

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ,  
ЕЛЕКТРОНИКИ 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:** «Оптична мережа підприємства з архітектурою Deep Fiber»

**Виконавець:** \_\_\_\_\_ Євгеній ОЛІЙНИК  
(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

Євгенія Олексійовича Олійника

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

1. Тема дипломної (кваліфікаційної) роботи: «Оптична мережа підприємства з архітектурою Deep Fiber»

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: Технічні характеристики кабелю ТКО ARM SM 2F \_\_\_\_\_

4. Зміст пояснювальної записки: Вступ, Стратегії розгортання мереж FIBER DEEP HFC, Розрахунок характеристик системи підприємства, Висновки

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: Мережа HFC, Мережа HFC с CWDM, HFC з оптоволоконном DWDM углиб, Стандарти ITU-T, Розподіл спектру DWDM та CWDM, Зростання низхідного потоку з кількома рівнями обслуговування, Результати моделі пропускної здатності мережі, Результати моделі пропускної спроможності мережі, Топологія зони Node C, Зона вузла C, реконфігурована як Fiber Deep N+0, Область вузла C, реалізована як FTTLA у стилі DNA, Порівняння

витрат: на основі реалізації та успіху, Використання технології Full Spectrum Multi-wave у мультиплексах Cisco GS 7000, Одне волокно P2MP для кластера вузлів живлення DMX, Вузол HFC з EDFA, Загальна схема побудови кабельної системи HFC за архітектурою FD, Архітектура побудови кабельної системи за допомогою FD

#### 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	СТРАТЕГІЇ РОЗГОРТАННЯ МЕРЕЖ FIBER DEEP HFC	26.05.2022-29.05.2022	Виконано
4	РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ ПІДПРИЄМСТВА	30.05.2022-02.06.2022	Виконано
5	ВИСНОВКИ	03.06.2022-08.06.2022	Виконано
6	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)

Євгеній ОЛІЙНИК

(П.І.Б.)

## РЕФЕРАТ

Дипломна (кваліфікаційна) робота «Оптична мережа підприємства з архітектурою Deep Fiber» містить 58 сторінок, 22 рисунків, 5 таблиці, 12 використаних джерел.

D3.1, DOCSIS, DWDM, FTTC, FTTH, FTTLA, FTTP, FTTH, HFC, N+0, PNY.

Об'єкт дослідження – це мережа підприємства, яку треба модернізувати.

Предмет дослідження – є архітектура Fiber Deep, за допомогою якої проводиться модернізація мережі підприємства.

Мета дипломної (кваліфікаційної) роботи полягає у модернізації мережі підприємства з використанням архітектури Fiber Deep, а також розрахунку характеристик системи HFC.

Матеріали дипломної роботи рекомендується використовувати на мережах системних операторів (MSO), для подальшої модернізації гібридних волоконно-коаксіальних (HFC) мереж, реалізації ініціативи «Fiber Deep» для створення архітектури Node+0.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ .....	7
ВСТУП .....	12
РОЗДІЛ 1. СТРАТЕГІЇ РОЗГОРТАННЯ МЕРЕЖ FIBER DEEP NFC .....	15
1.1. Архітектури Fiber Deep та Node+0 .....	15
1.2. Стандарти та визначення CWDM та DWDM .....	17
1.3. Пропускна спроможність мережі – планування на наступне десятиліття .....	21
1.4. Приклад мережі доступу .....	25
1.5. Варіанти оновлення мережі доступу: вплив витрат .....	31
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ ПІДПРИЄМСТВА ....	37
2.1. Визначення швидкості передачі .....	37
2.2. Розрахунок передавальних характеристик оптичного волокна .....	39
2.3. Розрахунок енергетичного запасу системи .....	44
2.4. Визначення швидкодії системи .....	46
2.5. Розрахунок надійності системи підприємства .....	47
2.6. Схема проєктованої мережі підприємства .....	49
ВИСНОВКИ .....	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	56

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ABR	Adaptive Bit Rate	Адаптивна швидкість передачі даних
ASC	Active Splitter-Combiner	Активний спліттер-комбайнер
BAU	Business as Usual	Звичайний бізнес
Bcast	Broadcast	Трансляція
Bps	Bits Per Second	Біт в секунду
CAA	Centralized Access Architecture	Архітектура централізованого доступу
CAGR	Compounded Annual Growth Rate	Зведений річний темп зростання
CAPEX	Capital Expense	Капітальні витрати
CCAP	Converged Cable Access Platform	Платформа конвергентного кабельного доступу
CM	Cable Modem	Кабельний модем
CMTS	Cable Modem Termination System	Система термінації кабельного модему
CPE	Consumer Premise Equipment	Споживче обладнання
D3.1	Data Over Cable Service Interface Specification 3.1	Специфікація інтерфейсу передачі даних через кабель 3.1
DAA	Distributed Access Architecture	Архітектура розподіленого доступу
DCA	Distributed CCAP Architecture	Розподілена архітектура CCAP
DEPI	Downstream External PHY Interface	Вихідний зовнішній РНУ інтерфейс
DNA	Distributed Node Architecture	Архітектура розподіленого вузла
DOCSIS	Data Over Cable Service Interface Specification	Специфікація інтерфейсу передачі даних через кабель
DS	Downstream	низхідний потік
DWDM	Dense Wave Division Multiplexing	Мультиплексування з поділом щільних хвиль
E2E	End to end	З кінця в кінець

EPON	Ethernet Passive Optical Network (aka GE-PON)	Пасивна оптична мережа Ethernet (вона же GE-PON)
EQAM	Edge Quadrature Amplitude Modulator	Крайовий квадратурний амплітудний модулятор
FD	Fiber Deep	Fiber Deep
FDX	Full Duplex (i.e. DOCSIS)	Повний дуплекс (тобто DOCSIS)
FEC	Forward error correction	Пряме виправлення помилок
FTTC	Fiber to the Curb	Волокно до бордюру
FTTH	Fiber to the Home	Волокно до дому
FTTLA	Fiber to the Last Active	Волокно до останнього активного
FTTP	Fiber to the Premise	Волокно до приміщення
FTTT	Fiber to the Tap	Волокно до відгалужувача
FTTx	Fiber to the 'x' where 'x' can be any of the above	Волокно до 'x', де 'x' може бути будь-яким із зазначених вище
Gbps	Gigabits Per Second	Гігабіт в секунду
GHz	Gigahertz	гігагерц
GPON	Gigabit-Passive Optical Network	Гігабітно-пасивна оптична мережа
HFC	Hybrid Fiber-Coax	Гібридне волокно-коаксіальний кабель
HP	Homes Passed	Будинки пройдено
HPON	Hybrid Passive Optical Network	Гібридна пасивна оптична мережа
HSD	High Speed Data	Високошвидкісні дані
I-CCAP	Integrated Converged Cable Access Platform	Інтегрована платформа конвергентного кабельного доступу
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	Інститут інженерів електротехніки та електроніки
IEQ	Integrated Edge QAM	Інтегрований Edge QAM
LDPC	Low Density Parity Check Code	Перевірка коду FEC з низькою щільністю
MAC	Media Access Control interface	Інтерфейс керування доступом до медіа

MACPHY	DCA instantiation that places both MAC & PHY in the Node	Примірник DCA, який розміщує MAC і PHY у Node
Mbps	Mega Bits Per Second	Мегабіти в секунду
MDU	Multiple Dwelling Unit	Багатоквартирна житлова структура середньої висотності
MHz	Megahertz	мегагерц
MSO	Multiple System Operator	Мультисервісний оператор
N+0	Node+0 actives	Вузол+0 активів
Ncast	Narrowcast	Вузьконаправлена передача
NFV	Network Function Virtualization	Віртуалізація мережевих функцій
NPV	Net Present Value	Чиста приведена вартість
NSI	Network Side Interface	Мережевий інтерфейс
OBI	Optical Beat Interference	Інтерференція оптичних ударів
ODN	Optical Distribution Network	Оптична розподільна мережа
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing	Мультиплексування з ортогональним частотним поділом
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access (Upstream)	Доступ мультиплексування з ортогональним частотним поділом (вихідний)
OLT	Optical Line Termination	Завершення оптичної лінії
ONU	Optical Network Unit	Блок оптичної мережі
OOB	Out of Band	Поза смугою
OPEX	Operating Expense	Операційні витрати
OTT	Over the Top	Поверх
PHY	Physical interface	Фізичний інтерфейс
PNM	Proactive Network Maintenance	Проактивне обслуговування мережі
PON	Passive Optical Network	Пасивна оптична мережа
QAM	Quadrature Amplitude Modulation	Квадратурна амплітудна модуляція
QoE	Quality of Experience	Якість досвіду
QoS	Quality of Service	Якість обслуговування



