленні в 2009 році G.709 був розширений, щоб забезпечити кращу інтеграцію швидкостей передачі даних Ethernet та форматів пакетів. Таким чином, OTN та Ethernet сьогодні нерозривно пов'язані у більшості мереж. Цей симбіотичний взаємозв'язок робить OTN ідеальним протоколом передачі Ethernet по мережах з DWDM (Щільне мультиплексування з поділом по довжині хвилі) .[1]

Спостерігачі в галузі очікують різкого збільшення використання OTN в найближчі роки. Згідно з Infonetics Research, аналітика телекомунікаційної галузі, обсяг ринку OTN 2013 року становив близько 8 мільярдів доларів. До 2017 року становив близько 13 мільярдів доларів США. Загалом це відповідає сукупним річним темпам зростання в 13 відсотків і перевищує очікуване загальне зростання ринку оптичних мереж. Інфонетика також припускає, що OTN - комутація *на практиці* зрештою стане стандартом для мереж WDM: 89 відсотків опитаних мережевих операторів вже впровадили комутацію OTN або планують таку реалізацію до 2022 року.

OTN - це мережна інфраструктура, що підходить для різноманітного та великого трафіку даних, що забезпечує швидкість та пропускну спроможність мережі, а також інтелектуальні можливості, які необхідні операторам мережі та їх клієнтам для досягнення оптимальної ефективності. Доведено, що OTN є єдиною оптичною технологією, яка інкапсулює корисне навантаження з високою пропускну здатністю, необхідну для пакетних пристроїв, таких як комутатори та маршрутизатори Ethernet. Однак важливим є те, що OTN - єдиний оптичний транспортний протокол, який може масштабуватись за межі 40 Гбіт/с.[5]

Організації, які хочуть йти в ногу з попитом, що постійно зростає, на високопродуктивні мережі, все більше усвідомлюють, що їм необхідно модернізувати і адаптувати роботу своїх мереж. Очікується, що збільшення пропускної спроможності не припиниться в найближчому майбутньому. У мережах великої протяжності контейнер OTN з найвищою швидкістю передачі даних (OTU 4) підходить для 100 Gigabit Ethernet (100 GbE). IEEE вже почав визначати швидкість передачі даних для Ethernet понад 100 Гбіт/с. Очікується, що OTN з пропускною здатністю 400 Гбіт/с буде потрібно приблизно до 2022 року, а корисне навантаження в один терабіт на секунду (Тбіт/с) буде досягнуто до 2023 року.[4]

Оскільки IP та OTN так добре доповнюють один одного, OTN пропонує певні переваги для магістральних та міських мереж. У порівнянні зі звичайними мережами на основі WDM, магістральні IP-мережі на основі OTN та міські мережі пропонують значні переваги, такі як підвищена ефективність, надійність близько 99,999% та приватні послуги на основі довжини хвилі. Комбінація IP та OTN також забезпечує краще управління та моніторинг, меншу кількість переходів, а також захист послуг та зниження витрат на придбання пристроїв. Крім масштабування мереж до 100 Гбіт/с та більше, OTN також відіграє вирішальну роль у розробці відкритої та програмованої мережевої платформи, яка надає транспорту таке ж значення, як обчислення та зберігання в інтелектуальних мережах центрів обробки даних.

1.3. Ключові переваги та фактори переходу на MS-OTN

OTN прозоро інтегрує корисне навантаження клієнта в контейнер для передачі через оптичні мережі, завдяки чому зберігається власна структура, а також інформація про час та управління клієнтом. Це дозволяє призначати будь-яку довжину хвилі OTN будь-які клієнти, пристрої зберігання, мейнфрейми, цифрові відеодані, Ethernet, SDH/SONET, OTN, довжини хвиль, повні швидкості передачі даних 10 GbE і багато іншого.

Ця технологічна адаптованість робить OTN підходящою платформою для мо-

дернізації мережі для організацій. Завдяки можливості використання старих технологій, таких як SONET або SDH , паралельно з іншими клієнтами у тій же мережній інфраструктурі, організації можуть поступово перемикатися на OTN без повної заміни базової інфраструктури оптичної мережі.[6]

OTN пропонує такі основні переваги:

- **Зниження транспортних витрат:** Оскільки кілька клієнтів можуть передаватися на одній довжині хвилі, OTN є економічним механізмом для використання довжин хвиль оптичних мереж.

- **Ефективне використання оптичного спектра:** OTN забезпечує дотримання норм використання в мережі за допомогою комутаторів OTN на оптоволоконних вузлах і, таким чином, дозволяє ефективно використовувати пропускну здатність DWDM.

- **Детермінізм:** OTN резервує певні та настроювані смуги пропускання для кожної послуги, кожної групи послуг та кожного розділу мережі. Це означає, що кожному клієнту гарантована пропускну здатність мережі та керована продуктивність (пропускну здатність, затримка, джиттер та доступність), і немає конфліктів між паралельними службами чи користувачами.

- **Віртуалізована мережна робота:** Завдяки можливості поділу мережі з комутацією OTN на розділи приватної мережі - звані оптичні віртуальні приватні мережі (O-VPN) - клієнт отримує виділену частку мережевих ресурсів, доступних незалежно від решти мережі. Кожен учасник мережі бачить лише ресурси, призначені для його приватного розділу. Ресурсів інших учасників не видно. O-VPN також спрощують подальший розвиток мереж, оскільки оновлення мережі можна тестувати або впроваджувати в захищеному мережевому розділі (пісочниці) і, таким чином, без будь-якого ризику нормальної роботи виробничих розділів у мережі.

- **Гнучкість:** У мережах OTN мережеві оператори можуть використовувати переваги технологій, які їм потрібні сьогодні для задоволення транспортних потреб, а й впроваджувати нові технології в міру необхідності.

- **Безпечний дизайн:** завдяки фіксованому поділу трафіку даних за виділеними

лініями мережі OTN пропонують високий рівень захисту та безпеки даних. Такий поділ мережного трафіку ускладнює перехоплення даних, що передаються між вузлами через з'єднання з використанням OTN каналів. Оскільки всі програми та учасники відокремлені один від одного в мережах з OTN -комутацією, організації можуть ефективно запобігти доступу хакерів до частини мережі від отримання доступу до інших частин мережі.

- **Надійна та нескладна робота:** Дані управління мережею OTN передаються по окремому каналу і суворо відокремлені від даних додатків користувача. Це значно ускладнює доступ та зміну мережних налаштувань OTN через порт клієнтського інтерфейсу.

Без будь-якого іншого технологічного рішення мережеві оператори можуть надавати послуги швидше та ефективніше та уникати витрат, пов'язаних із невизначеним складом майбутнього трафіку даних. Поширення незліченних підключених споживчих пристроїв та досягнення в галузі доставки контенту для користувачів по всьому світу стимулюють попит на рішення OTN і роблять цю технологію незамінною для мереж наступного покоління.[1]

Мережі постійно розвиваються і змінюються, щоб відповідати вимогам, що постійно зростають, до пропускної спроможності та послуг. Введення стандартів SDH та SONET на початку 1990-х років уможливило надійну та ефективну передачу голосових даних на великі відстані та покращило взаємодію між операторами мереж. WDM дозволив передавати кілька довжин хвиль по тому самому оптоволоконному кабелю, цим сприяючи подальшого збільшення пропускної спроможності мережі. З того часу оптичні мережі SDH/SONET стали стандартом надійності, ємності та ефективності.

У 1990-х років мережеві оператори почали використовувати мережі SDH/SONET для передачі послуг передачі даних, таких як Ethernet та асинхронний режим передачі (ATM). При цьому вони насамперед хотіли уникнути роботи двох окремих мереж (одна для голосу та одна для даних). Елементи транспортної мережі впровадили технології передачі трафіку даних у кадрах SDH/SONET. У результаті

розробки стали доступні зворотне мультиплексування Ethernet (Відображення трафіку даних 10 Base - T на VT 1.5) та пакетна передача по SONET (Відображення GbE на OC - 48 / STM - 16). Додаткові протоколи, такі як безперервна конкатенація (CCAT) та віртуальна конкатенація (VCAT), були введені, щоб дозволити постачальникам послуг транспортувати корисні дані великої ємності, розподілені за меншими контейнерами SDH/SONET (STS - 1 / VC - 4).[7]

Тим часом мережевий трафік зростає у геометричній прогресії, перевищуючи можливості SONET та SDH.

Майже через 25 років після впровадження SONET та SDH подальший розвиток стандартів SONET та SDH застопорилося, і більшість пристроїв SDH/SONET добігають кінця запланованого терміну служби. Через обмежену придатність обладнання SONET та SDH для майбутнього більшість постачальників оптичних мереж більше не вкладають значні кошти у платформу для продуктів SDH/SONET. Продовження контрактів на підтримку між постачальниками послуг та виробниками пристроїв стає все важчим, оскільки багато компонентів більше не пропонуються. Крім того, SDH/SONET виявляється громіздким. Швидкість передачі клієнтських даних продовжує зростати, але через технічні обмеження стандарту SDH/SONET пропускна спроможність мережі обмежена 40 Гбіт/с (OC -768 / STM - 256).

Сучасні програми пред'являють все більш високі вимоги до мережі та стають значно складнішими та залежнішими від мережі. Правильна робота критично важливих програм може бути забезпечена лише за рахунок високої продуктивності зі швидким захисним перемиканням та інших функцій з невеликою втратою пакетів або без них. Такі корисні навантаження, як Ethernet між центрами обробки даних, власне відео між виробничими центрами та синхронний трафік сховища, вимагають особливої обережності та зазвичай вимагають високої пропускної спроможності та надійності мережі.[8]

Крім строгих вимог до продуктивності, багато програм (і галузі, у яких вони використовуються) залежать від високої доступності. Поточний діловий клімат вимагає від постачальників послуг збільшення обсягу продажу та одночасного скорочення капітальних та експлуатаційних витрат. Крім того, жорстка конкуренція визначає

стратегії постачальників послуг, які прагнуть підвищити лояльність клієнтів, розробити нові джерела прибутку та оптимізувати повсякденний бізнес.[1]

1.4. MS-OTN як наступник SONET та SDH

OTN та SDH/SONET схожі у деяких областях, але є також деякі суттєві відмінності у конструкції (див. Таблицю 1.1). Найбільша різниця в тому, що для SONET було визначено фіксовану частоту кадрів, тоді як для OTN було визначено фіксовані розміри кадрів.[9]

Таблиця 1.1

Порівняння SDH/SONET та OTN

OTN	SDH / SONET
Асинхронний розподіл корисного навантаження	Синхронне призначення корисного навантаження
Розподіл часу не потрібний	Потрібний суворий розподіл часу в мережах
Розроблений для роботи з кількома довжинами хвиль (DWDM)	Розроблено для роботи з кількома довжинами хвиль
Масштабованість до 100 Гбіт/с (і вище)	Масштабованість до 40 Гбіт/с
Використовує одноступінчасте мультиплексування	Використовує багаступінчасте мультиплексування
Використовує змінний розмір кадру та збільшує розмір кадру зі збільшенням розміру клієнта.	Використовує фіксовану частоту кадрів для певної лінійної швидкості та збільшує розмір кадру (або об'єднує кілька кадрів) зі збільшенням розміру клієнта.
FEC призначено для виправлення помилок 16 блоків на кадр.	Не підходить (без стандартизованого FEC)

Стандарт G.709 визначає інкапсуляцію корисного навантаження клієнта, службові дані OAM, FEC та ієрархію мультиплексування. Ці функції забезпечують оптичну передачу з такою ж надійністю та керованістю, як у випадку з SDH/SONET, але

найкраще підходять для вимог сучасного трафіку даних (особливо для ліній зв'язку між центрами обробки даних).[10]

OTN є асинхронною технологією і тому не вимагає складного та дорогого призначення часу та перевірки SDH/SONET. Натомість OTN має налаштування синхронізації для конкретних послуг, щоб мати можливість передавати як асинхронні (GbE, ESCON), так і синхронні послуги (OC -3/12/48, STM -1/4/16, SDI). Крім того, за допомогою OTN ці послуги можуть бути об'єднані для отримання загальної довжини хвилі у вигляді мультиплексування.

Так само, як SDH/SONET, OTN також має розширений OAM, але зі стандартизованим FEC. OAM використовується для ефективного управління мережевими ресурсами та послугами. За допомогою FEC постачальники послуг можуть збільшити відстань між оптичними повторювачами, скоротити витрати та спростити мережеві операції.

Міграція клієнтів із SDH/SONET на OTN приносить як практичні, і технічні переваги. OTN - це логічний вибір для оптичних мереж наступного покоління, тому що він вже пропонує швидкість 100 Гбіт/с і знаходиться на етапі переходу продовжує підтримувати старі пристрої SDH/SONET. Додаткові технічні переваги OTN:

- OTN забезпечує детерміноване та просте надання послуг: суворі вимоги до послуг можуть бути задоволені лише за допомогою гарантії детермінованого надання послуг. В OTN створюється інфраструктура з гарантованою доставкою, в якій кожен біт, що вводиться в мережу, доставляється відповідно до погодженої угоди про рівень обслуговування (SLA). Послуги преміум-класу можуть надаватися та контролюватися за допомогою простої моделі роботи у відмовостійкій мережі з перемиканням OTN.[1]

- OTN дозволяє використовувати приватні, особливо безпечні мережеві сервіси: OTN пропонує виділене та безпечне з'єднання через прямі з'єднання або віртуальні мережі. Критично важливий для бізнесу потік даних окремих клієнтів фізично ізольований від решти мережі. OTN - з'єднання також можуть бути зашифровані на швидкості лінії, щоб забезпечити кращий захист від зловмисників. У поєднанні з площин-

ною керування OTN забезпечує самовідновлення та продовження роботи у разі кількох одночасних помилок, тим самим запобігаючи масовим і далекосяжним збоям в обслуговуванні через збої в мережі або стихійні лиха.[11]

1.5. Архітектура MS-OTN

Оболонка OTN складається з декількох компонентів, які становлять ієрархію службового зв'язку між мережними вузлами, показано на рисунку 1.1. OTM (Optical Transport Module) - це структура, яка транспортується через інтерфейс оптичної лінії. Він складається з цифрової та аналогової частини.

OPI (Блок корисного навантаження оптичного каналу) містить кадри корисного навантаження. Рівень сервісу означає послуги кінцевого користувача, такі як GbE, SONET, SDH, FC чи інші протоколи. Для сервісів із прозорим призначенням (таких як ESCON, GbE або FC) сервіс запускається через перетворювач GFP (Generic Framing Procedure).

ODU_k (блок даних оптичного каналу, де « k » означає 1/2/2 e / 3 / 3 e 2 / 4) містить OPI плюс службові дані, такі як ВІР 8, GCC 1, TCM і т. д. OTU_k (Optical Transport Unit, де « k » «Стенди для 1/2/2 e / 3 / 3 e 2 / 4) містять ODU, забезпечують службові дані на рівні розділу (наприклад, ВІР 8) та підтримують байти GCC (загальний канал зв'язку) для службового зв'язку між мережевими вузлами.

OTN робить мережу відкритою та програмованою платформою:

- Забезпечує плавний перехід від провідних до пакетних послуг.
- Підтримує нові програми та високопродуктивні програми мережного рівня.

OTN знижує експлуатаційні витрати мережі:

- Підвищує ефективність використання довжини хвилі до 78 відсотків, щоб зменшити кількість необхідних каналів WAN.

- Спрощує планування оновлень/змін ІТ.
- Знижує залежність від спеціальних технічних ноу-хау

OTN покращує продуктивність мережевих додатків:

- Надає виділену смугу пропускання, щоб уникнути конфліктів.

- Мінімізує затримку та тремтіння
- Використовує моніторинг продуктивності на рівні оператора (PM) для забезпечення передачі відповідно до специфікації послуги.

OTN підтримує інтеграцію кількох додатків:

- Передає будь-яку комбінацію типів послуг на одній або кількох довжинах хвиль.
- Працює без проблем з будь-яким клієнтським пристроєм (маршрутизатор, комутатори Ethernet, директор SAN, термінали SONET та ін.)

OTN сприяє безперервності бізнесу:

- Продуктивність передачі даних та клієнтів сховища.
- Комплексний PM для забезпечення відповідності вимогам SLA у вкладених мережах.