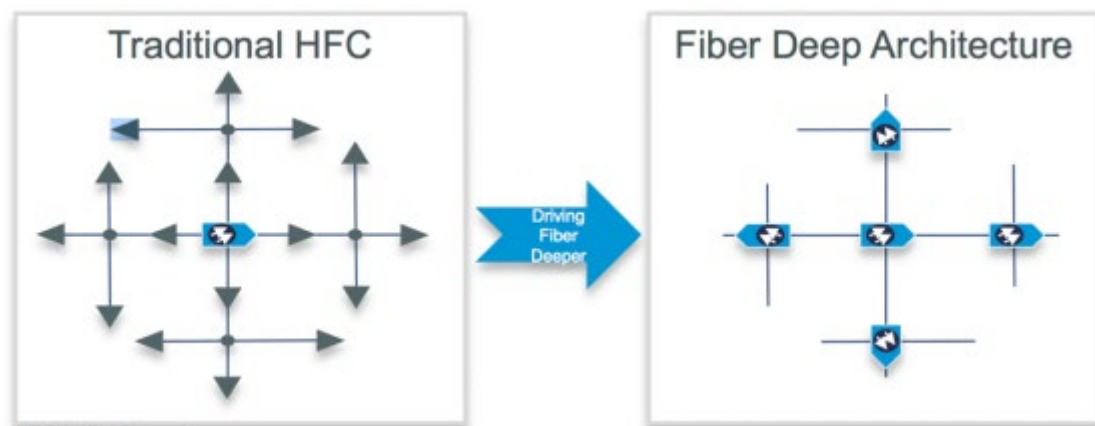
RF	Radio frequency	Радіочастота
RFoG	RF Over Glass	RF поверх скла
ROI	Return on Investment	Прибуток на інвестиції
R-OLT	Remote OLT	Віддалений OLT
RPD	Remote PHY Device	Віддалений PHY пристрій
R-MACPHY	Remote MAC-PHY	Віддалений MAC-PHY
R-PHY	Remote PHY	Віддалений PHY
RX	Receive	Прийом
SDN	Software Defined Network	Програмно визначена мережа
SG	Service Group	Сервісна група
SCTE	Society of Cable Telecommunications Engineers	Товариство інженерів кабельного зв'язку
SNR	Signal to Noise Ratio	Співвідношення сигнал/шум
TaFDM	Time and Frequency Division Multiplexing	Мультиплексування з поділом часу та частоти
Tavg	Average bandwidth per subscriber	Середня пропускна здатність на одного абонента
TCO	Total Cost of Operation	Загальна вартість експлуатації
Tmax	Maximum Sustained Traffic Rate – DOCSIS Service Flowparameter	Максимальна стійка швидкість трафіку – параметр потоку служби DOCSIS
TX	Transmit	Передача
UHD	Ultra High Definition	Надвисока роздільна здатність
US	Upstream	Висхідний потік
VOD	Video on demand	Відео на замовлення
WDM	Wavelength Division Multiplexing	Мультиплексування з поділом довжини хвилі
OSP Labor	Праця OSP (зовнішня кабельна система)	
OSP Materials	Матеріали OSP (зовнішня кабельна система)	

OSP	Обладнання OSP (зовнішня кабельна система)
Equipment	
Facility	Робота на об'єкті
Labor	
Facility	Обладнання об'єкту
Equipment	
Drop Labor	Відгалуження праця
Drop	Відгалуження матеріали
Materials	
In-home	Робота у будинку
Labor	
In-home	Обладнання в будинку
Equipment	

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Останнім часом постачальники послуг на ринку доступу дедалі частіше говорять про перехід своїх підприємств до архітектури Fiber Deep (FD). Хоча тенденція до прокладання оптоволокна у кабельній системі і скорочення каскадів RF-підсилювачів не є новою, сьогоднішні обговорення здаються провісниками набагато більш значних змін у розподільчих мережах. Зміни стосуються не тільки фізичного обладнання, а й змін як в управлінні, так і в повсякденній роботі доступу. Але що таке Fiber Deep та які зміни вона має на увазі?

Щоб оцінити значення Fiber Deep, корисно зрозуміти кілька речей. По-перше, нам потрібно описати фізичні зміни у системі доступу та їх вплив як на оператора, так і на його клієнтів. Потім нам потрібно визначити ті операційні зміни, які призводять до очікуваних покращень кабельної системи, обслуговування та усунення несправностей у майбутньому. Нарешті, нам потрібно звернути увагу на екосистему послуг та доставки додатків, яка допомагає постачальнику послуг орієнтуватися у варіантах, щоб отримати вигоду з переваг Fiber Deep та краще кількісно оцінити окупність інвестицій[12].



На самому базовому фізичному рівні архітектури FD переміщують оптичний вузол (точку перетворення оптики на електричну) глибше в мережу та ближче до абонента. Часто також називається архітектурою  $N + 0$  (для вузла  $+ 0$ ), розташування вузла FD усуває каскади RF-підсилювачів традиційного HFC за межами підприємства. Варто відрізнити її від архітектури Fiber to the Last Active (FTLA), де кінцевий

підсилювач у кожному каскаді просто замінюється вузлом. Проекти FD розміщують вузли в місцях, вибраних для вирівнювання кількості абонентів, що обслуговуються, і зведення до мінімуму переривання оновлень. Таким чином, оптимізується кількість нових вузлів та ефективність підприємства (з точки зору розміру групи відмов, потужності та обладнання, що недостатньо використовується)[12].

Деякі переваги архітектури FD очевидні: потенційне скорочення виробничих потужностей на 60% та уніфікація апаратних засобів, що знижують витрати на технічне обслуговування та підвищують надійність. Зміни, як і раніше, дозволяють виїзному фахівцю використовувати знайомі інструменти та методи HFC. З погляду експлуатації невеликі групи послуг (SG) збільшуються для абонентської ємності і вивільняють спектр надання нових чи додаткових послуг. Ця менша група обслуговування у поєднанні з більш короткими RF-каскадами зменшує шум в обох напрямках, покращуючи MER у низхідному напрямку (для підвищення ефективності модуляції більш високого порядку) та зменшуючи нагнітання шуму у зворотному напрямку об'єкта. Але топологія FD також розширює можливості гнучкого зростання. Необхідно оптимальне розташування для агрегації та поділу сигналів, закладаючи основу для розгортання Remote PHY або FTTx[12].

Кабельна система з глибоким оптоволоконним підключенням FD - це лише один крок у загальному переході до архітектури доступу. Оскільки оператори прагнуть динамічно налаштовувати служби та розгортати програми, критично важливими стають надійні та прості в експлуатації мережі. Для кінцевих клієнтів програми на вимогу та швидке виконання визначають їхню сприйману якість досвіду. У поєднанні з покращеннями в організації мережі, що забезпечують динамічне налаштування, покращену модуляцію та незалежні від пристроїв та протоколів розгортання, FD забезпечує сходинку до надійного та гнучкого каналу, необхідного для конкурентного успіху.

**Мета роботи полягає** у модернізації мережі підприємства з використанням архітектури Fiber Deep, а також розрахунку характеристик системи HFC.

**Об'єкт дослідження** – це мережа підприємства, яку треба модернізувати.

**Предмет дослідження** – є архітектура Fiber Deep, за допомогою якої проводиться модернізація мережі підприємства.

**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 системних операторів (MSO), для подальшої модернізації гібридних волоконно-коаксіальних (HFC) мереж, реалізації ініціативи «Fiber Deep» для створення архітектури Node+0.

**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

## СТРАТЕГІЇ РОЗГОРТАННЯ МЕРЕЖ FIBER DEEP HFC

### 1.1. Архітектури Fiber Deep та Node+0

Щоб випереджати попит на широкосмугові можливості та виконувати обіцянки нових послуг та програм, кілька системних операторів (MSO) розвивають свої гібридні волоконно-коаксіальні (HFC) мережі. Такі архітектури, як Remote PHY та DOCSIS 3.1, залежать від пропускної спроможності оптоволокна в глибині мережі кабельного телебачення. Ось чому багато операторів реалізують ініціативи «Fiber Deep» для створення архітектури Node+0.

У багатьох випадках багатохвильова архітектура, така як грубе мультиплексування з поділом за довжиною хвилі (CWDM) і щільне мультиплексування з поділом за довжиною хвилі (DWDM), може забезпечити найкраще співвідношення ціни та якості, поряд із змінами та проблемами в кабельній інфраструктурі.

Оператори кабельного телебачення розгортали оптоволокно з початку до середини 90-х років. Мережі HFC традиційно проектувалися з використанням однієї або двох довжин хвиль (1310 і 1550 нм), при цьому оптоволокно доставлялося (або «подавалося») до вузла, а потім коаксіальний кабель використовувався для «розподілу» радіочастотного сигналу клієнту. Позначено як «фідер» та «розподіл» на рисунку 1.1.

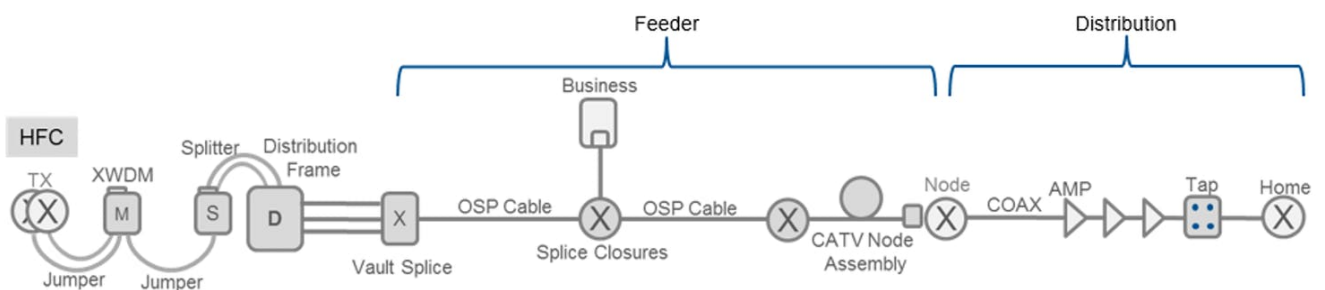


Рис. 1.1. Мережа HFC

У цій конфігурації мережі фідерні волокна використовуються для обслуговування вузлів, а підприємствам надається виділене волокно — вирашний підхід, поки

у операторів не закінчилися волокна. Щоб протистояти цьому виснаженню волокон, оператори почали розгортати CWDM надання послуг довжини хвилі підприємствам. Ця мережа була накладена на існуючу інфраструктуру та показана на рис. 1.2.

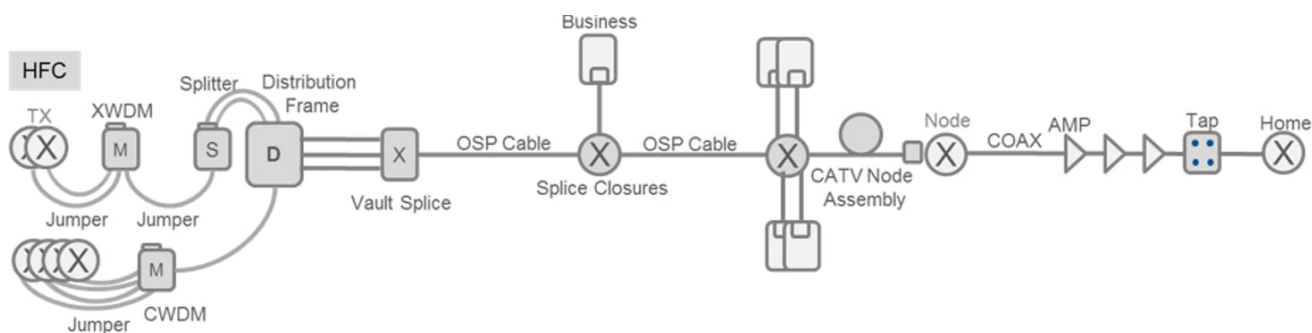


Рис. 1.2. Мережа HFC с CWDM

Сьогодні оператори впроваджують оптоволокну для архітектури Node+0. Знову ж таки, кількість волокон у фідерній частині мережі була вичерпана, але цього разу оператори звернулися до DWDM, щоб доставити волокно глибше або ближче до клієнта. Довжини хвиль DWDM доставляють до «батьківського» вузла, а потім розподіляються вглиб мережі до «дочірнього» вузла. У багатьох випадках ця мережа накладається поверх існуючої інфраструктури, що обумовлено бажанням повторно використовувати якнайбільше фідерних волокон і додати новий кабель до дочірніх вузлів (див. рис. 1.3.).

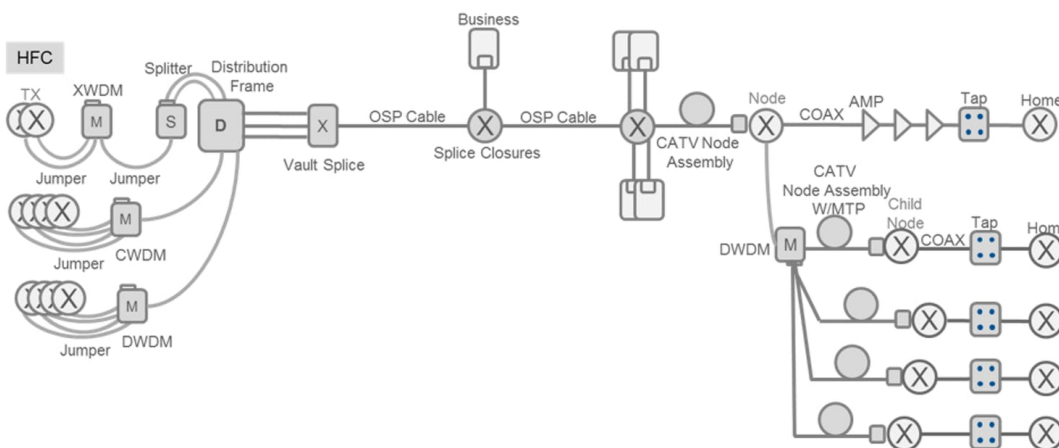


Рис. 1.3. HFC з оптоволоконном DWDM углиб

Перехід від дуплексорів/триплексорів (1-2 довжини хвилі) та CWDM (16-18 довжин хвиль) до DWDM (більше 40 довжин хвиль) призведе до змін у мережних кабелях та компонентах. Щоб краще зрозуміти, що ці зміни можуть принести мережу, необхідно заглибитися в стандарти CWDM і DWDM.

## 1.2. Стандарти та визначення CWDM та DWDM

Міжнародний союз електрозв'язку (МСЕ) є органом стандартизації, який надає рекомендації для CWDM і DWDM. Один із трьох його підрозділів, Сектор стандартизації електрозв'язку МСЕ (МСЕ-Т), координує стандарти для електрозв'язку. рис. 1.4. де показані деякі стандарти ІТУ-Т для мережі НФС.

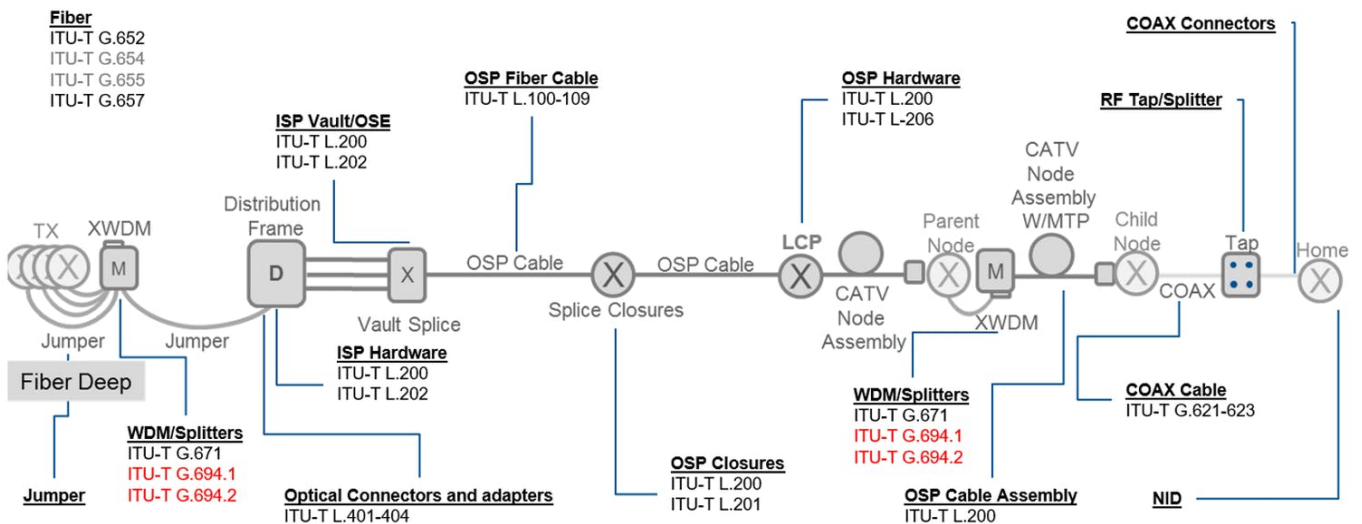


Рис. 1.4. Стандарти ІТУ-Т

Першими областями, що визначає ІТУ-Т, є робочі діапазони, в яких розгорнуті CWDM та DWDM. Діапазони визначаються як О-діапазон (вихідний), Е-діапазон (розширений), S-діапазон (короткий), С-діапазон (звичайний) та L-діапазон (довгий).

Передача по одномодовому волокну почалася О-діапазоні і була розроблена для використання переваг передачі по оптоволокну на довжині хвилі 1310 нм.

Щоб скористатися нижчими втратами на довжині хвилі 1550 нм, було розроблено волокно С-діапазону. У міру того, як лінії зв'язку ставали довгими і замість ре-



трансляторів оптоелектроніка-оптія стали використовуватися оптоволоконні підсилювачі, С-діапазон став більш важливим. Із використанням систем DWDM використання цього діапазону розширилося. Розробка нових оптоволоконних підсилювачів тривала для розширення DWDM до L-діапазону.

Рисунок 1.5. ілюструє ці смуги. Як зразок використовується повний електромагнітний (ЕМ) спектр.

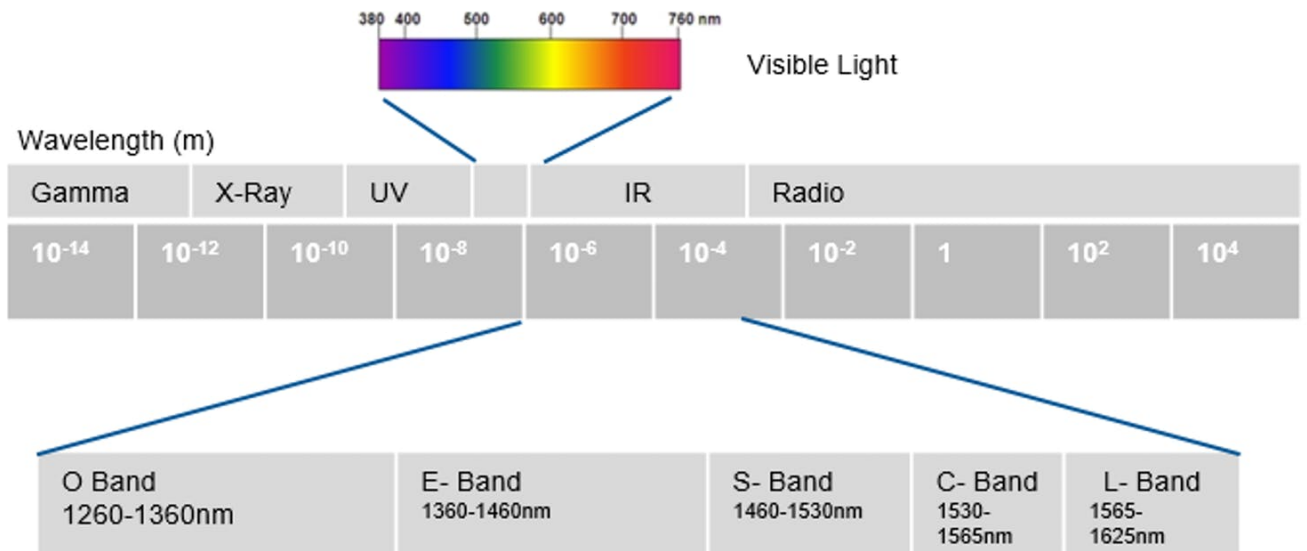
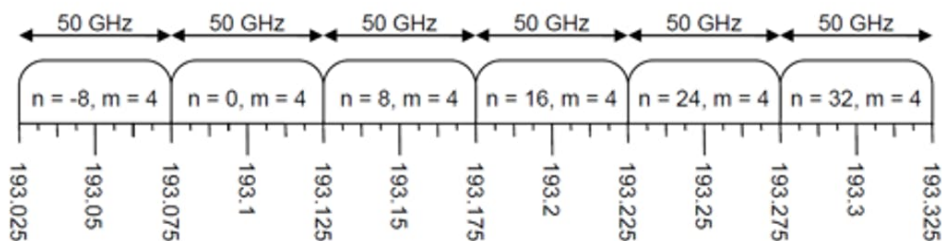