OTN забезпечує безпроблемну інтеграцію децентралізованих географічних розташування:

- Оптимізація рівня обслуговування для додавання/видалення для конкретних послуг у всіх місцях.
- Перенесення централізованих екземплярів додатків у кілька місць за допомогою функції "відпустити та продовжити"
- Асиметричне керування з віддаленого NOC (центру мережевих операцій).[1]

Використовується для функцій OAM, таких як моніторинг продуктивності та виявлення помилок, а також для команд сигналізації та обслуговування для підтримки захисного перемикачання, локалізації сегментів помилок, звітів про рівень обслуговування та зв'язок на рівні керування. Фізичний рівень зіставляє OTU з довжиною хвилі та оптичним каналом (OCh), який проходить по оптичній лінії. На рисунку 1.1 показано ієрархію OTM для службового зв'язку між мережевими вузлами.

Між двома пристроями існує OMS (секція оптичного мультиплексування), де довжини хвиль можуть бути об'єднані в одному оптичному волокні за допомогою мультиплексування, як показано на рисунку 1.2. Секція оптичної передачі (OTS) складається зі скловолокна, що з'єднує всі пристрої, які виконують оптичну функцію з сигналом. Волоконний підсилювач, легований ербієм (EDFA), вважається лінійним

підсилювачем. OTN пропонує шість рівнів моніторингу тандемних з'єднань, за допомогою яких мережеві оператори можуть відслідковувати сигнал, який зараз проходить через мережі інших мережевих операторів. Ця функціональна розбивка полегшує керування несправностями, оскільки службове навантаження OTN тісно пов'язане з цими точками.

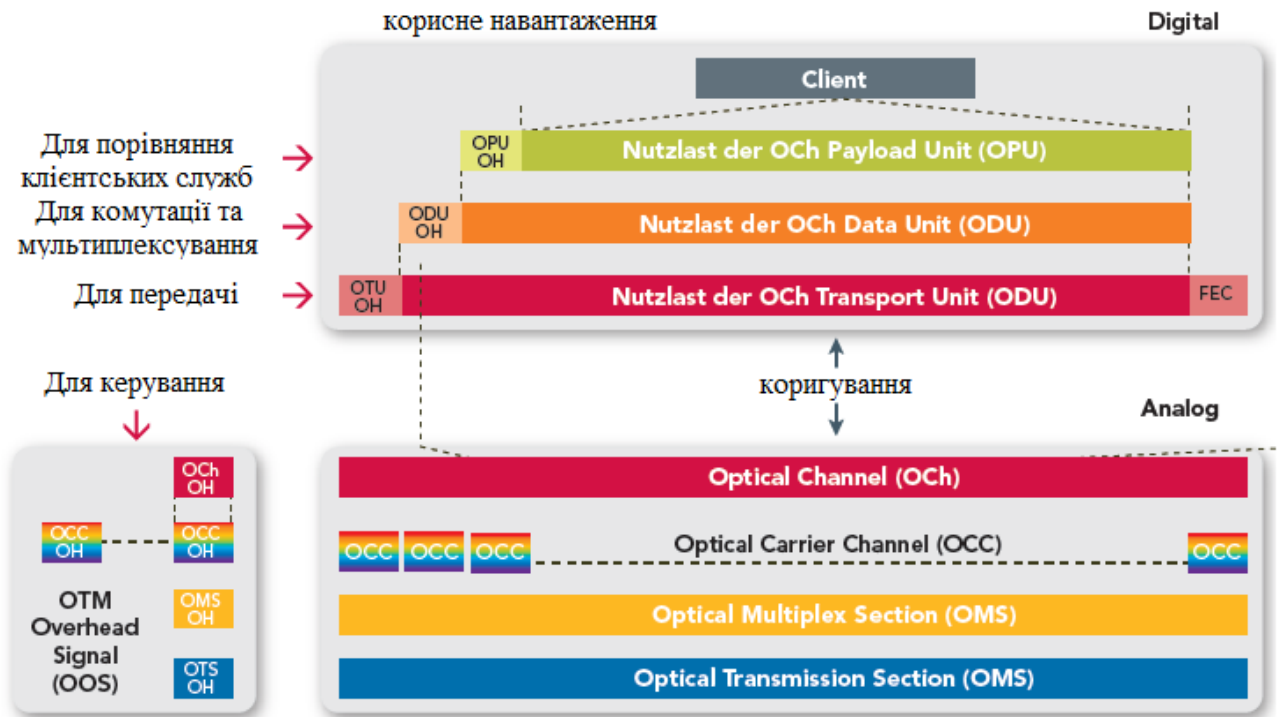


Рис. 1.1. Оптичний транспортний модуль (OTM)

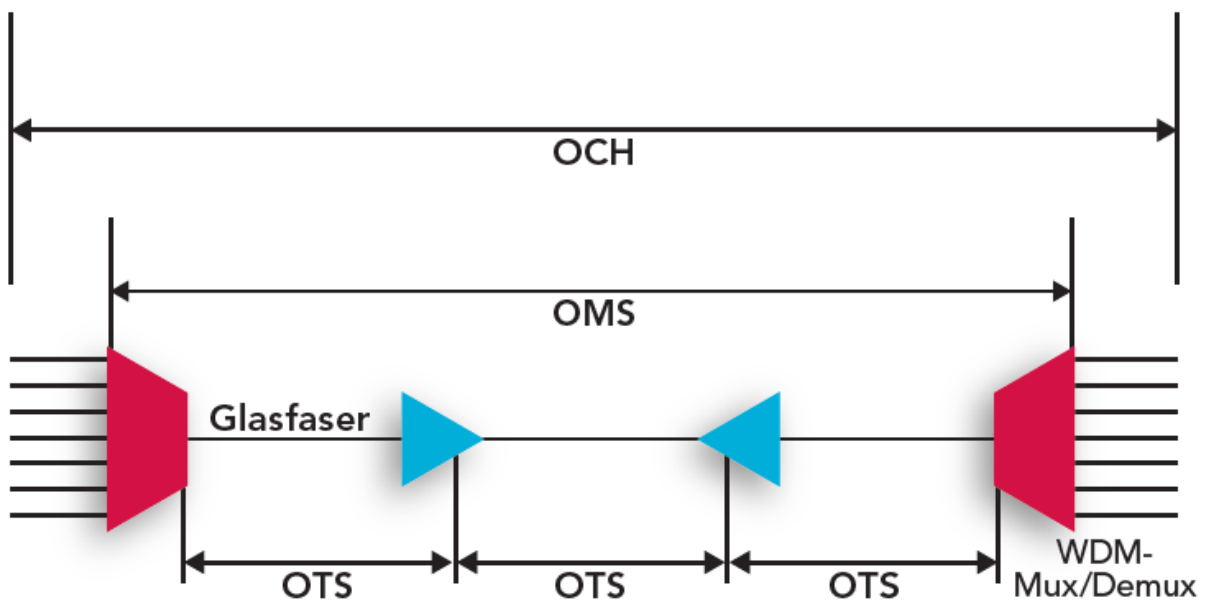


Рис. 1.2. Розбивка структури лінії OTN

На рисунку 1.3 показано, як різні послуги відображаються на загальні довжини хвиль (OCh завжди містить один OTU). Це дозволяє керувати смугою пропускання на субхвильовому рівні та розділяти швидкість обслуговування та швидкість лінії. OTN дозволяє налаштувати параметри синхронізації для конкретних послуг, щоб мати можливість передавати як асинхронні, так і синхронні послуги (OC -3/12/48, STM -1/4/16, SDI), які можуть спільно використовувати загальну довжину хвилі.[12]

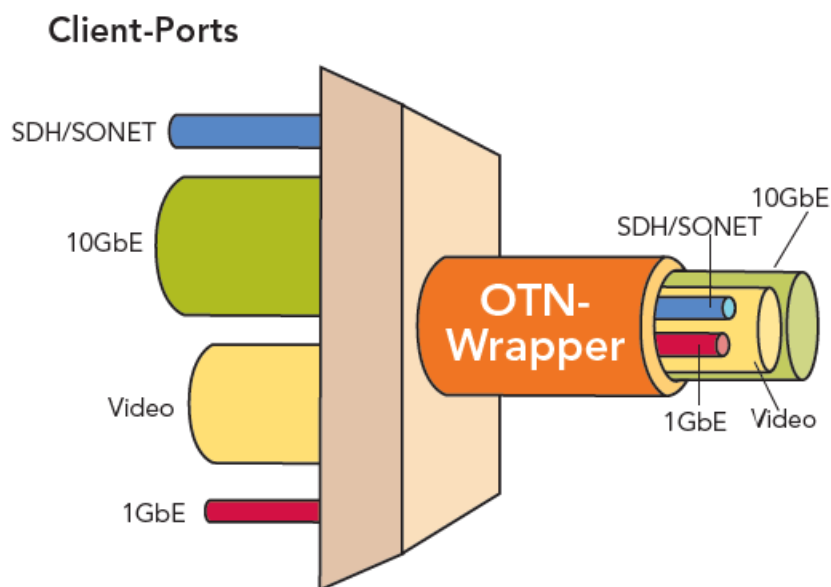


Рис. 1.3. OTN підтримує різні типи послуг на одній і тій же довжині хвилі

Основа OTN - прозорість. Прозоре корисне навантаження, прозора ієрархія мультиплексування та прозора синхронізація – все це фундаментальні характеристики OTN . Прозорість OTN дозволяє транспортувати будь-яку послугу, не впливаючи на корисне навантаження клієнта, OAM або час. Це важливо при пропонуванні повних сторонніх послуг або підключення пристроїв, які можуть використовувати клієнтський OAM для службового зв'язку. Слід зазначити, що OTN - це єдиний глобальний стандарт, який використовується у всьому світі без будь-яких коригувань.

Швидкості OTN відповідають принаймні бітрейтам трафіку даних клієнта. Існує два основних варіанти відображення на ODU:

- прозорий
- непрозорий.

Стандартні швидкості лінії OTN

Сигнал	Приблизна швидкість передачі даних (Гбіт/с)	Оптимізовано для
OTU1	2,66	Транспортування сигналів SONET OC -48 або SDH STM- 16
OTU2	10,70	SONET OC -192, SDH STM - 64 або 10 GbE передача по WAN (глобальна мережа), PHY (фізичний рівень)
OTU2e	11.09	Передача по 10 GbE LAN (локальна мережа), PHY (фізичний рівень) (для портів IP та Ethernet - комутаторів/маршрутизаторів) при повній швидкості передачі (10,3 Гбіт/с)
OTU3	43.01	Передача сигналу SONET OC -768, SDH STM - 256 або 40 GbE
OTU3e2	44,58	Передача до чотирьох сигналів OTU 2 e
ODU4	112	Передача сигналу 100GbE

У прозорому варіанті все корисне навантаження клієнта відображається на ODU (так що швидкість OTN перевищує швидкість клієнта). У разі непрозорого варіанта, з іншого боку, частина службових даних клієнтського сигналу видаляється, щоб зберегти пропускну спроможність мережі. За допомогою цієї стратегії призначення для OTU може бути призначено більше ODU. У таблиці 1.2 наведено деякі важливі швидкості лінії OTN відповідно до стандарту G.709. Таблиця 1.3 містить стандартизовані швидкості ODU для G.709.[4]

В даний час ITU розробляє додаткові швидкості передачі даних для більшої кількості клієнтів та більш швидкі лінії.

OTN підтримує мультиплексування (одно- і багатоступінчасте) для великих контейнерів на рівні ODU , як показано в спрощеній ієрархії на рисунку 1.4. Наприклад, чотири блоки ODU 1 можна об'єднати в один блок OPU 2 за допомогою мультиплексування.

Стандартні швидкості ODU_k

Сигнал	Швидкість передачі даних (Гбіт / с)	Оптимізовано для
ODU0	1,24416	Передача прозорого за часом транскодованого (стисненого) сигналу або пакетів 1000 BASE - X через GFP
ODU1	2.49877512605042	Передача двох сигналів ODU , сигналу STS -48/ STM - 16 або пакетів через GFP
ODU2	10.0372739240506	Передача до восьми сигналів ODU 0, чотирьох сигналів ODU 1, одного сигналу STS -192 / STM -64 або WAN PHY або пакетів через GFP
ODU2e	10,3995253164557	Передача сигналу 10 GbE або прозорого транскодованого (стисненого) сигналу 10 G Fibre Channel
ODU3	40.3192189830509	Передача до 32 сигналів ODU 0, до 16 сигналів ODU 1, до чотирьох сигналів ODU 2, сигналу STS 768/ STM - 256, прозорого за часом, транскодованого сигналу 40 GbE або пакетів через GFP
ODU3e2	41.7859685595012	Передача до чотирьох сигналів ODU 2 e
ODU4	104.794445814978	Передача до 80 сигналів ODU 0, до 40 сигналів ODU 1, до десяти сигналів ODU 2, до двох сигналів ODU 3 або одного сигналу 100 GbE
ODUflex (CBR)	239/238 x Client-Bitrate	Управління сигналами із постійним бітрейтом (включаючи Fibre Channel 8 GFC, Infiniband або Video)
ODUflex (GFP)	Будь-яка налаштована швидкість	Передача пакетів через GFP

Блок OPU 3 може містити чотири блоки ODU 2, 16 блоків ODU 1 або поєднання блоків ODU 1 та ODU 2 завдяки мультиплексуванню. На рис. 1.4 також показано, що OTN підтримує відображення як LO (низький порядок), так і HO (високий порядок). LO використовується, коли клієнтський сигнал не потребує подальшого об'єднання в межах оптичної несучої (довжина хвилі); HO використовується, коли потрібне чищення та/або мультиплексування субхвильової довжини. Слід зазначити, що 10 G —

це швидкість лінії, яка залежить від типу транспортованого трафіку, тоді як 10 GbE належить до трафіку Ethernet 10 Гбіт/с.[10]

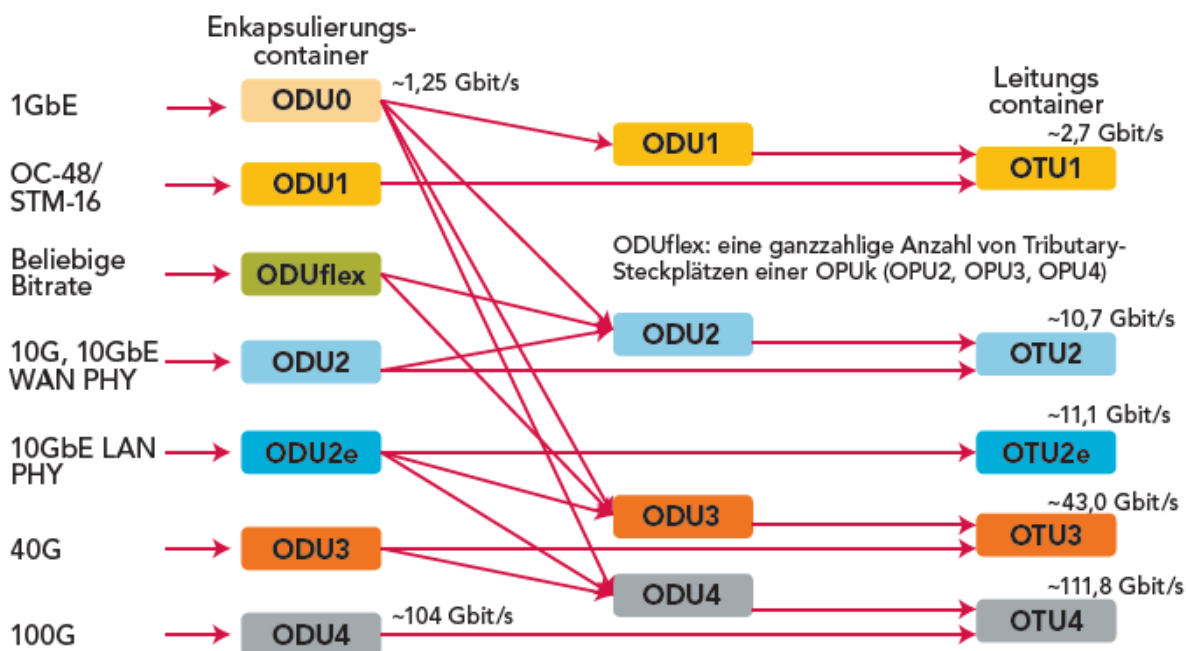


Рис. 1.4. Ієрархія відображення OTN

Однією з вирішальних переваг OTN є підтримка FEC у кадрі OTU, яка була стандартизована в ITU G.975. Ці службові дані додаються до останньої частини кадру перед його шифруванням передачі. FEC може використовуватися для ефективного виправлення великої кількості помилок передачі, які можуть бути пов'язані з перешкодами або іншими порушеннями під час передачі з високою пропускнуою здатністю. Стандартний FEC використовує метод кодування RS Ріда-Соломона (255/239)». Для обчислення 16-байтної парності потрібно 239 байтів. Оскільки це дозволяє постачальникам послуг збільшувати відстань між оптичними повторювачами, FEC не тільки сприяє скороченню капітальних витрат та експлуатаційних витрат, але також спрощує можливість технічного обслуговування.[11]