Рис. 1.5. Робочі діапазони довжин хвиль ІТУ-Т

Nominal central frequencies (THz) for spacings of:				Approximate nominal central wavelengths (nm) (Note)
12.5 GHz	25 GHz	50 GHz	100 GHz and above	
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
195.9375	-	-	-	1530.0413
195.9250	195.925	-	-	1530.1389
195.9125	-	-	-	1530.2365
195.9000	195.900	195.90	195.9	1530.3341

Example: Center Frequencies



Example: Flexible Grid

Рис. 1.6. Приклади центральних частот ITU-T G.694.1 та гнучкої сітки

ITU-T G.694.1 та G.694.2 – це стандарти, що охоплюють DWDM та CWDM.

ITU-T G.694.1 (DWDM) надає таку інформацію:

- Визначення сітки частот: слот та ширина
- Центральні частоти, включаючи номінальні центральні частоти в C-діапазоні та L-діапазоні
- Сітка частот, включаючи рекомендовану підтримку різних фіксованих розносів каналів у діапазоні від 12,5 до 100 ГГц.

На рис. 1.6. показаний приклад сітки частот.

Nominal central wavelengths (nm) for spacing of 20 nm
1271
1291
1311
1331
1351
1371
1391
1411
1431
1451
1471
1491
1511
1531
1551
1571
1591
1611

NOTE – The endpoints of this table are illustrative only.

Example: CWDM Grid

Рис. 1.7. Сітка довжин хвиль CWDM

ITU-T G.694.2 (CWDM) визначає ключову інформацію про:

- Визначення сітки довжин хвиль: інтервал та ширина

- Номінальні центральні довжини хвиль; довжини хвиль сітки знаходяться в діапазоні від 1271 до 1611 нм.
- Відстань між центральними довжинами хвиль та зміна довжини хвилі. Ефективний CWDM з лазерами, що не охолоджуються, і фільтрами з широкою смугою пропускання вимагає номінальної відстані між центральними довжинами хвиль не менше 20 нм.

На рис. 1.7. показаний приклад сітки довжин хвиль.

Застосування сіток ITU-T G.694.1 та G.694.2 за діапазонами показано на рис.

1.8.

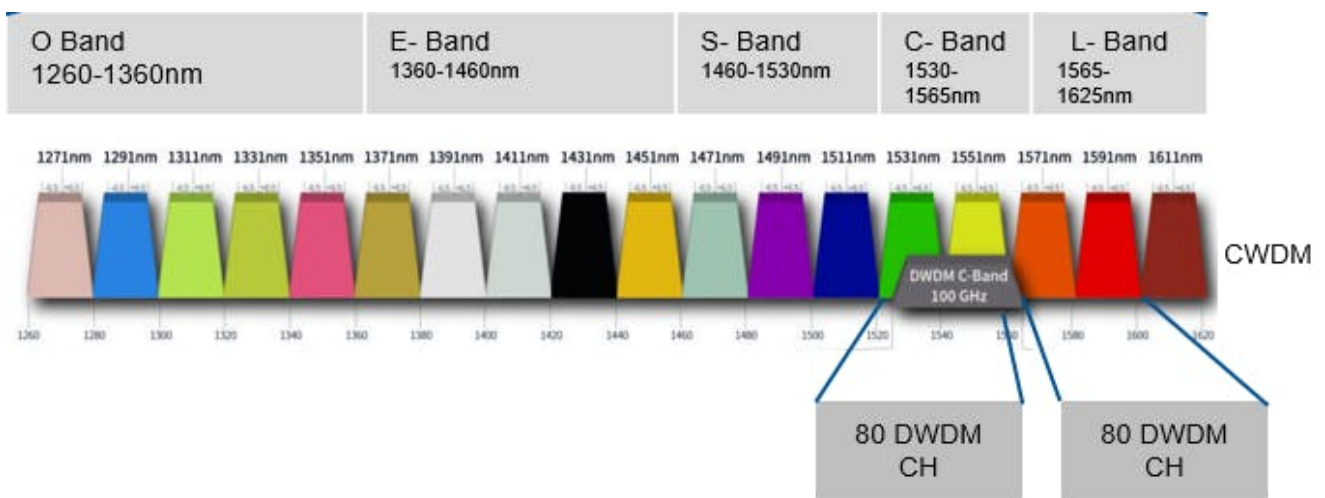


Рис. 1.8. Розподіл спектру DWDM та CWDM

Список каналів CWDM працює у всіх діапазонах (OL), тоді як DWDM залишається у С-діапазоні. Оператори мобільного зв'язку використовували кілька діапазонів і досі використовують 1310, 1550 та 1490 нм для мереж HFC. Оптиволоконні архітектури, такі як Node+0, використовуватимуть більшу частину С-діапазону для доставки 40 або більше довжин хвиль.

До переваг та проблем використання більшої кількості DWDM відносяться:

#### *Переваги*

- Доступні системи максимальної продуктивності; до 160 каналів у діапазонах C+L

- Максимальна відстань із оптичними підсилювачами; великі відстані можуть полегшити консолідацію головного вузла
- Посилення проти регенерації; немає обробки оптичних сигналів в електричні та оптичні

#### *Проблеми*

- Системи з оптичним посиленням можуть створювати ефекти нелінійної передачі
- Потрібні високопродуктивні лазери та оптичні компоненти
- Потрібна більша потужність на довжину хвилі.

### **1.3. Пропускна спроможність мережі – планування на наступне десятиліття**

Сьогодні в нових сценаріях оператори стали частіше прокладати оптоволокну до будинку або MDU (Fiber to the Premise - FTTP), оскільки з точки зору виробника це сприймається як кінцевий результат. У зв'язку з постійним зростанням швидкості широкосмугового доступу, оператори тепер починають розглядати можливість переходу HFC на FTTP також і для існуючих сценаріїв.

Для цього необхідно детально розглянути приклад кількох фактичних конструкцій вузлів та досліджувати вплив на вартість різних модернізацій підприємства; від простого поділу вузлів до вирішення звичайних вимог, аж до FTTP. Також необхідно висвітлювати деякі новітні інноваційні концепції архітектури розподіленого вузла, яка економічно ефективно дає можливість розробки Fibre Deep (FD), таких як Fiber to the Last Active (FTTLA) або Fiber to the Curb (FTTC)[11].

Необхідно починати з комплексного аналізу пропускної здатності мережі, який показує, які потужності можуть знадобитися і в який час протягом найближчих десятиліть. Це дозволяє розробити стратегію міграції HFC на FTTx протягом 10+ років. Аналіз чистої поточної вартості показує, що цей багатоетапний підхід є більш еконо-

мічно ефективним, ніж занурення в FTTP. Це також покаже, що для багатьох або більшості передплатників на сьогоднішній HFC FTTP може не обов'язково бути кінцевою точкою, швидше FTTLA або FTTC може бути достатньо.

Інтернет розвивається з шаленою швидкістю з моменту свого заснування. І разом із цим ми спостерігаємо відповідне зростання пропускної здатності виділеної мережі [7].

На рисунку 1.9. показано зростання різних рівнів обслуговування протягом наступних двох десятиліть. У той час як 1% абонентів у найвищому рівні «білбордів» досягли б 10 Гбіт/с приблизно в 2024 році, 14% підключень на рівні продуктивності не досягають цієї позначки до ~2032 року. Зауважте, що 85% абонентів флагманського базового та економічного рівня залишаються нижче цієї позначки протягом кількох десятиліть[11].