На рис. 1.5. показано положення OTN в ієрархії інфраструктури мережі. В залежності від специфікації послуги для деяких IP- та ІТ-послуг може знадобитися маршрутизація. Вихідні дані рівня маршрутизатора передаються в транспортну інфраструктуру підвищення ефективності транспорту, як описано вище. Інші послуги, що не потребують маршрутизації (наприклад, приватні послуги на рисунку), передаються

безпосередньо на рівень комутації транспорту та транспортуються інфраструктурою OTN. Основна функція кожного рівня в ієрархії вказана праворуч від рисунка.[1]

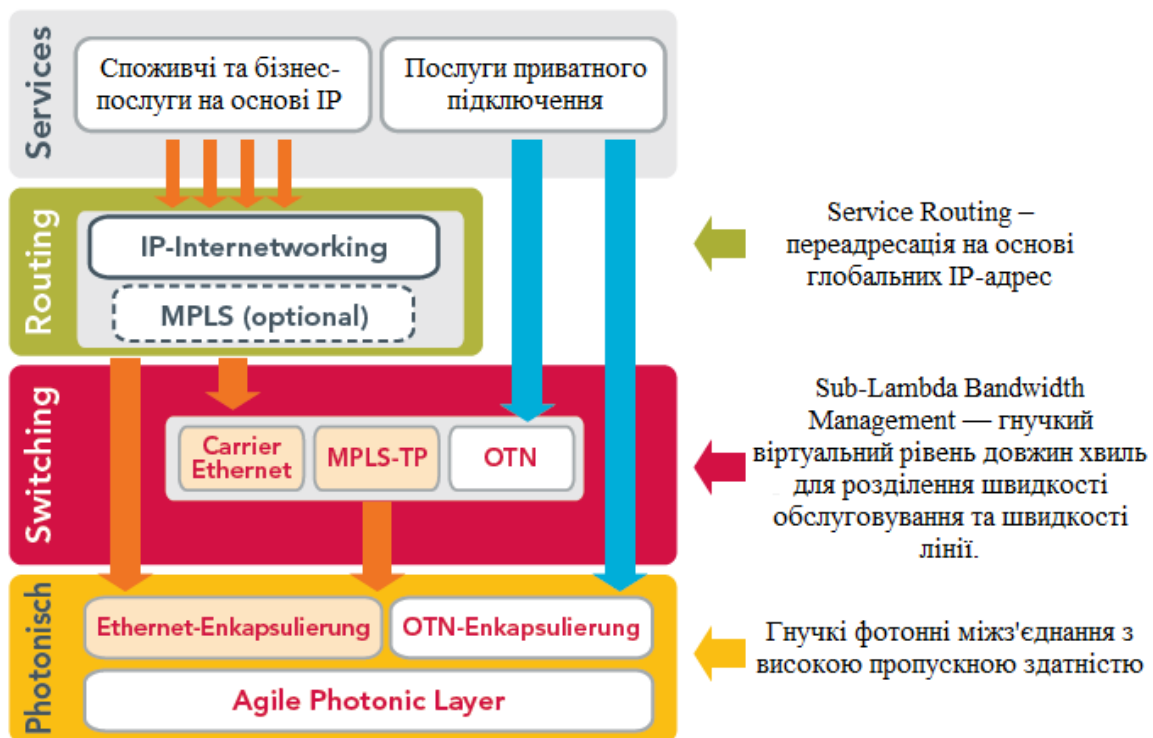


Рис. 1.5. Положення OTN щодо інших мережевих рівнів

1.6. Підвищення рентабельності мереж за допомогою MS-OTN

Ключові функції OTN дозволяють покращити економіку мереж із високою пропускнуою спроможністю. Деякі з основних застосувань та застосувань OTN описані нижче:

- **Підключення до приватної лінії:** Одним із основних джерел доходу постачальника послуг є приватні лінії великої ємності (OC-192, довжина хвилі). Це добре зарекомендували себе та надзвичайно прибуткові. Але що ще важливіше: вони є і залишаються надійними мережевими пропозиціями. Згідно з недавніми дослідженнями Infonetics та Insight Research, очікується, що зростання цих послуг виражатиметься двозначними числами (сукупний річний темп зростання) з обсягом 98 мільярдів доларів США у 2013 році. OTN відповідає вимогам SLA для цих послуг та знижує витрати на передачу послуг з високою пропускнуою здатністю по приватних лініях за рахунок ефективного використання смуги пропускання.

Клієнти приватних ліній можуть переміщатися по одній і тій же довжині хвилі за умови, що пропускна здатність це дозволяє.

- **Мультиплексування / комутація для ліній 40 G/100 G:** Постачальники послуг протягом багатьох років використовували двочкові з'єднання на основі OTN із виділеною довжиною хвилі для з'єднань між клієнтськими пристроями. З них використовувалися мережеві елементи на основі транспондера або мукспондера. Хоча цей підхід простий, існує ризик передчасного вичерпання мережевих ресурсів (портів, смуги пропускання, оптоволокна тощо. буд.) через неоптимальне використання мережі. Після тривалого періоду часу, пов'язаного з коливаннями обслуговування або оновленнями мережі, смуга пропускання також може стати фрагментованою, що призведе до ще більш низького використання мережі. Комутатори OTN можуть сприяти кращому використанню довжин хвиль у мережах та можуть використовуватись для регулярної обробки корисного навантаження OTN у ключових точках мережі для зменшення фрагментації.

Впровадження OTN -комутації в існуючу транспортну мережу OTN - це відносно плавний процес, який швидко окупається. Комутація OTN позбавляє організації від необхідності використовувати оптоволоконні канали вручну збільшення пропускної спроможності. Крім того, управління смугою пропускання в комутаторі ефективніше та дешевше.[5]

Клієнти все частіше набувають таких послуг, як приватні лінії 10 GbE, пропускна спроможність яких значно нижча за пропускну спроможність ліній зі швидкістю 100 Гбіт/с. Ці послуги зазвичай надаються за допомогою транспондерів або мультиплексорів, підключених до виділеної оптичної лінії, що використовують одну довжину хвилі або кілька довжин хвиль. Мукспондери надаються на основі пари послуг (пари попиту), як показано на рисунку 1.6.

Негнучкість послуги через використання виділених оптичних ліній означає, що обладнання та пропускна спроможність не використовуються оптимально. Розробка та експлуатація цих фіксованих ліній зв'язку є надзвичайно трудомісткими і часто вимагають виїзного обслуговування для виконання робіт з технічного обслуговування або зміни ліній.

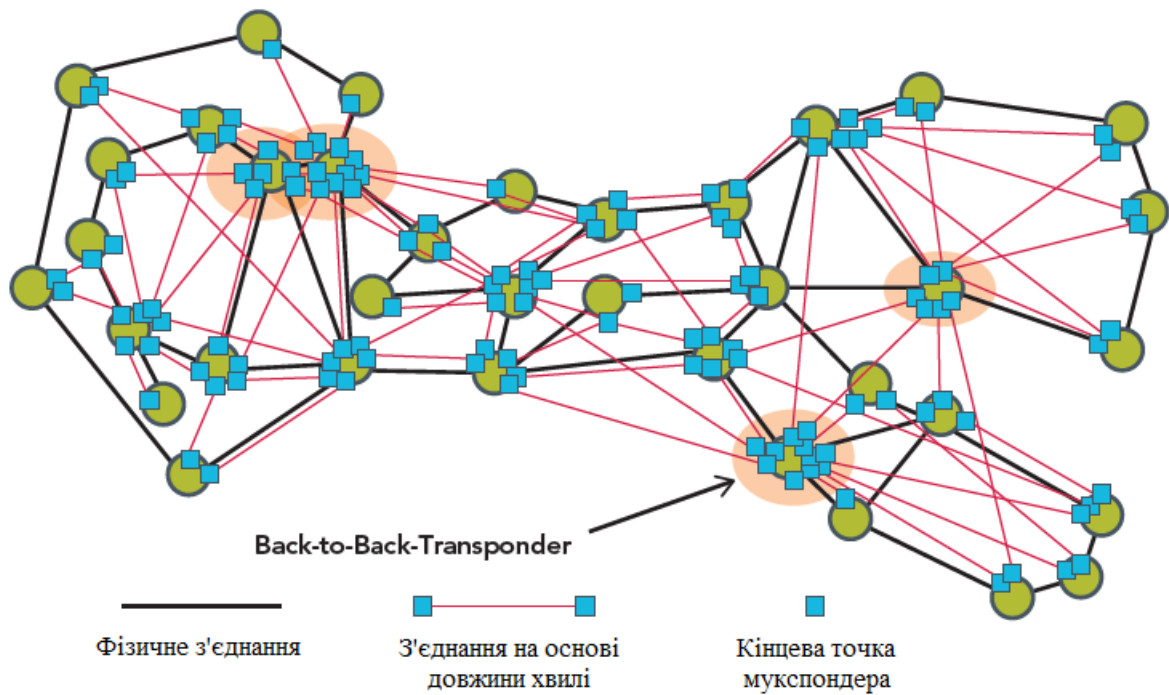


Рис. 1.6. Архітектура транспондер/мукспондер

Використання комутаторів OTN у місцях розташування концентраторів (див. Рисунок 1.7.) усуває необхідність у паралельних мультиплексорах. У той самий час кількість необхідних довжин хвиль зменшується. Впровадження OTN - комутації у місцях з ROADM (оптичний мультиплексор введення/виводу, що реконфігурується) дозволяє автоматично налаштовувати послуги і скорочувати кількість необхідних довжин хвиль, оскільки ємності можуть спільно використовуватися.

Усуваючи фрагментацію, комутація OTN також дозволяє більш ефективно використовувати смугу пропускання та краще використовувати довжини хвиль при коливаннях трафіку. Завдяки високому використанню довжин хвиль лінійні системи DWDM є оптимізованими системами, які протидіють передчасному надмірному нарощуванню мережі (див. рис. 1.8.).

Оптимізація смуги пропускання необхідна, коли швидкості передачі довжин хвиль перевищують 100 Гбіт/с, 400 Гбіт/с та 1 Тбіт/с.

- **Вища пропускна здатність мережі:** OTN дозволяє контрольоване збільшення до 100 Гбіт/с та вище. Це дозволяє постачальникам послуг масштабувати свої мережі та розширювати свої послуги без масштабних заходів з реструктуризації або

великих інвестицій. Завдяки з'єднанням 40 Гбіт/с та 100 Гбіт/с постачальники послуг можуть надавати послуги швидше, знижувати вартість передачі бітів послуг та розряджати оптоволоконні канали з обмеженою пропускною спроможністю.

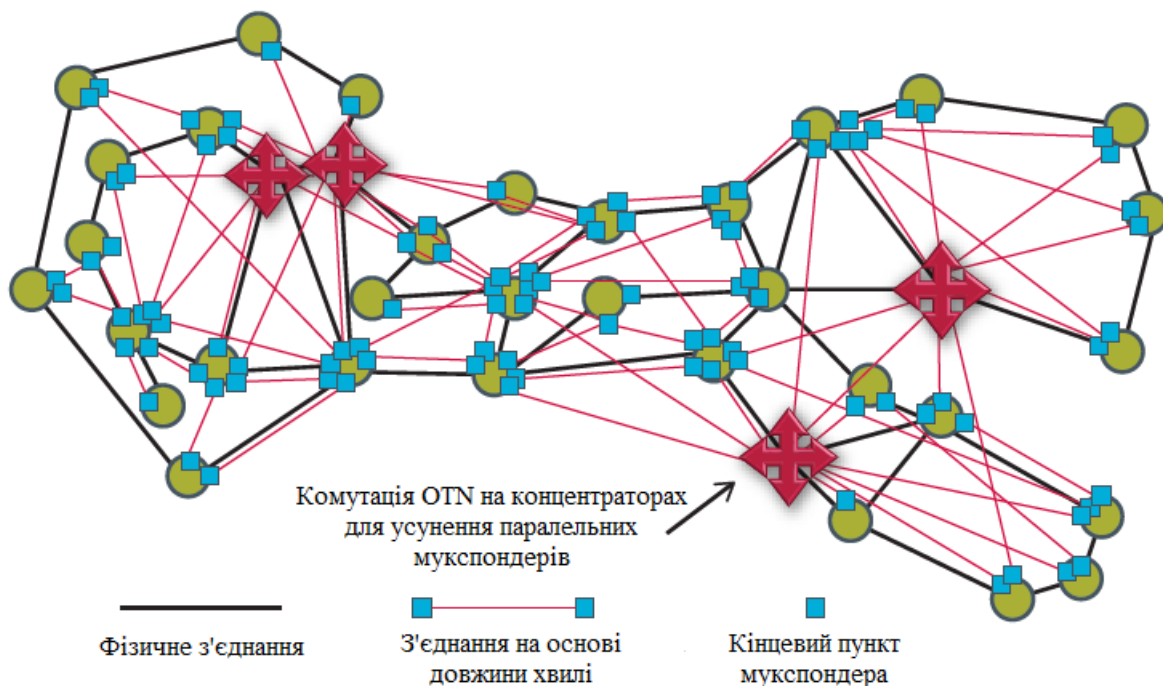


Рис. 1.7. Впровадження комутації OTN у локаціях ROADM

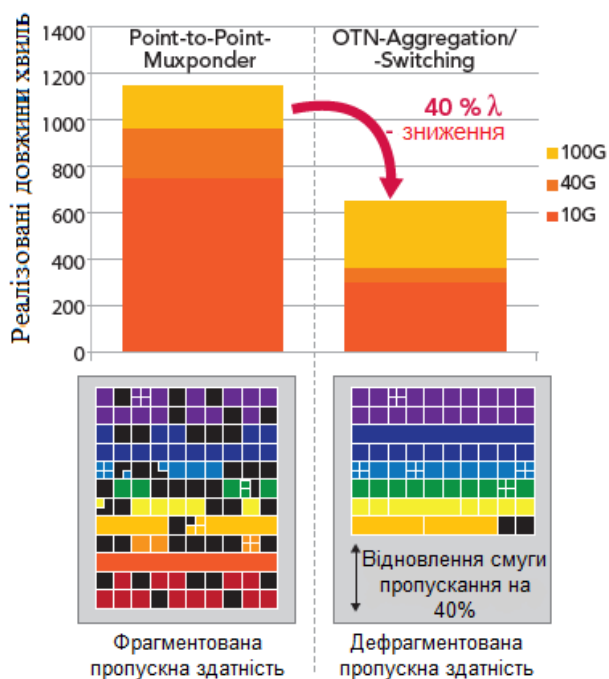


Рис. 1.8. Зниження попиту на довжину хвилі за допомогою комутації OTN

- **Розширений наскрізний моніторинг послуг: OTN** містить власні рішення для моніторингу з такими функціями, як моніторинг тандемних з'єднань (TCM), що дозволяє здійснювати наскрізний моніторинг послуг у кількох доменах (див. Рисунок 1.9).