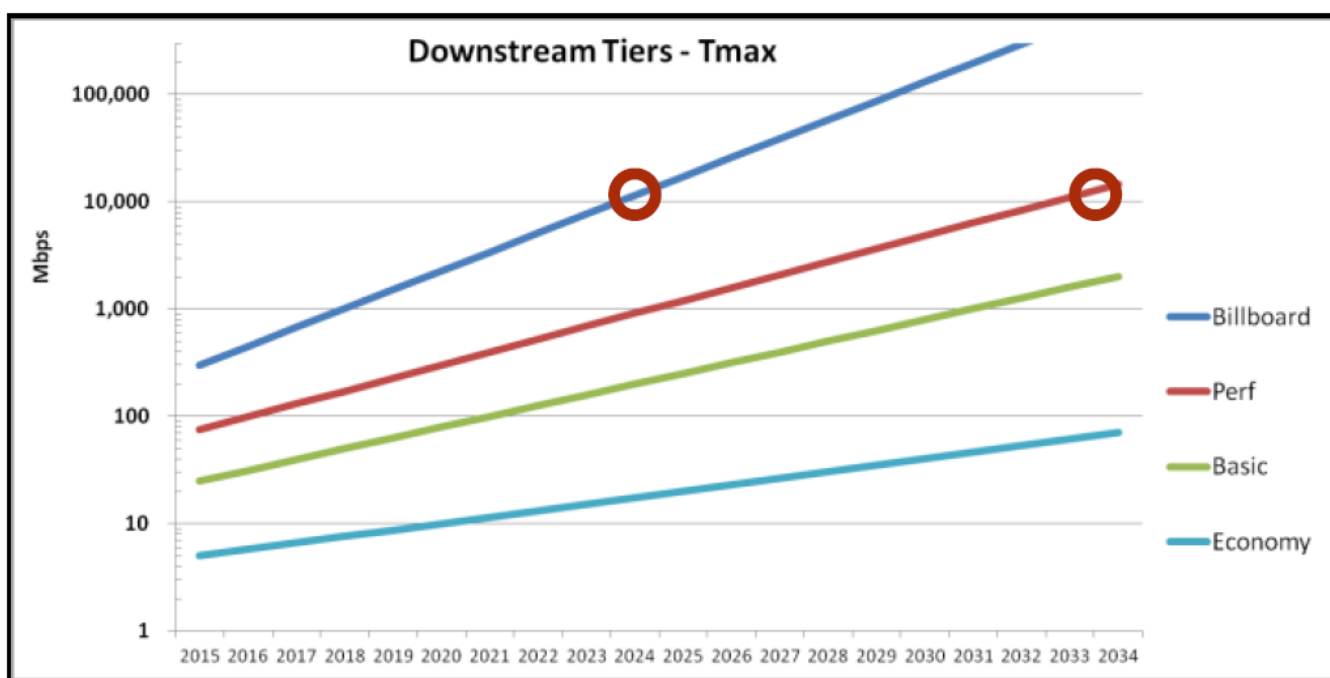


Рис. 1.9. Зростання низхідного потоку з кількома рівнями обслуговування

Дані були введені в модель пропускної здатності мережі ARRIS, щоб ближче розглянути зростання мережевого трафіку. У таблиці 1.1. показано міграцію Tmax для кожного рівня протягом наступного десятиліття. Зауважте, що до 2021 року верхній рівень «білбордів» починає перевищувати потужність початкових модемів D3.1, які

використовуються сьогодні. А до 2026 року цей рівень, за прогнозами, досягне 40 Гбіт/с. Для цього знадобиться нова технологія, якою може бути нове покоління DOCSIS (наприклад, Extended Spectrum) або, можливо, наступне покоління технології PON (наприклад, 100G EPON, NG-PON2).

Таблиця 1.1.

Міграція рівня служби для моделі пропускної здатності мережі

Приклад MSO Рівні обслуговування DS	% абонентів	Tmax CAGR	2014 рік	2016 рік	2021 рік	2026 рік
Найвищий рівень (Billboard Rate)	<1%	50%	300	675	5G	40G
Рівень продуктивності (Performance Tier)	14%	32%	75	125	500	2G
Базовий рівень (Basic Tier)	65%	26%	25	40	150	400
Економічний рівень (Economy Tier)	20%	15%	5	10	20	50

Важливо зазначити, що 99% абонентів все ще комфортно використовують сучасну технологію DOCSIS на HFC через десять років.

Деякі результати моделі пропускної здатності мережі ARRIS показані на рисунку 1.10. Вона дає уявлення про Tmax і SG Tavq поведінку. Пропускна здатність, необхідна для верхнього рівня «білбордів», домінує в порівнянні з SG Tavq.

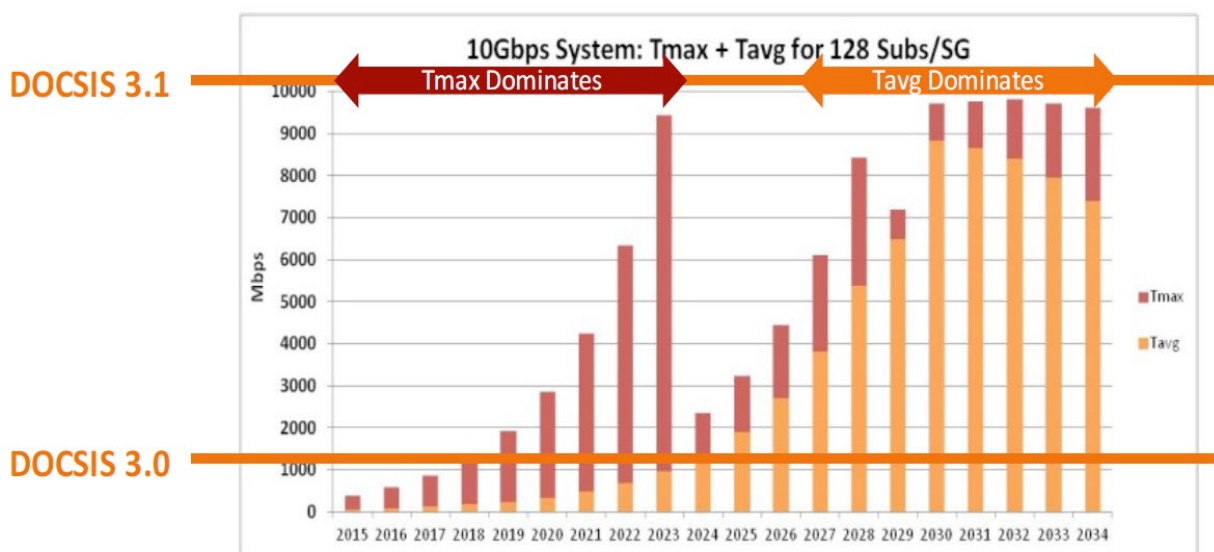


Рис. 1.10. Результати моделі пропускної здатності мережі

Це приводить нас до стратегії вибіркової міграції передплатників, яку потрібно буде розпочати протягом наступних 5-8 років. Переміщення верхнього рівня «білбордів» до мережі доступу Fiber Deep, яка відокремлена від загальної побудови з HFC, значно зменшує необхідну потужність DOCSIS. Це зменшення можна побачити в 2024 році на рисунку 1.10., після того як верхній рівень «білбордів» буде вилучено з мережі HFC. Рівень продуктивності потім переміщується в 2029 році, для меншого зниження[11].

Зверніть увагу, що мережа доступу Fiber Deep може бути одним із кількох варіантів FTTx, включаючи: FTTP, Fiber to the Curb (FTTC), Fiber to the Tap (FTTT), Fiber to the Last Active (FTTLA) або Node+0 HFC. Ці варіанти детально розглянуто далі.

Зрештою, коли верхні рівні переведені на FTTx, SG Tavg нарешті наздоганяє, і операторам доведеться знову розглянути можливість зменшення розмірів SG. Модель у цьому прикладі передбачає, що це буде приблизно через 10-15 років.

Інше спостереження з цього аналізу полягає в тому, що D3.1 є ключовою технологією для продовження терміну служби HFC на десятиліття вперед, особливо для переважної більшості (наприклад, 65-95%), які знаходяться у флагманському базовому та економічному рівнях. Будь-який перехід до FTTx може зайняти десятиліття, тому D3.1 успішно пропускає операторів через це вікно.

Підсумовуючи, стратегія вибіркової міграції абонентів є розумним підходом до теми переходу HFC до FTTx. Перехід вищих рівнів на FTTx може придбати HFC додаткові десятиліття для 80 - 95% передплатників у флагманських базових/економічних рівнях. Tmax домінує протягом наступних 5-7 років, тому важливіше збільшити потужність HFC принаймні до 1 ГГц спектру, а не розділити вузли. Однак Tavg нарешті наздоганяє через 8-10+ років; і зменшення розміру SG повертається в моду. Оператори повинні просувати Fibre Deep, щоб за запитом увімкнути Selective FTTx для верхніх рівнів та бути готовими до наступного етапу поділу SG.

А який FTTx є найкращим варіантом — це ще одна цікава дискусія. DOCSIS продовжує розвиватися, працюючи над повним дуплексом (FDX) і DOCSIS з розширеним спектром. Деякі з цих досліджень були висвітлені в [1]. Ці нові технології обіцяють зробити для DOCSIS і кабелю те, що G.fast намагається зробити для DSL і витой

пари. На рисунку 1.11. показано деякі результати для систем FTTC і FTTLA. Як видно, ємність системи може значно збільшитися, якщо волокно підсунути ближче до приміщення.