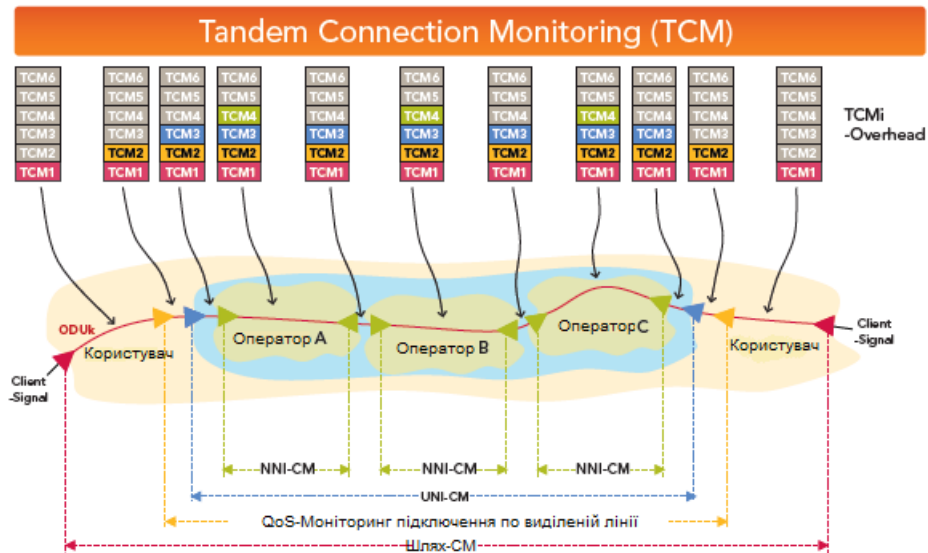


Рис. 1.9. Моніторинг тандемних з'єднань (TCM) забезпечує прозорість управління на кількох (вкладених) рівнях

- **Ефективне ядро з перемиканням без втрат:** Детермінізм OTN гарантує, що трафік даних у мережі не вироджується. Це дозволяє постачальникам послуг реалізувати ядро пакетів без втрат. Агрегація пакетів може виконуватися з перевищенням ліміту підписки або без неї, якщо вона потрібна на кордоні (див. Рисунок 1.10). Після досягнення достатнього використання трафік даних відображається у OTN і передається до пункту призначення через ядро з мінімально можливими витратами.

- **Модернізація мережі:** Більшість операторів мережі розглядають OTN як подальший розвиток своїх мереж SDH/SONET. OTN забезпечує доступ SDH/SONET до ліній 100 Гбіт/с і діє як шлюз для старих транспортних мереж. Шляхом вибіркового оновлення або обмеження з одночасним зростанням постачальники послуг можуть поетапно модернізувати свої мережі, щоб уникнути збоїв у наданні важливих послуг. На рисунку 1.11 показаний приклад подальшого розвитку від неефективних кільцевих з'єднань до накладання осередкової мережі та інтелектуальної мережі.

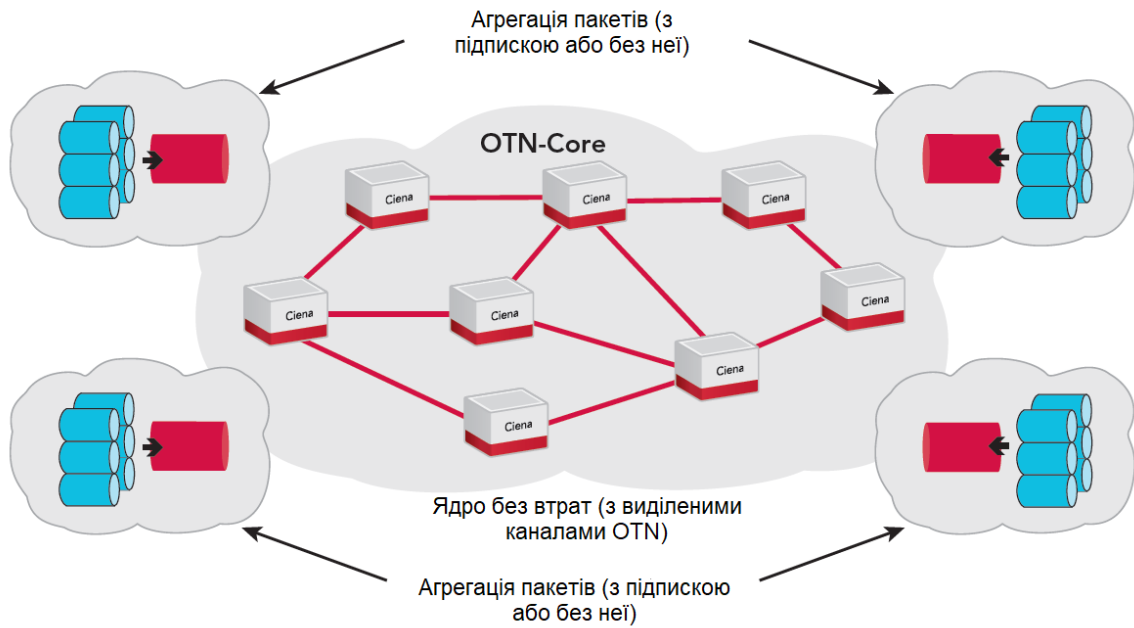


Рис. 1.10. Ефективна комутація ядра без втрат за допомогою OTN

• **Експрес-підключення для маршрутизатора Core IP** : Багато операторів мережі вже знають, що комутація трафіку даних через маршрутизатори значно дорожча, ніж використання OTN або комутаторів Ethernet . Додаткові витрати пов'язані з диференційованою обробкою трафіку даних маршрутизатора та складністю управління та експлуатації.[1]

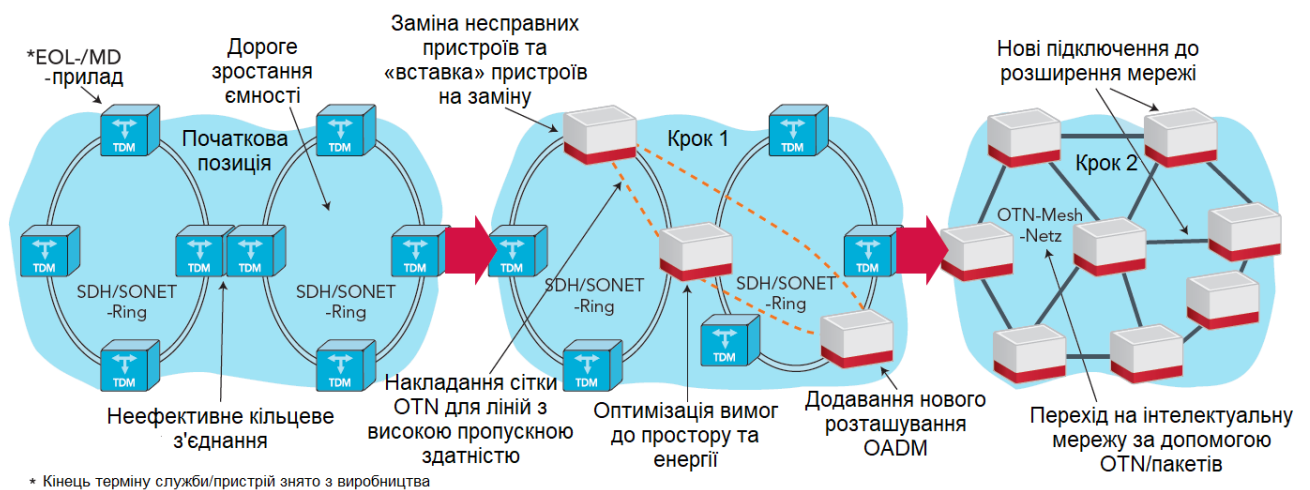


Рис. 1.11. Від кільцевої мережі до коміркової (сценарій модернізації)

Оскільки IP -трафік є пакетним, багато операторів мереж вважають, що маршрутизатори з багатопротоковою комутацією міток (MPLS) необхідні в будь-якому

місці мережі, незалежно від структури трафіку. OTN дозволяє знизити навантаження на основні маршрутизатори за рахунок передачі IP -трафіку на аутсорсинг, що знижує кількість портів маршрутизатора та загалом витрати на мережу. Використовуючи аутсорсинг IP через трафік провайдери також можуть відкласти розширення ємності. У контексті тематичних досліджень клієнтів було досягнуто зниження капітальних витрат та терміну окупності за дев'ять місяців на 20-60 відсотків. Прискорюючи трафік за рахунок обходу граничних маршрутизаторів, OTN також знижує вартість доставки послуг Ethernet , одночасно покращуючи продуктивність послуг та доступність мережі.

1.7. Сумісність та функції рівня управління MS-OTN

Якщо OTN поєднується з площиною керування ASON (оптична мережа з автоматичним перемиканням) або GMPLS (узагальнений MPLS), переваги знову значно збільшуються. Площина керування автоматизує багато мережних функцій, таких як активація, модифікація та деактивація послуг, планування та реалізація технічного обслуговування або автоматичне виявлення мережі (включаючи розширення мережі). Площина управління також пропонує автоматичне відновлення та автоматичну маршрутизацію порушеного трафіку даних без втручання користувача. Сервісні функції можуть бути розширені для підтримки широкого спектру опцій (наприклад, різних рівнів доступності або динамічних сервісів).

За допомогою інтелектуального пористого рішення час надання послуг може бути скорочено з декількох місяців до менш ніж години. Крім того, рівень управління робить мережу набагато стабільнішою, оскільки може компенсувати кілька помилок, що виникають паралельно. Це дозволяє досягти доступності мережі до 99,9999 відсотка.

Деякі з ключових функцій панелі керування описані нижче:

- **Автоматизована робота мережі:** Площина керування забезпечує необхідний інтелект для оптимізації роботи за рахунок автоматизації багатьох процесів мережі. Це призводить до швидшого надання послуг, кращого управління та значно швидше

відновлення послуг. Основні функції рівня управління включають:

- Автоматизоване керування підключенням
- Автоматизована інвентаризація та обслуговування
- Автоматичне виявлення
- Автоматичне відновлення

• **Поетапна доступність:** Постачальники послуг тепер можуть створювати багаторівневі класи обслуговування, що настроюються, використовуючи безліч доступних будівельних блоків (див. Рисунок 1.12). Можна настроїти такі параметри, як час відновлення (50 мс, 250 мс, 500 мс), кількість збоїв, від яких потрібно захист (один або кілька), та забезпечення мінімального захисту або його відсутності для трафіку з низьким пріоритетом. Завдяки гнучким багаторівневим послугам OTN може краще відповідати вимогам зростаючої клієнтської бази та, водночас, відповідати вимогам вимогливих додатків.

• **Вимірювання затримки в реальному часі:** Підтримка максимальної затримки SLA є ключовим фактором у багатьох додатках OTN (наприклад, при підключенні до центрів обробки даних). Вимірювання затримки за замовчуванням включено до OTN і можуть використовуватися для забезпечення відповідності SLA.

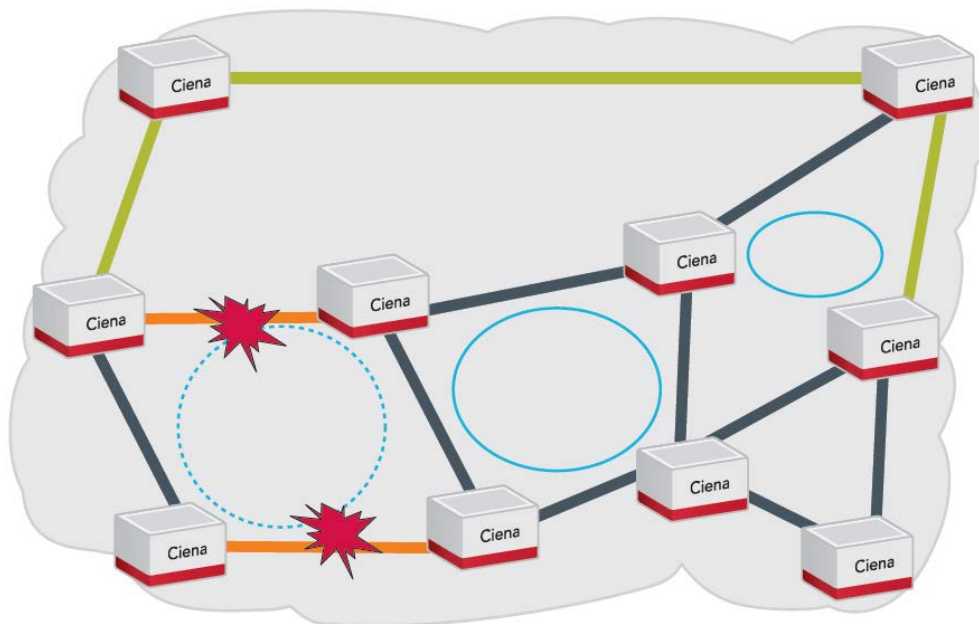


Рис. 1.12. Підвищення надійності мережі за допомогою OTN та Control Plane

• **Динамічна інфраструктура:** OTN і площину управління дозволяють створювати динамічні мережі, які у реальному часі реагують на додатки більш високих рівнях. Можливі нові послуги, такі як залежні від вимог або контрольовані за часом хмарні з'єднання, в яких площина управління бере на себе узгодження з операційною системою хмари. Мережа виступає партнером хмарних серверів і сховищ для підтримки нових додатків з доданою вартістю. Місткість активно надається або вивільняється на основі вимог прикладного рівня, як показано на рисунку 1.13.[5]



Рис. 1.13. OTN та Control Plane як динамічний пул ресурсів для хмари

• **Оптичні віртуальні приватні мережі (O-VPN):** За допомогою O-VPN постачальники послуг можуть віртуально розділити свої мережі, дозволивши виділене використання певних з'єднань, довжин хвиль, субдлін хвиль і навіть вузлів з одним клі-

ентом (наприклад, компанією). Як видно на рисунку 1.14, підрозділи віртуальної мережі пропонують необхідну смугу пропускання, керованість та безпеку, як і окрема сервісна інфраструктура, але без витрат і негнучкості. О - VPN забезпечують безпечні приватні мережі з високою пропускнуою здатністю, які з'єднують розташування кінцевих користувачів з гнучкою керованою віртуальною інфраструктурою через часткові, одиночні або прозорі множинні оптичні канали зв'язку. Для цієї мети використовується широкий спектр клієнтських інтерфейсів, таких як Ethernet, OTN, SONET, SDH, SAN (мережі зберігання даних) та відео.

Наприклад, на рисунку 1.14 підрозділ «Компанія А» може забезпечувати високоступні з'єднання із захистом стільникової мережі для підтримки критично важливих бізнес-додатків для різних протоколів пакетів та зберігання. Підрозділ «Компанія В» можна використовувати для підтримки хмарних сервісів, які дозволяють клієнтам планувати передачу великих обсягів даних, наприклад тих, що використовуються для мобільності сховища або міграції віртуальних машин.[4]

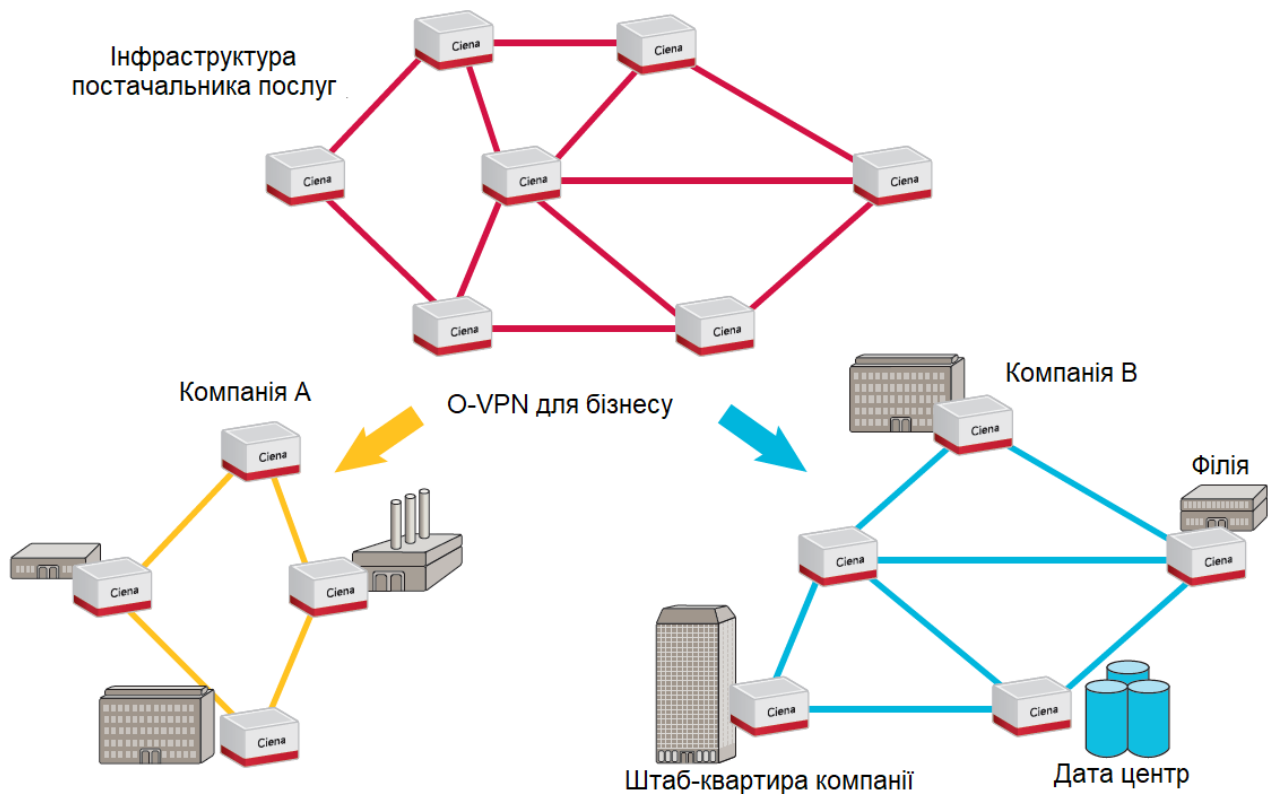


Рис. 1.14. Оптичні приватні віртуальні мережі

Навіть якщо O - VPN надаються в мережі постачальника послуг, виділена смуга пропускання, як і раніше, доступна для підключення кількох місць розташування кінцевих користувачів у комірковій конфігурації з декількома швидкостями паралельних ліній, в той же час забезпечуючи повний поділ трафіку даних і Пропускна здатність відновлення. Повна видимість мережі, а також додатковий контроль надлишкового виділення ресурсів, захисту та пропускної спроможності на запит можуть бути забезпечені через безпечний веб-портал для клієнтів.

1.8. Сценарії використання MS-OTN

Переваги надання OTN для передачі та комутації даних були кількісно оцінені в практичних сценаріях забезпечення та численних дослідженнях мереж. Наступні приклади користування клієнтами ілюструють ці переваги.

Сценарій використання 1: обробка смуги пропускання (субхвильова) для магістральних мереж 40 G/100 G

Цей приклад стосується національної магістралі постачальника послуг 1 рівня в США. Трафік даних складався з різних довжин хвиль 10 G з OC -192 та 10 GbE для приватних оптових та роздрібних ліній з близько 3000 ліній 10G. З цією метою було проведено порівняння архітектури – один раз тільки з мукспондерами точка-точка та один раз з мукспондерами та ядром OTN з перемиканням для очищення субхвильових довжин. Було визначено 32-відсоткове скорочення кількості наданих активних довжин хвиль та 13-відсоткове скорочення наданої ємності.

Приклад використання 2: оптимізація мережного шляху

У цьому прикладі показано, як шлях, доданий до мережі в рамках запланованого розширення для задоволення вимог до трафіку, був оптимізований з використанням архітектури комутації OTN. Дослідження показало, що OTN з автоматизацією рівня управління дозволяє регулярно оновлювати трафік даних та, таким чином, використовувати більш ефективні маршрути. В результаті середня затримка тракту могла бути зменшена, оптичний спектр було відновлено за рахунок переходу на дов-

жини хвиль з вищою швидкістю передачі даних, і трафік даних міг бути перерозподі-
леним, щоб уникнути вузьких місць. Ось деякі з основних переваг:

- Зниження середньої затримки на 19%
- Зниження до 30 відсотків вузьких місць у смузі пропускання для особливо часто використовуваних з'єднань.

Сценарій використання 3: відмова від основних маршрутизаторів

У цьому прикладі порівнюються капітальні вкладення для з'єднань IP - маршрутизатора в трьох сценаріях: IP через DWDM, IP через DWDM з прискоренням довжини хвилі між вузлами з високим трафіком та з'єднання на субхвильовій довжині з комутацією OTN. Дослідження проводилося для мережі з 28 вузлами та 47 посиленнями. Для субхвильового з'єднання та сценарію OTN з'єднання 10 G і топологія зі збереженням віртуальних довжин хвиль ODU 2. Крім того, було досягнуто більшого зниження ємності маршрутизатора та більш тривалого часу використання існуючих карт портів маршрутизатора. Таким чином, можна вдвічі скоротити капіталовкладення маршрутизатори.

Практичний приклад: вибір OTN

OTN ідеально підходить для мереж операторського класу та постачальників послуг з кількома абонентами та високою пропускну здатністю, які хочуть перейти від старих технологій, таких як SONET та SDH, до мереж на основі OTN з комутацією з урахуванням пакетів. IP та Ethernet спочатку підтримуються OTN, що означає, що перехід на інфраструктуру OTN відносно простий для клієнтів з послугами на основі IP та Ethernet.

Багато компаній впроваджують OTN, щоб отримати вигоду зі своїх інвестицій у мережі та підвищити гнучкість мережі за рахунок збільшення пропускну спроможності довжини хвилі. Оскільки більша частина трафіку даних міської мережі залишається в локальній області початкової точки, зсув OTN -комутації у бік кордону мережі збільшує загальну пропускну спроможність мережі, оскільки ядра міської мережі звільняються від трафіку даних.

Коміркова топологія OTN та вбудована підтримка трафіку даних IP та Ethernet сприяють підвищенню ефективності мережі, спрощенню мережевої архітектури та

скорочення часу затримки.

Це шлях оновлення для постачальників послуг, які залежать від можливості масштабувати свою мережеву структуру відповідно до вимог своїх клієнтів. З цією метою мережі OTN спроектовані таким чином, що вони підтримують послуги з широким діапазоном швидкостей передачі даних (від 1 Гбіт/с до 10 Гбіт/с до 40 Гбіт/с та вище). Якщо узгоджена у контракті швидкість передачі даних має бути збільшена для клієнта, це збільшення може бути досягнуто шляхом внесення кількох змін у конфігурацію мережі постачальника послуг та, як правило, без оновлення обладнання, програмного забезпечення або додатків. Провайдери на базі OTN також можуть використовувати автоматичне динамічне розширення та зниження швидкості передачі даних, що ґрунтується на використанні клієнта або на конкретних запитах клієнта.[1]

Великий постачальник послуг, який прийняв цю стратегію, щоб зробити перехід від існуючої мережі на основі SONET/DS 1/DS 3 до конвергентної мережі OTN якомога більш плавним. Нова мережа підтримує стару мережну інфраструктуру компанії, але в той же час пропонує чіткий шлях до вищих швидкостей передачі даних, більшої стабільності та ефективності, а також вбудованої підтримки трафіку даних IP та Ethernet. Провайдер очікує, що його перехід на OTN забезпечить конкурентну перевагу та скоротить мережеві та експлуатаційні витрати на надання, обслуговування та розширення його оптичних мереж, коли вимоги клієнтів до мережі зростуть.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

У цьому розділі було розглянуто такі питання:

- Модернізація мережі та конкурентні переваги через MS-OTN;
- Основні принципи побудови MS-OTN;
- Ключові переваги та фактори переходу на MS-OTN;
- Архітектура MS-OTN;
- Підвищення рентабельності мереж за допомогою MS-OTN;
- Сценарії використання MS-OTN.

До ключових переваг впровадження OTN відносяться:

- OTN найважливіший елемент для розробки відкритої та програмованої мережевої платформи

- Прозорість сервісу

- Наскрізний моніторинг

- Вбудований вимір затримки

- Ефективне мультиплексування та перемикання клієнтів для послуг

з високими темпами зростання

- Масштабованість до 100 Гбіт/с та вище

- Підвищена надійність мережі

- Можливість підтримувати передачу нових послуг із високою пропускнуою здатністю

Більшість організацій у наші дні працюють над зниженням витрат та оптимізацією мережевих операцій. У той же час вони шукають рішення, пов'язане з встановлення нових стандартів у сфері економіки обслуговування і перетворює мережу на динамічний та інтелектуальний пул ресурсів. OTN пропонує детерміновану, просту і сумісну з пакетною мережею модель надання послуг, яка прокладає шлях для нового покоління послуг і може змінити спосіб спілкування людей.

РОЗДІЛ 2

РОЗРАХУНОК ТРАНСПОРТНОГО РЕСУРСУ МУЛЬТИСЕРВІСНОЇ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ

2.1. Розрахунок транспортного ресурсу мультисервісних вузлів доступу

Для підключення абонентів фрагмента мережі з КП застосовується мультисервісний вузол доступу, який конструктивно є резидентним шлюзом, шлюзом доступу і комутатором Ethernet (див. рис. 2.1.). У пакетний комутатор Ethernet включаються безпосередньо всі джерела навантаження, що працюють за пакетними технологіями.

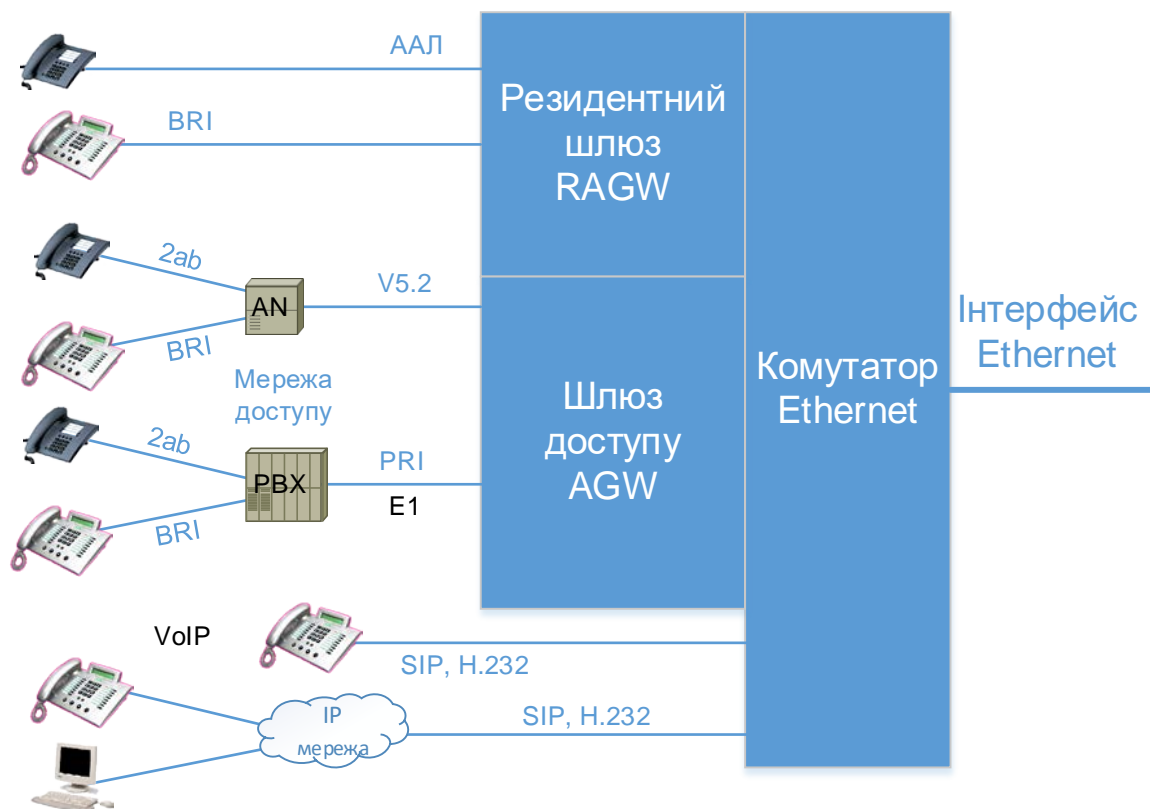


Рис. 2.1. Структура мультисервісного вузла доступу MSAN

Для економії ресурсів транспортної мережі у шлюзах використовується компресія. Для цього застосовуються різні кодеки. При застосуванні кодека типу m мультисервісному вузлі доступу розрахунок обсягу транспортного ресурсу пакетної мережі для доставки інформації користувачів виконується за формулою [14]

$$V_{MSAN} = k_{вик} k_{над} Y_{MSAN} V_{CODm} \quad (2.1)$$

де $k_{вик}$ - коефіцієнт використання каналного ресурсу (при застосуванні технології Ethernet, зазвичай планується використовувати не більше 80% від номінальної швидкості каналу i , отже, $k_{вик} = 1,25$); Y_{MSAN} - зовнішня інтенсивність навантаження від абонентів, підключених до MSAN, Ерл; V_{CODm} - швидкість передачі кодека типу m при обслуговуванні мовного виклику, кбіт/с; $k_{над}$ - коефіцієнт надмірності кодека, який визначається як відношення загальної довжини кадру до розміру мовного кадру залежить від використовуваного кодека.

Таблиця 2.1

Характеристики різних типів кодеків

Характеристика	G.711	G.711	G.723.1 I/r	G.723.1 h/r	G.729a
Швидкість кодека, кбіт/с	64	64	6,4	5,3	8
Розмір мовного кадру, байт	80	160	24	20	10
Загальна довжина кадру, байт	134	214	78	74	64
Коефіцієнт надмірності $k_{изб}$	$134/80 = 1,675$	$214/160 = 1,337$	$78/24 = 3,25$	$74/20 = 3,7$	$64/10 = 6,4$
Необхідна пропускна здатність $V_{trans cod}$, кбіт/с	107,2	85,6	20,8	19,61	51,2

Швидкість передачі кодека під час обслуговування мовних повідомлень розраховується так. Наприклад розглянемо кодек типу G.711.

Передану інформацію умовно можна розділити на дві частини: мовну інформацію та заголовки службових протоколів. Сума довжин заголовків протоколів RTP/UDP/IP/Ethernet (а саме ці протоколи потрібні для передачі інформації в нашому випадку) 54 байти (12+8+20+14). При розмірі мовного кадру 80 байтів затримка при

пакетизації дорівнює $0,125 \text{ мс} \cdot 80 \text{ байт} = 10 \text{ мс}$. При цьому загальна довжина кадру дорівнює $80 + 54 = 134 \text{ байти}$. Тоді коефіцієнт надмірності кодека

$$k_{\text{над G.711}} = \frac{L_{\text{повід}}}{L_{\text{мов.кадр}}} = \frac{134}{80} = 1,675$$

Крім того, довжина мовного кадру при використанні кодека G.711 може бути 160 байт при затримці пакетизації 20 мс. У цьому випадку коефіцієнт надмірності $k_{\text{над}} = 1,337$. Значення $k_{\text{над}}$ для деяких типів кодеків наведено у табл. 2.1.

Деяка частина інформаційних потоків, чутливих до затримки, обслуговується шлюзом доступу без компресії за допомогою кодека G.711. За умовою кодек, що використовується в MSAN для обробки медіаданих - G.723.11 / r. Тоді формула (2.1) набуде вигляду

$$V_{MSAN i} = k_{\text{вик}} Y_{MSAN i} [k_{\text{викG.711}} V_{\text{CODG.711}} x + k_{\text{викG.723}} V_{\text{CODG.723}} (1-x)]$$

де x - частка інформаційних потоків, що обслуговується шлюзом доступу без компресії (потоки від факсів і модемів).

2.2. Транспортний ресурс між фрагментом мережі з КК та MSAN₁

Для перетворення мови в пакетну форму MSAN застосовується кодек G.723.11/r, для якого $k_{\text{над}} = 3,25$, а швидкість кодування $V_{\text{CODG.723.11/r}} = 6,4 \text{ кбіт/с}$. Нехай 90% навантаження, що надходить на MSAN, обробляються за допомогою кодека G.723.1, а 10% навантаження - за допомогою кодека G.711.