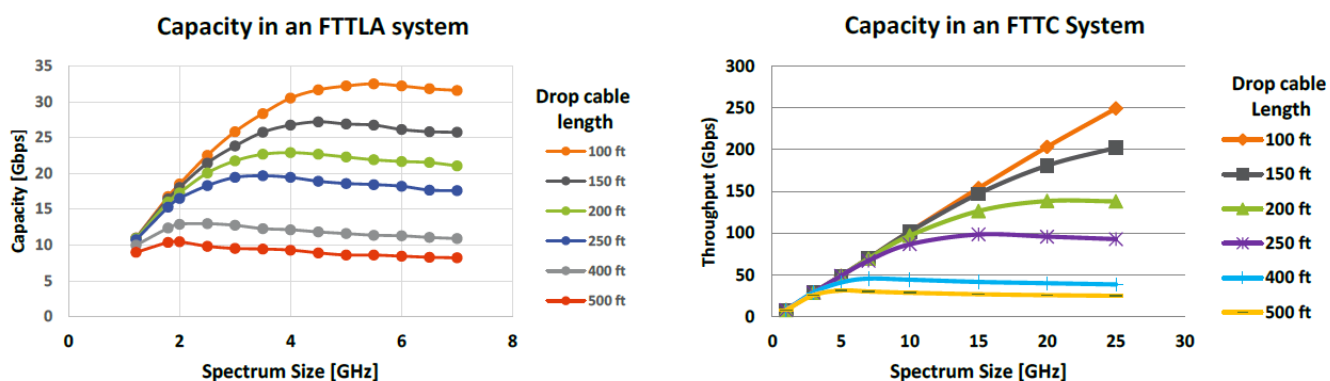


Рис. 1.11. Результати моделі пропускної спроможності мережі

#### 1.4. Приклад мережі доступу

Планування пропускної здатності мережі показує, що операторам потрібно буде розвивати свої існуючі гібридні коаксіальні мережі (HFC), щоб залишатися конкурентоспроможними з постачальниками послуг FTTP, такими як Google Fiber і Verizon FiOS [8, 9, 10]. Для кабельних операторів вони можуть використовувати свої наявні інвестиції в оптоволокно як відправну точку для швидкого старту в порівнянні з новими учасниками, які повинні розпочати монтаж волокна з нуля. Але критичне питання для кабельних операторів полягає в тому, наскільки глибоко вони повинні тягнути волокно? Вони мають набір інструментів архітектурних рішень, які слід розглянути:

- «Business as usual» (BAU) — розділення вузла там, де це необхідно, і оновлення активного поля HFC з, можливо, оновленням до 5-85 МГц у зворотному і 104-1002 МГц у прямому напрямку;
- Fibre Deep (FD) Node+0 (N+0) просуває волокно набагато глибше в HFC і усуває всі активні радіочастотні елементи. Існує цілий ряд потенційних варіантів, включаючи:



- Традиційний волоконний глибокий вузол+0 «FD N+0», який переформлює існуючий HFC (наприклад, N+3 до N+6 з 3-6 активними елементами після вузла волокна) у «вузол як останній активний». Звичайний спосіб зробити це – змінити коаксіальну установку таким чином, щоб мінімізувати кількість нових вузлів стандартного розміру, які потрібно додати. Кожен новий вузол в кінцевому підсумку може стати власною групою обслуговування, і на додаток до радіочастотних і оптичних модулів, він може містити Remote PHY Devices (RPDs) і PON OLT.

- Fiber to the last active (FTTLA) — це варіант архітектури Fibre Deep N+0. Однак у цьому випадку вузли розташовані саме в місцях застарілих RF-підсилювачів. Потім ці вузли об'єднуються в групу послуг належного розміру. Цю агрегацію можна здійснити за допомогою «активного спліттера/комбінатора», розміщеного у віртуальному концентраторі, який розташований точно в місці застарілого вузла, щоб заощадити на витратах на оптику та просторі на об'єкті.

- Оптичне до бордюру (FTTC) або оптичне до розгалужувача (FTTT), де волокно проходить по вулиці, але існуючі кабелі для підводу кабелю використовуються повторно.

- Fiber to the Premise (FTTP) – це те, що сьогодні впроваджується з традиційними системами PON, а також системами RFoG.

У сукупності ці опції глибокого волокна називаються FTTx або Fiber до «х», де «х» може бути вузлом Premise, Curb, Tap, Last Active або Fibre Deep. Щоб кабельні оператори створювали будь-яку з вищезгаданих архітектур у сучасних запущених територіях, нова конструкція волокна починається з існуючого оптичного вузла; на відміну від нових учасників, які повинні будувати волоконну конструкцію з центрального офісу/головної станції.

Кожний MSO внесе зміни до власної побудови HFC, щоб оптимізувати для атрибутів, які вони вважають найважливішими. Різні MSO, ймовірно, по-різному встановлять пріоритети для багатьох атрибутів. Наприклад, деякі MSO можуть вирішити оптимізувати розвиток своєї мережі, якомога швидше перейшовши до кінцевих технологій майбутнього. Ці MSO, ймовірно, швидко рухатимуться до рішень PON або Ethernet точка-точка. Інші MSO вирішують оптимізувати розвиток своєї мережі, щоб





оптичним транспортом по тому самому волокну. Хоча сегментація може знизити середній розмір до 100 HP (~50 підключень), розподіл часто буває незбалансованим між гілками RF.

Fibre Deep (FD) N+0 усуне всі RF підсилювачі та переналаштує мережу таким чином, щоб розгорнути мінімальну кількість нових вузлів, можливо, в новому місці. На рисунку 1.13. показана одна така реалізація для вузла C, де загальна кількість нових активних елементів зменшено з початкового 1 вузла і 21 RF-підсилювача до всього 6 вузлів. Зауважте, що новим вузлам може знадобитися збільшена вихідна потужність, наприклад 64 дБмВ, для керування додатковим коаксіальним кабелем, щоб зменшити кількість вузлів. Це один з багатьох компромісів, які можна зробити в конструкції з Fibre Deep.

На додаток до нового волокна, необхідного для живлення цих вузлів, також необхідно додати коаксіальну установку. Нові коаксіальні сегменти показані зеленим кольором. Також необхідна значна перебудова значень та орієнтації відгалужувачів. Однак, якщо оператор уже планує оновити відводи до продуктивності 1,2 ГГц, то аргумент полягає в тому, що переробка відводів може бути не настільки обтяжливою, як додатковий крок. Додаткове нове волокно для підключення нових вузлів є причиною того, що цей підхід називається «Fiber Deep». Для FD N+0 у вузлі C цей крок наближає волокно до 195 футів до останнього відводу, тоді як найдавший відвод — на 1448 футів. У середньому відгалужувачі знаходяться на відстані 1007 футів від волокна. Нові вузли також можуть розмістити віддалені пристрої PHY (RPD) і PON OLT, якщо і коли це необхідно[11].

Оптоволокно до останнього активного (FTTLA) також є реалізацією N+0. Однак кількість активних не зменшується. Швидше, розташування (і навіть корпуси, якщо це гарантовано) існуючих радіочастотних активів зберігаються - і зарезервовані для останніх активних вузлів. На рисунку 1.14. показана топологія такої мережі, якщо вона реалізована для вузла C. Це призводить до того, що 21 вузол для цієї конструкції замінює вихідні активні елементи.

Цей підхід є ще більш глибокою архітектурою Fibre Deep. У випадку FTTLA в області вузла C, волокно наближається до 99 футів до останнього відводу, тоді як

найдавший відвод знаходиться на 585 футах. У середньому відгалужувачі знаходяться на відстані 408 футів від волокна.

Для FTTLA немає потреби торкатися коаксіальної установки — жорсткі лінії, відводи, навіть рівні для існуючих послуг — тому всі інвестиції в оновлення побудови використовуються для того, щоб поглибити волокно, а не витратити частину на переналаштування коаксіальної установки. Однак це спрощення та отримання волокна ще глибше є компромісом проти кількості активних речовин, необхідних для побудови. Заміна відводів для 1,2 ГГц є варіантом, якщо оператору потрібна додаткова потужність.