Обчислимо транспортний ресурс, який необхідний для обслуговування навантаження, що надходить від MSAN₁ на мережу з КК. Для збільшення надійності передачі кожен MSAN підключається до двох комутаторів транспортної пакетної мережі (SW₁ та SW₂). Тоді каналний ресурс передачі інформаційного навантаження від аналогових телефонних апаратів, підключених до MSAN₁

$$\begin{aligned} V_{MSAN1(TA)-SW1} &= 1,25 * 143 [3,25(1 - 0,1) * 6,4 + 1,675 * 0,1 * 6,4] \\ &= 5,172 \text{ Мбіт/с} \end{aligned}$$

В терміналах VoIP дуже часто застосовується кодек G.729a, оскільки він забезпечує досить високу якість передачі мови та стійкий до втрат кадрів. Кодек формує

кадри мовного сигналу тривалістю 10 мс, при стандартній частоті дискретизації 8 кГц. Швидкість передачі на вихід кодека становить 8 кбіт/с. Оскільки лише 65 % інформації від пакетних терміналів надходить у мережу з КК, що становить 29,25 Ерл, то за використання кодека G.729a у пакетних терміналах транспортний ресурс для MSAN₁ у бік мережі з КК

$$V_{MSAN1(SH)-SW1} = 1,25 * 29,25 * 6,4 * 8 = 1872 \text{ кбіт/с} = 1,872 \text{ Мбіт/с}$$

Вхідне навантаження від мережі з КК, що надходить на MSAN₁, становить 202,82 Ерл. Обчислимо транспортний ресурс обслуговування вхідної навантаження. При цьому необхідно врахувати, що в MGW деяка частина викликів (передача факсимільної інформації, модемних з'єднань та ін.) буде обслуговуватися з використанням кодека G.711 без компресії, а решта викликів МС обслуговуються за допомогою кодека G.729a. Тоді транспортний ресурс, який необхідний для обслуговування вхідного навантаження з боку мережі з КК,

$$\begin{aligned} V_{\text{мережаКК-MSAN1}} &= 1,25 * 202,91[6,4(1 - 0,1) * 8 + 1,675 * 0,1 * 64] = \\ &= 14406,61 \text{ Кбіт/с} = 14,407 \text{ Мбіт/с}. \end{aligned}$$

Загальний транспортний ресурс для передачі інформаційного навантаження між MSAN₁ та мережею з КК

$$V_{MSAN1\text{-мережаКК}} = 5,725 + 1,872 + 14,407 = 22,004 \text{ Мбіт/с}.$$

2.3. Транспортний ресурс між фрагментом мережі з КК та MSAN₂

Канальний ресурс для передачі інформаційного навантаження від аналогових та цифрових телефонів до SW2 і далі до мережі з КК для MSAN₂

$$\begin{aligned} V_{MSAN2(TA)-SW2} &= 1,25 * 112,45[3,25(1 - 0,1) * 6,4 + 1,675 * 0,1 * 64] = \\ &= 4,067 \text{ Мбіт/с}. \end{aligned}$$

Транспортний ресурс для передачі інформації від пакетних терміналів для MSAN₂

$$V_{MSAN2(SH)-SW2} = 1,25 * 8,125 * 6,4 * 8 = 520 \text{ кбіт/с} = 0,52 \text{ Мбіт/с}.$$

Транспортний ресурс, необхідний обслуговування вхідної навантаження із боку мережі з КК,

$$V_{\text{мережаКК-MSAN}_2} = 1,25 * 142,02[6,4(1 - 0,1) * 8 + 1,675 * 0,1 * 64] =$$

$$= 10083,42 \text{ Кбіт/с} = 10,083 \text{ Мбіт/с.}$$

Загальний транспортний ресурс для передачі інформаційного навантаження між MSAN₂ та мережею з КК

$$V_{\text{MSAN}_2\text{-мережаКК}} = 4,502 + 0,52 + 10,083 = 15,105 \text{ Мбіт/с.}$$

2.4. Транспортний ресурс для зв'язку MSAN із ЗУС та УСС

Крім того, від MSAN також надходитиме навантаження до/від ЗУС та до УСС. Оскільки ЗУС та УСС знаходяться на території мережі з КК, то навантаження, яке направляється до них, надходить спочатку на SW, а потім для перетворення на MGW. При цьому приймаємо, що вихідне навантаження на зоновий вузол зв'язку дорівнює вхідному.

Визначимо необхідний транспортний ресурс MSAN₁ для передачі інформації до ЗУС та УСС:

$$V_{\text{MSAN}_1(\text{ЗУС,УСС})\text{-MGW}} = 1,25(92,75 * 2 + 6,76)(3,25 * 0,9 * 6,4 +$$

$$+ 1,675 * 0,1 * 64) = 6,954 \text{ Мбіт/с.}$$

Визначимо необхідний транспортний ресурс для MSAN₂ для передачі інформації до ЗУС та УСС:

$$V_{\text{MSAN}_2(\text{ЗУС,УСС})\text{-MGW}} = 1,25(76,13 * 2 + 4,73)(3,25 * 0,9 * 6,4 +$$

$$+ 1,675 * 0,1 * 64) = 5,678 \text{ Мбіт/с.}$$

2.5. Транспортний ресурс для передачі сигнальних повідомлень⁴⁷

Транспортний ресурс MSAN має бути розрахований на передачу, крім користувальницької (медіа), ще й сигнальної інформації на базі протоколів H.248/Megaco і Sigtran, якою MSAN обмінюється з MGCF. Таким чином, загальний транспортний ресурс шлюзу може бути визначений як сума користувальницької та сигнальної інформації за формулою:

$$V_{MSAN} = V_{MSAN}^{USER} + V_{ТФОП}^{SIGN} + V_{V5.2}^{SIGN} + V_{УПАТС}^{SIGN} + V_{SH}^{SIGN} + V_{MEGACO}^{SIGN}, \quad (2.2)$$

Де V_{MSAN}^{USER} —транспортний ресурс для передачі інформації користувача;

$V_{ТФОП}^{SIGN}$ — транспортний ресурс для передачі сигнальної інформації абонентів ТМЗК;

$V_{V5.2}^{SIGN}$ — транспортний ресурс передачі сигнальної інформації абонентів мереж доступу (АКТ);

$V_{УПАТС}^{SIGN}$ —транспортний ресурс передачі сигнальної інформації абонентів УПАТС (PBX);

V_{SH}^{SIGN} — транспортний ресурс передачі сигнальної інформації абонентів SIP та H.323;

V_{MEGACO}^{SIGN} — транспортний ресурс для обміну повідомленнями МЕСАСО, що використовується для керування шлюзами.

Транспортний ресурс передачі сигнальної інформації від різних абонентів розраховується за такими формулам [13]

$$V_{ТФОП}^{SIGN} = k_{sig}(C_{ТФОП}N_{ТФОП}L_{MEGACO}N_{MEGACO})/450;$$

$$V_{V5.2}^{SIGN} = k_{sig}(C_{AN}V_{кан.АN}L_{V5UA}N_{V5UA})/450;$$

$$V_{УПАТС}^{SIGN} = k_{sig}(C_{УПАТС}V_{кан.УПАТС}L_{IUA}N_{IUA})/450;$$

$$V_{SH}^{SIGN} = k_{sig}((N_{SIP}+N_{H.323} + N_{LAN})L_{SH}N_{SH}C_{SH})/450;$$

$$V_{MEGACO} = k_{sig}[(C_{ТФОП}N_{ТФОП} + C_{AN}N_{кан.АN} + C_{УПАТС}N_{кан.УПАТС} + C_{LAN}+N_{аб.АN}L_{MEGACO}N_{MEGACO})/450,$$

де k_{sig} - коефіцієнт використання транспортного ресурсу при передачі сигнального навантаження, $k_{sig} = 5$, що відповідає навантаженню в 0,2 Ерл, обслуженої ланкою сигналізації;

$C_{ТФОП}$ - питома інтенсивність викликів від абонентів, що використовують доступ по аналоговим абонентським лініям в ЧНН;

C_{AN} - питома інтенсивність викликів від абонентів, що підключаються до пакетної мережі через мережі доступу інтерфейсу V5.2 по одному каналу в потоці E1,

дзв/чнн;

$C_{УПАТС}$ - питома інтенсивність викликів від УПАТС, що підключаються до пакетної мережі по одному каналу в потоці Е1, виклик/чнн;

C_{SH} - питома інтенсивність викликів від абонентів, що використовують термінали SIP/Н.323;

$V_{кан.АN}$ - кількість мовних каналів у потоках Е1, якими мережі доступу підключені до MSAN;

$V_{кан.УПАТС}$ - число мовних каналів у потоках Е1, якими УПАТС

$N_{Н.323}$ - кількість терміналів Н.323;

N_{SIP} - кількість терміналів SIP;

N_{LAN} - кількість терміналів Н.323 і SIP в LAN;

L_{MEGACO} - середня довжина повідомлення (в байтах) протоколу MEGACO, що використовується при передачі сигнальних повідомлень;

N_{MEGACO} - середня кількість повідомлень протоколу MEGACO під час обслуговування одного дзвінка;

$L_{MEGACO}N_{MEGACO}$ – обсяг сигнальної інформації протоколу MEGACO, необхідний обслуговування одного, біт;

L_{IUA} - середня довжина повідомлення (в байтах) протоколу IUA;

N_{IUA} - середня кількість повідомлень протоколу IUA при обслуговуванні одного виклику;

L_{V5UA} - середня довжина повідомлення (в байтах) протоколу V5UA;

N_{V5UA} – середня кількість повідомлень протоколу V5UA при обслуговуванні одного виклику;

L_{SH} - середня довжина повідомлення (в байтах) протоколів SIP/Н.323;

N_{SH} - середня кількість повідомлень протоколів SIP/Н.323 при обслуговуванні одного виклику;

$1/450$ - результат приведення розмірностей "байт на годину" до "біт за секунду" ($8/3600 = 1/450$).

Прийmemo, що середня довжина повідомлень сигналізації дорівнює 50 байтам, а середня кількість повідомлень у процесі одного виклику дорівнює 10.

Транспортний ресурс для передачі сигнальної інформації овід різних абонентів

MSAN₁

$$V_{\text{ТФОПMSAN1}}^{\text{SIGN}} = \frac{k_{\text{sig}}(C_{\text{ТФОП}}N_{\text{ТФОП}}L_{\text{MEGACO}}N_{\text{MEGACO}})}{450} = 5 * \frac{5 * 2000 * 50 * 10}{450}$$

$$= 55,55 \text{ кбіт/с};$$

$$V_{\text{V5.2MSAN1}}^{\text{SIGN}} = k_{\text{sig}} \frac{C_{\text{AN}}V_{\text{кан.АН}}L_{\text{V5UA}}N_{\text{V5UA}}}{450} =$$

$$= 5 * \frac{40 * 2 * 5 * 30 * 50 * 10}{450} = 66,66 \text{ кбіт/с};$$

$$V_{\text{SHMSAN1}}^{\text{SIGN}} = k_{\text{sig}} \frac{(N_{\text{SIP}}+N_{\text{H.323}}+N_{\text{LAN}})L_{\text{SH}}N_{\text{SH}}C_{\text{SH}}}{450} =$$

$$= 5 * \frac{(250 + 650) * 50 * 10 * 5}{450} = 25 \text{ кбіт/с.}$$

Транспортний ресурс для обміну повідомленнями протоколу MEGACO, що використовується для управління MSAN₁,

$$V_{\text{MEGACO}} = k_{\text{sig}}[(C_{\text{ТФОП}}N_{\text{ТФОП}} + C_{\text{AN}}N_{\text{кан.АН}} + C_{\text{LAN}}+N_{\text{аб.ЛАН}}) \times$$

$$L_{\text{MEGACO}}N_{\text{MEGACO}}]/450 = 5[(5 * 2000 + 40 * 2 * 30 + 5 * (650 + 200 + 50)) * 50 *$$

$$10]/450 = 147,22 \text{ кбіт/с.}$$

Далі визначимо транспортний ресурс передачі сигнальної інформації від різних абонентів MSAN₂:

$$V_{\text{ТФОПMSAN2}}^{\text{SIGN}} = \frac{k_{\text{sig}}(C_{\text{ТФОП}}N_{\text{ТФОП}}L_{\text{MEGACO}}N_{\text{MEGACO}})}{450} = 5 * \frac{5 * 2500 * 50 * 10}{450}$$

$$= 69,44 \text{ кбіт/с};$$

$$V_{\text{УПАТМСAN2}}^{\text{SIGN}} = k_{\text{sig}} \frac{C_{\text{УПАТС}}V_{\text{кан.УПАТС}}L_{\text{IUA}}N_{\text{IUA}}}{450} =$$

$$= 5 * \frac{40 * 2 * 2 * 30 * 50 * 10}{450} = 26,66 \text{ кбіт/с};$$

$$V_{\text{SHMSAN2}}^{\text{SIGN}} = k_{\text{sig}} \frac{(N_{\text{SIP}}+N_{\text{H.323}})L_{\text{SH}}N_{\text{SH}}C_{\text{SH}}}{450} =$$

$$= 5 * \frac{(200 + 50) * 50 * 10 * 5}{450} = 6,94 \text{ кбіт/с.}$$

Транспортний ресурс для обміну повідомленнями протоколу MEGACO, який використовується для управління MSAN₂,

$$V_{MEGACO} = k_{sig}[(C_{T\Phi OP}N_{T\Phi OP} + C_{УПАТС}N_{кан.УПАТС} + C_{SH}N_{SH}) \times L_{MEGACO}N_{MEGACO}]/450 = 5 * \frac{(5*2500+40*2*2*30+5*(200+50))*50*10}{450} = 103,06 \text{ кбіт/с.}$$

Зведемо отримані значення каналного ресурсу сигнальних повідомлень в табл. 2.2

Відповідно до формули (2.2) загальний транспортний ресурс мультисервісних вузлів доступу складається з каналного ресурсу, необхідного для передачі користувальницької та сигнальної інформації. За умовою 15% навантаження від MSAN₁, що надходить, замикається всередині MSAN₁, 20% направляється на MSAN₂ через комутатори транспортної пакетної мережі (SW1 і SW2), а 65% надходить на мережу з КК.

Таблиця 2.2

Транспортний ресурс передачі сигнальних повідомлень MSAN, Мбіт/с

Транспортний ресурс	MSAN ₁	MSAN ₂
Для передачі сигнальної інформації абонентів ТМЗК, Мбіт/с	0,056	0,069
Для передачі сигнальної інформації абонентів мереж доступу, Мбіт/с	0,066	–
Для передачі сигнальної інформації абонентів РВХ, Мбіт/с	–	0,027
Для передачі сигнальної інформації абонентів SIP, H.323, LAN, Мбіт/с	0,025	0,007
Для обміну повідомленнями MEGACO, що використовується для управління MSAN, Мбіт/с	0,147	0,103
Загальний сигнальний транспортний ресурс на виході MSAN, Мбіт/с	0,294	0,206

Таким чином, для обслуговування інформаційного навантаження на MSAN необхідно виділити також 65% від розрахованого сигнального ресурсу. У цьому сигнальна інформація протоколу MEGACO, необхідна управління MGW, надходить разом із інформаційним навантаженням на MGW, а сигнальна інформація інших протоколів сигналізації під керівництвом MGCF надходить на SGW.

Таким чином, сигнальний ресурс, котрий потрібен для обслуговування навантаження, якій надходить від MSAN₁ на MGW,

$$V_{MSAN1sig-MGW} = 0,65 \cdot 0,147 = 0,096 \text{ Мбіт/с.}$$

Транспортний ресурс, що виділяється обслуговування іншого сигнального навантаження з допомогою сигнального шлюзу,

$$V_{MSAN1sig-SGW} = (0,294 - 0,147) \cdot 0,65 = 0,096 \text{ Мбіт/с.}$$

Сигнальний ресурс, який необхідний для обслуговування навантаження, що надходить від MSAN2 на MGW

$$V_{MSAN2sig-MGW} = 0,65 \cdot 0,103 = 0,067 \text{ Мбіт/с.}$$

Транспортний ресурс, що виділяється обслуговування іншого сигнального навантаження з допомогою шлюзу SGW,

$$V_{MSAN2sig-SGW} = (0,206 - 0,103) \cdot 0,65 = 0,067 \text{ Мбіт/с.}$$

Крім того, для навантаження, що надходить з боку мережі з КК, необхідно враховувати повідомлення протоколу управління медіашлюзами H.248/Megaco. Наближено вважатимемо, що сигнальна інформація H.248 вимагає додатково 4% транспортного ресурсу від загального транспортного ресурсу медіашлюзу.

Таким чином, загальний транспортний ресурс, що виділяється для обслуговування навантаження, що надходить на MGW з боку мережі з КК, може бути обчислений за формулою

$$V_{\text{мережаКК-MGW}} = V_{\text{мережаКК-MSAN1}} + V_{\text{мережаКК-MSAN2}} + V_{H.248}, \quad (2.3)$$

де $V_{H.248}$ - транспортний ресурс для передачі повідомлень протоколу H.248.

У відповідності з формулою (2.3) знайдемо загальний транспортний ресурс, необхідний для обслуговування навантаження, що надходить від мережі КК на MSAN₁ через SW₁.

$$V_{\text{мережі КК-MGW-MSAN1}} = 14,407 + 0,04 \cdot 14,407 = 14,983 \text{ Мбіт/с}$$

Знайдемо загальний транспортний ресурс, що виділяється для обслуговування навантаження, що надходить від мережі з КК на MSAN₂ через SW₂.

$$V_{\text{мережі КК-MGW-MSAN2}} = 10,083 + 0,04 \cdot 10,083 = 10,486 \text{ Мбіт/с}$$

Тоді транспортний ресурс, необхідний для обслуговування вхідного та вихідного навантажень MSAN1 до мережі з КК на ділянці мережі SW1-MGW.

$$\begin{aligned} V_{SW1-MGW} &= V_{MSAN1(TA)-SW1} + V_{MSAN1(SH)-SW1} + \\ &V_{\text{мережі КК-MGW-MSAN1}} + V_{MSAN1sig-MGW} + V_{MSAN1(ЗУС,УСС)-MGW} \\ &= 5,172 + 1,872 + 14,983 + 0,096 + 6,954 = 20,077 \text{ Мбіт/с} \end{aligned}$$

Загальний транспортний ресурс, що виділяється для обслуговування вхідного та вихідного навантажень MSAN2 до мережі з КК на ділянці мережі SW2-MGW.

$$\begin{aligned}
 V_{SW2-MGW} &= V_{MSAN2(TA)-SW2} + V_{MSAN2(SH)-SW2} + \\
 &V_{\text{мережі } KK-MGW-MSAN2} + V_{MSAN2sig-MGW} + V_{MSAN2(ЗУС,УСС)-MGW} \\
 &= 4,067 + 0,52 + 10,486 + 0,067 + 5,678 = 20,818 \text{ Мбіт/с}
 \end{aligned}$$

2.6 Транспортний ресурс між MSAN

Далі визначимо навантаження, яке замикається між MSAN₁ і MSAN₂ на мережі з КП. За умови цього 20% від навантаження, що виникає. При цьому взаємодія між MSAN відбувається через комутатори транспортної пакетної мережі (SW). Знайдемо транспортний ресурс, який повинен бути виділений для обслуговування навантаження, що поступає від телефонних апаратів, які підключаються до MSAN₁ безпосередньо через абонентську лінію або через інтерфейс V5.2:

$$\begin{aligned}
 V_{MSAN1(TA)-MSAN2} &= 1,25 * 44[3,25(1 - 0,1) * 6,4 + 1,675 * 0,1 * 6,4] \\
 &= 1,591 \text{ Мбіт/с}
 \end{aligned}$$

Аналогічно визначимо транспортний ресурс, необхідний для передачі інформаційного навантаження для пакетних терміналів:

$$V_{MSAN1(SH)-MSAN2} = 1,25 * 9 * 6,4 = 576,25 \text{ кбіт/с} = 0,576 \text{ Мбіт/с}$$

Тоді загальний транспортний ресурс для передачі інформації від MSAN₁ до MSAN₂ з урахуванням сигнального навантаження (20% від загального сигнального навантаження)

$$V_{MSAN1 \rightarrow MSAN2} = 1,591 + 0,576 + 0,2 * 0,294 = 2,226 \text{ Мбіт/с}$$

Знайдемо транспортний ресурс, який повинен бути виділений для обслуговування інформаційного навантаження від аналогових телефонних апаратів MSAN₂, а також від цифрових телефонних апаратів, що підключені до доступу PRI :

$$\begin{aligned}
 V_{MSAN2(TA)-MSAN1} &= 1,25 * 34,6[3,25(1 - 0,1) * 6,4 + 1,675 * 0,1 * 6,4] \\
 &= 1,251 \text{ Мбіт/с}
 \end{aligned}$$

Аналогічно визначимо транспортний ресурс, необхідний для передачі інформаційного навантаження для пакетних терміналів:

$$V_{MSAN2(SH)-MSAN1} = 1,25 * 2,5 * 6,4 * 8 = 160 \text{ кбіт/с} = 0,16 \text{ Мбіт/с}$$

Тоді загальний транспортний ресурс для передачі інформації від MSAN₂ і MSAN₁ з урахуванням сигнального навантаження

$$V_{MSAN2 \rightarrow MSAN1} = 1,251 + 0,160 + 0,2 * 0,206 = 1,452 \text{ Мбіт/с}$$

Тоді загальний транспортний ресурс для обслуговування навантаження між MSAN₁ і MSAN₂

$$V_{MSAN1-MSAN2} = 2,226 + 1,452 = 3,678 \text{ Мбіт/с}$$

Тоді загальний транспортний ресурс на ділянці MSAN₁-SW₁ визначається як сума:

$$V_{MSAN1-SW1} = 3,678 + 29,077 = 32,755 \text{ Мбіт/с}$$

Загальний транспортний ресурс на ділянці MSAN₂-SW₂ визначається як сума:

$$V_{MSAN2-SW2} = 3,678 + 20,818 = 24,496 \text{ Мбіт/с}$$

Оскільки функція маршрутизації закладена в комутаторах транспортної пакетної мережі, то навантаження від MGW надходить на SW₁ та SW₂, які маршрутизують повідомлення до MSAN₁ або MSAN₂, в залежності від необхідного напрямку. Тоді транспортний ресурс між комутаторами SW₁ і SW₂ складається:

$$V_{SW1-SW2} = V_{MSAN1-SW1} + V_{MSAN2-SW2} = 32,755 + 24,496 = 57,251 \text{ Мбіт/с}$$

2.7. Транспортний ресурс для передачі сигнальних повідомлень SIGTRAN

Повідомлення протоколу ОКС № 7 мережі з КК перетворюються в SGW в повідомлення протоколу SIGTRAN, який використовується для переносу повідомлень ОКС №7 при вхідних та вихідних зв'язках між сигнальним шлюзом та MGCF.

Канальний ресурс для передачі повідомлень протоколу SIGTRAN визначається з використанням методики перерахунку розмовного навантаження в навантаження ОКС №7, що використовується при проектуванні мережі загальноканальної сигналізації [15]:

$$V_{SIGTRAN} = Y_{MGW} k_{ОКС} V_{ЗС} U_{ЗС} K_{SIGTRAN}, \text{ біт/с}$$

де $k_{OKC} = 0,166 * 10^{-3}$ - коефіцієнт перерахунку місцевого телефонного навантаження у навантаження ОКС №7; $V_{3C} = 6400$ біт/с - швидкість передачі ланки сигналізації; $y_{3C} = 0,2$ Єрл -інтенсивність навантаження ланки сигналізації; $K_{SIGTRAN} = 1,3$ - коефіцієнт перерахунку навантаження ОКС №7 в навантаження протоколу SIGTRAN. При вказаних значеннях параметрів

$$V_{SIGTRAN} = 637,75 * 0,166 * 0,001 * 64000 * 0,2 * 1,3 = 1761,62 \text{ біт/с} \\ = 0,0018 \text{ Мбіт/с}$$

Загальне навантаження від/до мережі з КК, що поступає на медіашлюз

$$Y_{\text{мережі КК-MGW}} = Y_{\text{мережі КК-мережі КП}} + Y_{\text{мережі КП- мережі КК}} = 344,9 + 292,82 \\ = 637,75 \text{ Єрл}$$

Зведемо результати розрахунку транспортного ресурсу, необхідного обслуговування об'єктів проектованої мережі, у табл. 2.3

Таблиця 2.3

Транспортний ресурс необхідний для обслуговування об'єктів проектованої мережі

Об'єкт	Ресурс, Мбіт/с
MSAN ₁ -SW ₁	32,755
SW ₁ -MGW	29,077
SW ₁ -SGW	0,096
MSAN ₂ -SW ₂	24,496
SW ₂ -MGW	20,818
SW ₁ -SW ₂	57,251
SW ₂ -SGW	0,067
MSAN ₁ -MSAN ₂	3,678
SGW-MGCF	0,0018

2.8. Розрахунок продуктивності MGCF

Основним завданням MGCF (функції управління шлюзами у підсистемі IMS) є обробка сигнальної інформації обслуговування викликів і управління встановленням з'єднань.

Ємнісні параметри абонентської бази MGCF повинні дозволяти обслуговування всіх абонентів різних типів, підключення яких планується в мультисервісні вузли доступу. При цьому для обслуговування викликів можуть використовуватися різні протоколи сигналізації.

Загальна інтенсивність викликів, що поступають на MGCF від користувачів проектованої пакетної мережі.

$$C_{MGCF}^{MSAN} = C_{T\text{фоп}} \left(\sum_{i=1}^I N_{iT\text{фоп}} + \sum_{i=1}^I N_{iSH} \right) + C_{V5.2} \left(\sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K N_{ik V5.2} + 30 \sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N N_{in PBX} \right)$$

де $C_{T\text{фоп}}$ - питома (приведена до одного каналу інтерфейсу) інтенсивність викликів від абонентів, що використовують доступ по аналоговій лінії у ЧНН.

$C_{V5.2}$ - питома інтенсивність викликів від абонентів, що підключені до пакетної мережі через мережі доступу інтерфейсів V5.2

$C_{УПАТС}$ - питома інтенсивність викликів від УПАТС, підключених до пакетної мережі

C_{SH} - питома інтенсивність викликів від абонентів, що використовують термінали SIP, H.323

I - кількість MSAN, що обслуговуються MGCF

K - кількість інтерфейсів типу V5.2

N - кількість PBX

Підставив у формулу (2.4) всі дані, отримаємо продуктивність MGCF, що обслуговує користувачів пакетної мережі:

$$C_{MGCF}^{MSAN} = 5(4500 + 250 + 50 + 650) + 40(10 + 4) * 30 = 45050 \text{ викл/чнн}$$

Далі визначимо VMGCF - мінімальний корисний транспортний ресурс, за допомогою якого MGCF повинен підключатися до пакетної мережі, для обслуговування користувачів MSAN:

$$V_{MGCF} = k_{sig} [L_{MEGACO} N_{MEGACO} C_{ТфОП} N_{\Sigma ТфОП} + L_{V5UA} V_{V5UA} * C_{AN} V_{кан.АN} + L_{IUА} N_{IUА} (C_{УПАТС} V_{кан.УПАТС}) + L_{SH} N_{SH} C_{LAN} * N_{\Sigma аб.LAN} + L_{MEGACO} N_{MEGACO} (C_{ТфОП} N_{ТфОП} + C_{AN} N_{\Sigma тер.АN} + C_{УПАТС} N_{\Sigma тер.УПАТС} + C_{LAN} N_{аб.LAN})] / 450 \quad (2.5)$$

Підставив всі значення в формулу (5.5), отримаємо транспортний ресурс

$$V_{MGCF} = 5 * [(50 * 10 * 5 * 4500 + 50 * 10 * (2 * 5 * 30 * 40) + 50 * 10 * (2 * 2 * 40 * 30) + 50 * 10 * 5 * (250 + 200 + 50 + 650) + 50 * 10 * (5 * 4500 + 2 * 5 * 30 * 40 + 2 * 2 * 40 * 30 + 5 * (250 + 200 + 50 + 650))] / 450 = 440,556 \text{ кбіт/с}$$

При розрахунку продуктивності MGCF, який обслуговує MGW, використовуємо формулу:

$$C_{MGCF}^{MSAN} = \sum_i C_{iMGW} = 30 C_{E0} \sum_i V_{iE1}$$

де V_{iE1} - кількість трактів типу E1 для підключення фрагментів мережі з КК до транспортної мережі;

$C_{E0ц}$ - інтенсивність викликів, які обслуговуюються одним каналом 64 кбіт/с, викликів/ЧНН

Продуктивність MGCF для обслуговування викликів, що поступають на MGW,

$$C_{MGCF}^{MSAN} = 30 C_{E0ц} \sum_i V_{iE1} = 30 * 40 * 32 = 38400 \text{ викл/чнн}$$

Необхідна мінімальна продуктивність MGCF для обслуговування абонентів MSAN і мережі з КК

$$C_{MGCF} = C_{MGCF}^{MSAN} + C_{MGCF}^{MGW} = 45050 + 38400 = 83450 \text{ викл/чнн}$$

В табл. 2.4 зведемо результати розрахунку продуктивності MGCF.

Результати розрахунку продуктивності MGCF

Об'єкт мережі	Продуктивності MGCF C_{MGCF} , викл/чнн
C_{MGCF}^{MSAN}	45050
C_{MGCF}^{MGW}	38400
$C_{MGCF} = C_{MGCF}^{MSAN} + C_{MGCF}^{MGW}$	83450

Інтерфейси. Після визначення транспортного ресурсу підключення визначаються ємнісні показники, тобто кількість і тип інтерфейсів, якими обладнання шлюзу доступу підключатиметься до пакетної мережі. Кількість інтерфейсів, крім транспортного ресурсу, визначатиметься також з топології мережі.

Кількість та тип інтерфейсів підключення транзитного шлюзу до пакетної мережі визначається транспортними ресурсами шлюзу та топологією пакетної мережі.

Будемо використовувати для підключення пристроїв до транспортної пакетної мережі стандартні інтерфейси, ємнісні параметри яких перевищують параметри транспортних потоків.

Кожен об'єкт з метою резервування підключається з резервним інтерфейсом схемою резервування 1:1 (тобто якщо обслуговування потоку необхідний один інтерфейс, то в ємнісних параметрах закладається два інтерфейсу).

Ґрунтуючись на параметрах транспортних потоків, визначимо ємнісні параметри (табл. 2.5).

Таблиця 2.5.

Ємнісні параметри підключення

Ділянка мережі	Необхідний транспортний ресурс, Мбіт/с	Інтерфейси
MSAN1-SW1	32,755	2×100Base-FX
SW1-MGW	29,077	2×100Base-FX
MSAN2-SW2	24,496	2×100Base-FX
SW2-MGW	20,818	2×100Base-FX
SW1-SW2	57,251	2×100Base-FX

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

У цьому розділі було проведено розрахунок транспортного ресурсу мультисервісної мережі зв'язку, а саме:

- Розрахунок транспортного ресурсу мультисервісних вузлів доступу
- Розрахунок транспортного ресурсу між фрагментом мережі з КК та MSAN₁
- Розрахунок транспортного ресурсу між фрагментом мережі з КК та MSAN₂
- Розрахунок транспортного ресурсу для зв'язку MSAN із ЗУС та УСС
- Розрахунок транспортного ресурсу для передачі сигнальних повідомлень
- Розрахунок транспортного ресурсу між MSAN
- Розрахунок транспортного ресурсу для передачі сигнальних повідомлень SIGTRAN
- Розрахунок продуктивності MGCF

Також у розділі ґрунтуючись на параметрах транспортних потоків, було визначено ємнісні параметри мережі для подальшого розрахунку обсягу обладнання.

РОЗДІЛ 3

МУЛЬТИСЕРВІСНА ПЛАТФОРМА ДОСТУПУ iTN8600

3.1. Технічні дані мультисервісної платформи доступу iTN8600

Для побудови проектованої мультисервісної оптичної транспортної мережі використовувалося компактне рішення фірми Raisecom ITN8600 на базі платформи MS-OTN.

ITN8600 є компактним рішенням на базі платформи OTN та підтримує роботу з SDH, Ethernet та OTU, а також іншими сервісами зі швидкістю від 2 Мбіт/с до 10Гбіт/с. Для сервісів OTN, SDH та Ethernet ITN8600 пропонує безліч варіантів для збільшення продуктивності та забезпечення надійності мережі. Функції MPLS-TP OAM, 802.1ag / Y.1731 / SLA OAM 802.3ah OAM дозволяють ITN8600 здійснювати пошук, діагностику та усунення несправностей у мережі. ITN8600 може працювати як у топології "Точка-точка", так і в топології "Кільце". мереж, і при розгортанні мереж спектрального ущільнення CWDM/DWDM. Управління обладнанням можна здійснювати за допомогою графічної програми мережевого керування та моніторингу Raisecom NView NNM.[16]

Таблиця 3.1.