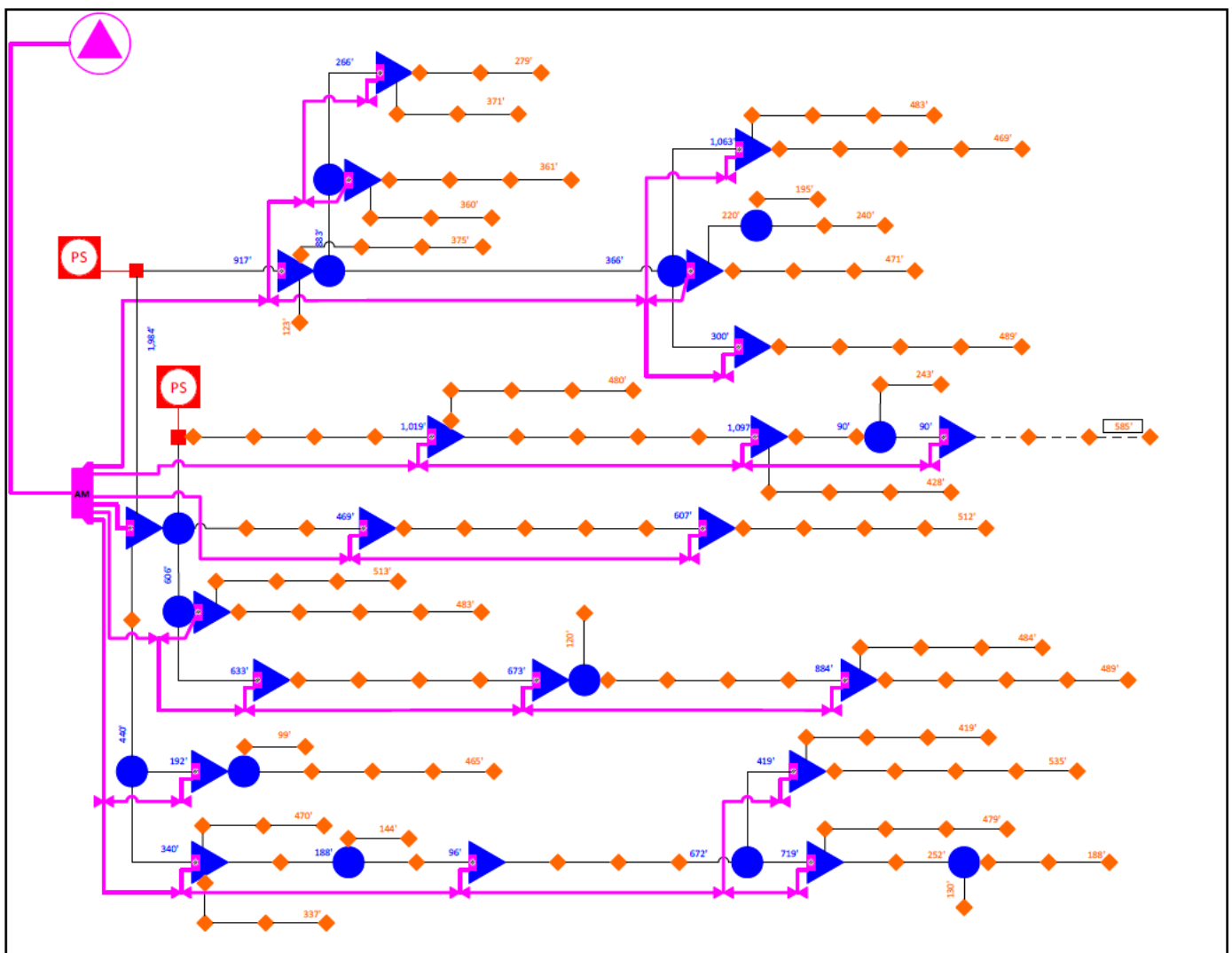


Рис. 1.14. Область вузла С, реалізована як FTTLA у стилі DNA

FTTLA, зокрема, допомагає стратегії вибіркової міграції передплатників кількома способами. У цій стратегії, описаній раніше, невелика кількість високопродуктивних абонентів переміщується в окрему мережу FTTx. У найближчій перспективі оператор може підтягнути волокно до останнього активного лише для розташування, пов'язаного з високопродуктивним абонентом. У прикладі Node C з ~200 абонентами, можливо, два абоненти отримують верхній рівень «білбордів». Оператору потрібно лише оновити два активи, щоб ефективно помістити їх на власну окрему оновлену SG, залишаючи інші 19 активів у спокої. І підтягуючи волокно до цих двох активних елементів, він може увімкнути FTTLA для кількох інших активів на цьому шляху. У довгостроковій перспективі оператор може захотіти почати міграцію верхніх рівнів на FTTC або FTTP. Використання FTTLA як стартової площадки робить їх набагато ближче до будинків (наприклад, 408 футів в середньому для вузла C). Стратегія вибіркової міграції абонентів також може бути реалізована за допомогою FD N+0. Просто потрібно більше роботи, щоб оновити HFC навколо цього вузла, а волокно не таке глибоке, як FTTLA[11].

DOCSIS Full Duplex (FDX) може потребувати системи Fibre Deep без активних елементів за межами вузла. Отже, з точки зору FDX, і FTTLA, і FD N+0 відповідатимуть цим вимогам.

Архітектура Fiber to the Curb (FTTC) ефективно замінює всі жорсткі коаксіальні мережі побудови на накладення волокна. Для архітектури Fiber to the Premise (FTTP) потрібно все оптоволокну FTTC плюс кабель для кожного абонента. Зображення не потрібне, тому що вони просто накладаються на коаксіальний кабель HFC з волокном.

Для архітектури знадобиться все волокно FTTC плюс кабель для підключення для кожного абонента. Зображення не потрібне, оскільки вони просто накладають на існуючий коаксіальний кабель HFC волокно.

### **1.5. Варіанти оновлення мережі доступу: вплив витрат**

Раніше в [4, 5] був проведений детальний аналіз щодо порівняння інвестицій у HFC з повним переходом на повне накладання з оптоволоконного кабелю до дому

(FTTH) у існуючих територіях. У цих звітах розглядається загальна вартість системи від витрат на головну станцію до інвестицій в кабельну систему, а також інвестиції в будинок/СРЕ.

Обговорюються дві окремі бізнес-моделі надання послуг 1G на території оператора. Перший підхід відомий як загальносистемний, а другий — збірки на основі успіху. Загальносистемний підхід використовується для новобудов, а також може бути використаний для перебудов. Його ключова перевага полягає в тому, що він пропонує послуги по всій території оператора. Якщо будь-який клієнт дзвонить, щоб отримати послугу, її можна швидко увімкнути. Це вимагає, щоб оператор збудував достатню частину установки, щоб увімкнути цю послугу. Це називається витратами на активацію. Як тільки клієнт дзвонить, щоб отримати послугу, виникають додаткові витрати, такі як виїзд вантажівки, витрати на СРЕ та встановлення оптоволокна для FTTH. Вони називаються витратами, що ґрунтуються на успіху.

При підході, що базується на успіху, витрати на активацію заздалегідь не стягуються. Тільки після того, як клієнт замовить послугу, кабельна система буде побудована, інші витрати, пов'язані з успіхом, беруться на себе. Ключовою перевагою тут є те, що він заощаджує оператору величезні початкові інвестиції, але тепер для встановлення та активації послуг потрібний потенційно тривалий період часу. Це більш ефективно, коли рівень проникнення цих послуг є дуже низьким[11].

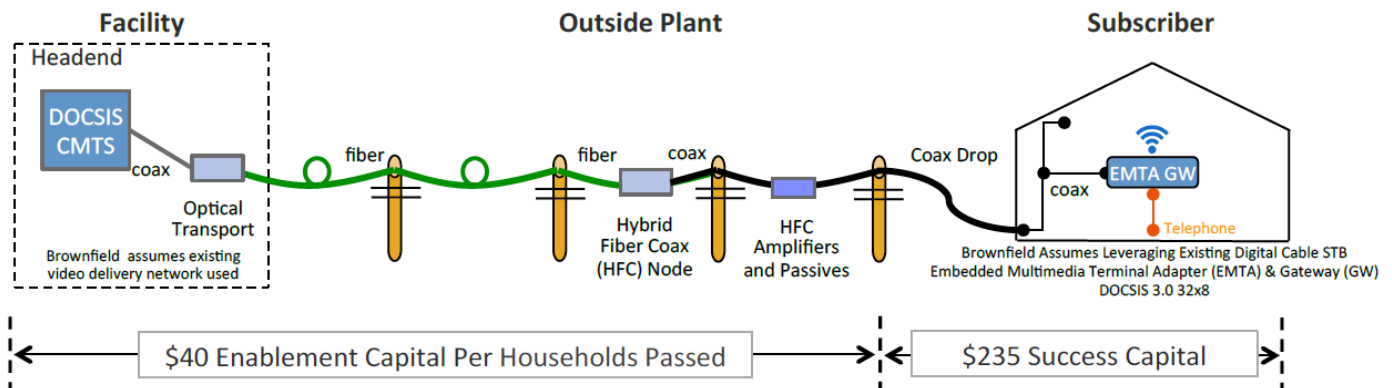
Проміжний підхід, якого можна досягти у цих двох бізнес-моделях з використанням технології глибокого оптоволокна, як FD N+0 або FTTLA. Fibre Deep HFC це загальносистемний підхід до надання симетричних гігабітних послуг без загальної вартості FTTP, що є сумішшю двох підходів.

На рисунку 1.15. показано три різні варіанти використання з [5].

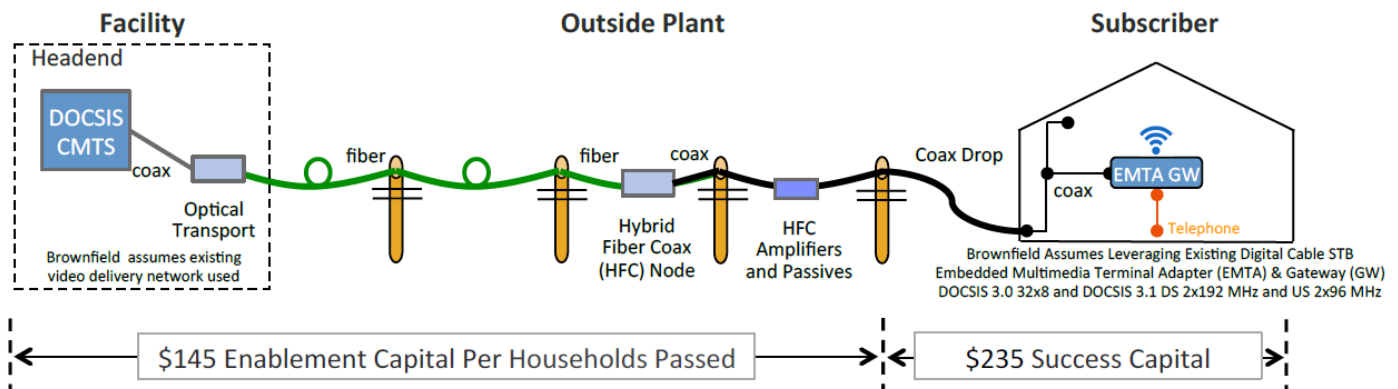
Варіанти використання 1 і 2 є простим оновленням до DOCSIS 3.1 на платформі CMTS/CCAP. Це впливає лише на головну станцію, щоб увімкнути послуги 1G на всьому просторі HFC. Оновлення D3.1 – це витрати на активацію. Капітал успіху включає вартість модему D3.1 і вартість його установки.