Технічні дані мультисервісної платформи доступу iTN8600

Розподіл слотів	Слоти 1-2 для NMS ; Слоти 3-8 для сервісних карт; Слоти 9-10 для блоків живлення; Слот 11 для модуля з вентилятором
Пропускна здатність крос-з'єднання	40 G на ODU 0, ODU 1; 20 G на VC 4 або 10 G на VC 3/12
Ємність	До 4 x OTU 2/ OTU 2 e інтерфейсів; до 32 x FE / GE портів або до 8 x 10 GE портів; до 8 x STM 16 інтерфейсів та до 16 x STM 1/4 інтерфейсів; До 64 x EOS інтерфейсу (FE / GE порт)

Ethernet	До 32к MAC; IEEE802.1q VLAN, IEEE802.1 ad QinQ та flexible QinQ . 1:1 / N:1 Vlan translation; EPL, EVPL, EPLAN та EVPLAN; interface protection та port monitoring
MPLS-TP	Static LSP, L2VPN та VPLS; до 4к LSP/PW та 512 LSP/PW protection; PW 1:1 protection;MPLS-TP OAM; MPLS-TP LSP 1:1 protection; MPLS-TP QoS
Ethernet OAM	IEEE 802.3ah EFM-OAM; IEEE 802.1ag; ITU-T Y.1731
Синхронізація	2Мбіт/Гц зовнішня синхронізація; Підтримка протоколу SSM ; SDH внутрішня/лінійна синхронізація
Надійність	Резервування NMS/PSU карток ; захист 1+1; LAG; SNCP на VC4 або VC12/VC3; 1+1 MSP та 1+1 LPP захист ; Ethernet G.8031/G.8032 захист ; T-MPLS лінійний захист (G.8131)
Захист	Storm control(broadcast, multicast та DLF); ACL на основі VLAN та IP
Функції управління	Telnet/CLI/SNMP(v1/v2/v3); SFP digital diagnostic management (DDM); In-band network management; Моніторинг блоку живлення / модуля вентилятора ; Локальне управління через консоль

3.2. Огляд функціоналу шасі та вибір обладнання Raisecom

Шасі використовується для встановлення різних модулів, таких як медіако-нвертери, мультиплексори E1, модеми та ін. Устаткування має різний форм-фак-

тор, габарити, а також робочу напругу електроживлення. Окремо виділяють підтримку резервування електроживлення, що дозволяє підключити телекомунікаційне обладнання одразу до кількох джерел електропостачання.

Можна класифікувати шасі за декількома характеристиками.

1. За типом живлення:

- AC – живлення від мережі змінного струму з напругою 220В;
- DC – живлення від мережі постійного струму з напругою 48В;
- WP - підтримують обидва вищенаведені типи живлення.

Крім того, варто відзначити можливість резервування за рахунок другого блоку живлення на деяких моделях, що додатково підвищує стабільність роботи телекомунікаційного обладнання.

2. За керованістю:

- шасі з вбудованою платою управління, що дозволяє здійснювати діагностику та конфігурацію встановленого обладнання через консольний або SNMP порт, RC001-1M;
- некеровані шасі RC001-1;
- шасі з можливістю встановлення плати керування RC002-16.

Зазвичай шасі із платою управління встановлюється на станційній стороні (на вузлі зв'язку). При цьому на стороні клієнта - некероване шасі. В обидва шасі встановлюються модулі, які з'єднуються один з одним і утворюють лінк. У такій конфігурації оператор може налаштовувати керовані модулі як на станційній, так і на стороні клієнта.

3. За кількістю слотів для встановлення модулів:

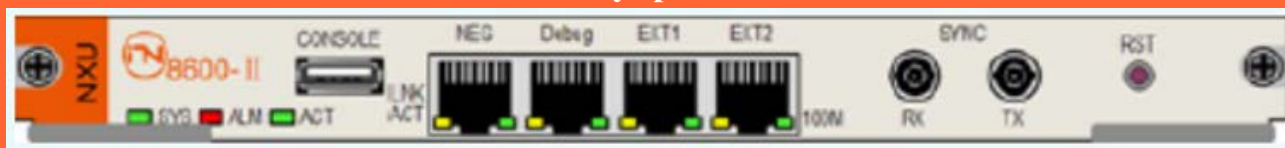
- однослотові шасі (RC001-1 або шасі для встановлення плат типу LFE RC001-1D)
- двослотові (RC001-2D, RC001-2M)
- чотирислотові (RC002-4)
- шістнадцятислотових RC002-16.[17]

Специфікація мультисервісної платформи доступу iTN8600

Пропускна здатність	120G
Шасі ITN8000-II	
Розміри	444мм*220мм*88,1мм
Вага	3,45Кг
живлення	-40В ~ -47В DC 90-264В AC
Споживана потужність	320Вт при максимальною навантаженні
Робоча температура навколишнього середовища	0 ~ 45 С Вологість від 10% до 90% (без конденсації)
Плата керування ITN 8600- II - NXU	
Консольний інтерфейс	1 x mini USB
Віддалений інтерфейс управління	1 x RJ45 інтерфейс
Інтерфейс зовнішньої синхронізації	2 x ССЗ
Вага	0,76Кг
Споживана потужність	48,2Вт при максимальною навантаженні
Розміри	193,8 мм*208 мм*19,8 мм
Робоча температура навколишнього середовища	0 ~ 45 С Вологість від 10% до 90% (без конденсації)
Стандарти та протоколи	ITU-T G.703; ITU-T G.704; ITU-T G.706; ITU-T G.707; ITU-T G.823; ITU-T G.957; ITU-T G.709; ITU-T G.8251; ITU-T G.959.1; ITU-T G.825; ITU-T G.783; IEEE802.1Q; IEEE802.1ad; IEEE802.1ag; IEEE802.3ad; IEEE802.3ah; IEEE Y.1731; ITU-T G.8031; ITU-T G.8032; ITU-T G.8131

Специфікація плат платформи iTN8600

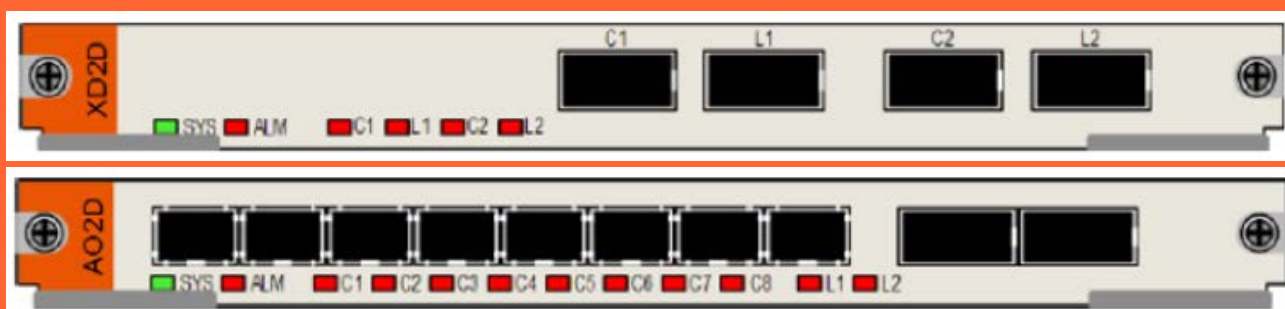
Плата управління



iTN8600-II-NXU

Плата управління всією системою, підтримка SNMP / Console / Telnet

Плати OTN



iTN8600-AO2D

Конвертація будь-яких сервісів в OTN , 8 x інтерфейсів доступу та 2 x OTU 2 uplink інтерфейсу. Підтримує 8 способів агрегації сервісів.

iTN8600-XD2D

10 GE сервіси в OTN ,підтримка конвертації 2 x STM - 64/10 GELAN / 10 GE WAN сервісів у 2 x OTU 2/ OTU 2 e

Плати PTN



iTN8600-PX2





Карта агрегації ETN , підтримка 2x10 GE інтерфейсів, Підтримка 2 x 10 GE групових сервісів

Плати SDH



iTN8600-SH2

Блок SDH агрегації, що зв'язує 2 x STM 16 uplink інтерфейс з SFP інтерфейс. Карта може бути встановлена в слот 7 та 8. Підтримка до 20 G VC 4 та до 10 G VC 12/ VC 3.

Оптичні плати	
	
	
	
	
ITN8600-DAD1D	
DWDM двоволоконна двонаправлена оптична add - drop карта	
ITN8600-OTU5	
Транспондер на 5 сервісів з підтримкою швидкостей від 0.614 до 11.1 Гбіт/с на інтерфейсах	
ITN8600-OPA/ITN8600-OBA	
Optical Amplifier Unit (OAU) OPA - optical preamplifier 15 dBm (gain 25 dB) OBA - optical booster 17 dBm (gain 20 dB)	

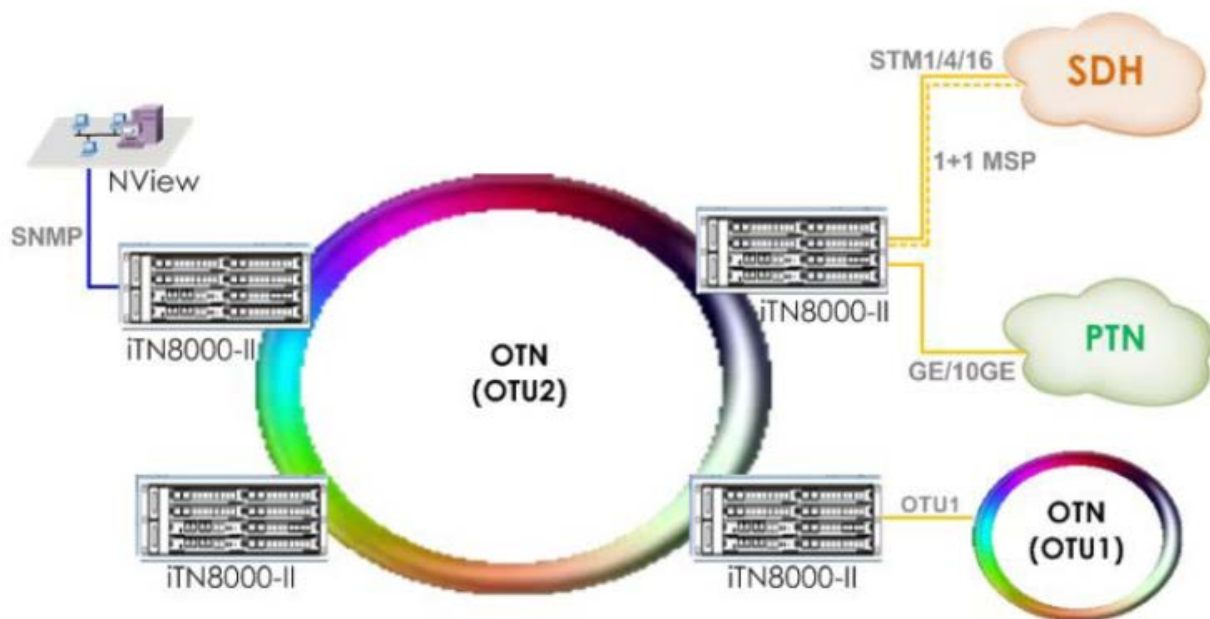
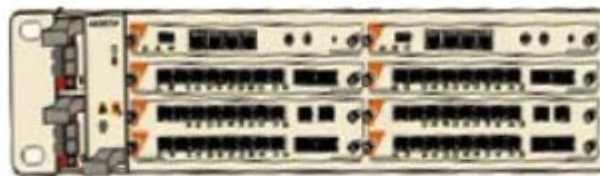


Рис. 3.1. Схема проєктованої мультисервісної мережі на базі платформи MS-OTN.



ITN8000-II-DC



ITN8600-II-NXU

Рис. 3.2. Зовнішній вигляд мультисервісної платформи доступу іТN8600

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

У цьому розділі було розглянуто технічні дані мультисервісної платформи доступу іТN8600.

ІТN8600 є компактним рішенням на базі платформи OTN та підтримує роботу з SDH, Ethernet та OTU, а також іншими сервісами зі швидкістю від 2 Мбіт/с до 10Гбіт/с. Для сервісів OTN, SDH та Ethernet ІТN8600 пропонує безліч варіантів для збільшення продуктивності та забезпечення надійності мережі. Функції MPLS-TP OAM, 802.1ag / Y.1731 / SLA OAM 802.3ah OAM дозволяють ІТN8600 здійснювати пошук, діагностику та усунення несправностей у мережі.

Також було проведено огляд функціоналу шасі та вибір обладнання Raisecom, було представлено специфікація плат платформи іТN8600 та розглянута схема проєктованої мультисервісної мережі на базі платформи MS-OTN.

ВИСНОВКИ

Можливість комбінувати пристрої SDH/SONET з інфраструктурою OTN є одним з основних аргументів для постачальника послуг, оскільки компанія, як і раніше, вкладає значні кошти в обладнання SDH/SONET, яке більше не оновлюється та більше не розвивається як стандарт оптичного транспорту. Коли протягом найближчих кількох років старі пристрої поступово досягнуть кінця свого терміну служби, провайдер планує повністю замінити стару інфраструктуру SDH/SONET на OTN. Таким чином, цей постачальник послуг переконаний, що OTN - це майбутнє оптичних мереж.

Застосування MS-OTN пропонує безліч передових функцій та можливостей для підвищення продуктивності:

- Зниження транспортних витрат.
- Ефективне використання оптичного спектра
- детермінізм
- Віртуалізована мережева робота
- Гнучкість мережевої архітектури, дизайну та продуктивності.
- Внутрішня безпека
- Надійна та нескладна робота.

Рішення OTN пропонують найбільш економічну та оптимізовану мережу для передачі даних у корпоративних додатках. За допомогою рішень MS-OTN компанії можуть гнучко та безпосередньо передавати протоколи Ethernet та центру обробки даних через інтелектуальне ядро OTN за допомогою тунелювання, тим самим скорочуючи свої інвестиції у маршрутизацію. - Оптимально використовуйте інтерфейси, зменшіть кількість стрибків маршрутизатора та мінімізуйте затримку. MS-OTN також забезпечує передачу орієнтованого на з'єднання Ethernet і, таким чином, забезпечує узгоджену передачу даних з високою пропускну здатністю та малою затримкою.

Заснований на ключових функціях, таких як програмування та автоматичне управління, модернізація до технології оптичних мереж OTN забезпечує рентабельне

впровадження та використання мереж, які завдяки своїй масштабованості та гнучкості ідеально підходять як універсальна основа для корпоративних мереж майбутнього.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 https://media.ciena.com/documents/Ciena+Experts+Guide+to+OTN_de_DE.pdf
- 2 <https://www.ciena.com/insights/articles/optical-network-expert-series-a-guide-to-improving-future-network-economics-with-near-zero-margin-networking.html>
<https://www.ciena.com/insights/what-is/What-is-Optical-Transport-Networking-OTN.html>
- 3 <https://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com15/otn/OTNtutorial.pdf>
- 4 https://www.academia.edu/15345340/OTN_Tutorial
- 5 Franck Chevalier, John Krzywicki, Mike Pearson, “Optical transport network (OTN) and/or multi-protocol label switching (MPLS),” pp. 79-102. Kluwer Publishers, 2017
- 6 Yang, T., Gao, J., Wang, H., Dai, G., Zhai, R. Research on the Remote Deployment Design of OTN Electrical Racks. In: , *et al.* Cyber Security. CNCERT 2020. Communications in Computer and Information Science, vol 1299. Springer, Singapore.
- 7 Jane M. Simmons. Optical Network Design and Planning (Optical Networks) 2nd Edition, Kindle Edition, 2019
- 8 Neophytos (Neo) Antoniadis, Georgios Ellinas, Ioannis Roudas. WDM Systems and Networks: Modeling, Simulation, Design and Engineering (Optical Networks Book 1). 2018
- 9 J. Commellas, R. Martinez, J. Prat, V. Sales, and G. Junyet, “Integrated IP/WDM routing in GMPLS-based optical networks,” *IEEE Network*, vol. 3/4, pp. 22-27, 2003.
- 10 W. D. Grover, Mesh-Based Survivable Networks. Option and Strategies for Optical, MPLS, SONET and ATM Networking. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall PTR, 2004.
- 11 M. C. Sinclair, “Evolutionary algorithms for optical network design: A genetic algorithm/heuristic hybrid approach,” Ph.D. Thesis, University of Essex, 2001.
- 12 L. Sahasrabudde, S. Ramamurthy, and B. Mukherjee, “Fault management in IP over WDM networks: WDM protection vs. IP restoration,” *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 1, pp. 21-33, 2002.
- 13 <http://www.siptutorial.net/SIP/>

- 14 https://www.itu.int/ITU-D/tech/events/2009/RDF_AFR/Presentations/Session5/RDF09_AFR_Presentation_NGospic_1.pdf
- 15 <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2202/2202.01690.pdf>
- 16 <https://www.raisecom.com/index>
- 17 https://capgemini-engineering.com/as-content/uploads/sites/4/2020/08/16731_altran_otn_wp_01_q3fy18_new.pdf