Варіант 3 рисунку 1.15. модернізує HFC на додаток до оновлення D3.1 CMTS/CCAP. HFC оновлено до 1002/85 МГц. Вузол також розділений та прокладено

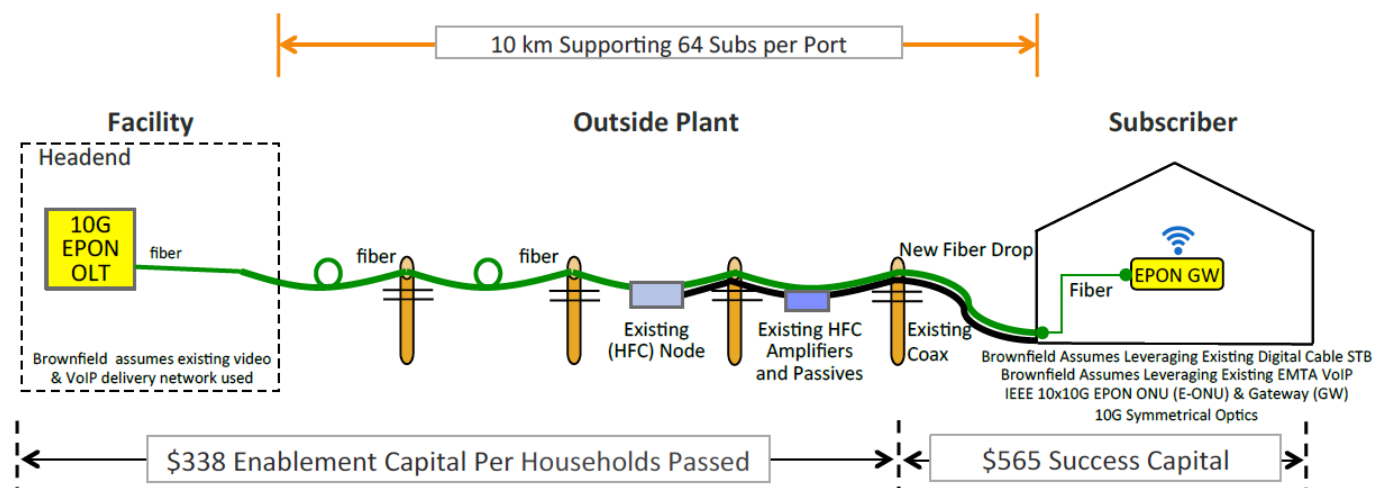
невелику кількість оптоволокна. Витрати на підтримку відповідно зростають, тоді як капітал, заснований на успіху, залишається незмінним.



а) Варіанти 1 та 2: HFC 2G DOCSIS



б) Варіант 3: HFC Mid-Split 2G x 500M DOCSIS



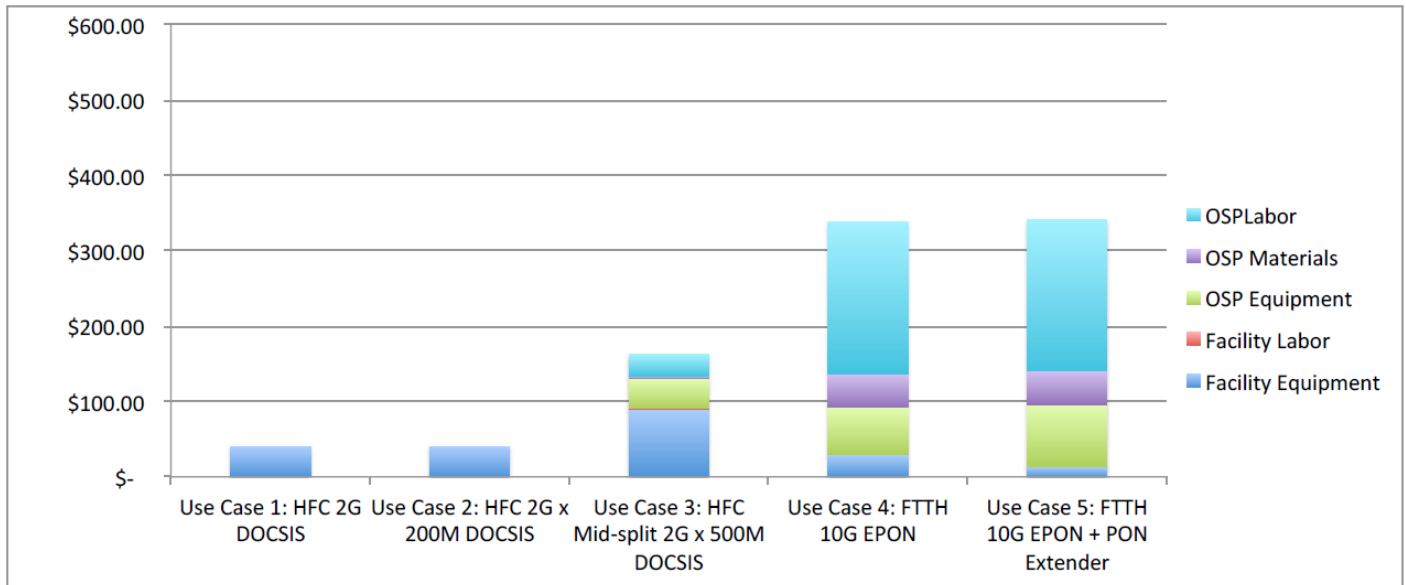
в) Варіант 4: FTTH 10G EPON

Рис. 1.15. Вартість впровадження (на ННР) та капітал успіху (на клієнта)

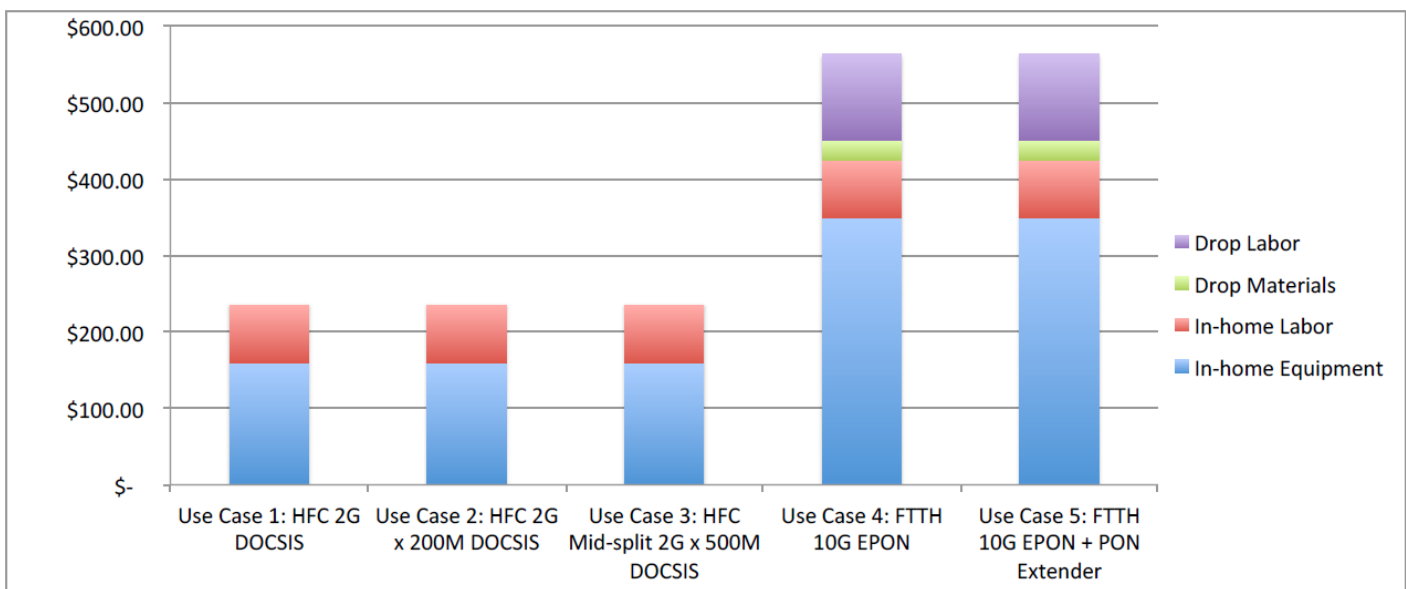


У випадку використання 4 розглядається рішення 10G EPON FTTH. Витрати на включення включають OLT в об'єкті, а також витрати на розбудову волокна в кожному районі. Тепер оптоволокну досить близько від дому, щоб дозволити вчасно встановити, як тільки клієнт замовляє послугу. При такому підході капітал, заснований на успіху, обходиться дорожче, так як він також включає прокладання ОК до будинку.

На рисунку 1.16 із [5] показано відносні витрати на ввімкнення та успіхи для п'яти випадків використання.



а) Склад допоміжного капіталу (на ННР)



б) Склад капіталу успіху (на клієнта)

Рис. 1.16. Порівняння витрат: на основі реалізації та успіху

Варіант використання 2 додає висхідний потік D3.1 до низхідного потоку D3.1 сценарії використання 1. Варіант використання 5 включає подовжувач PON у рішенні FTTH. Як видно на рисунку 1.16, витрати на впровадження FTTH значно вищі, ніж на оновлення до D3.1 та покращення HFC.

Кабельні системи з HFC значно відрізняються. Вони не тільки відрізняються від оператора до оператора, але й їхні характеристики можуть сильно відрізнитися від вузла до вузла в межах однієї спільноти. Аналіз вартості в [5] був зроблений на одному конкретному вузлі зразка, характеристики якого описані в цьому документі, і для одного типу оновлення HFC.

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

У цьому розділі були розглянуті Архітектури Fiber Deep та Node+0. Щоб випереджати попит на широкосмугові можливості та виконувати обіцянки нових послуг та програм, кілька системних операторів (MSO) розвивають свої гібридні волоконно-коаксіальні (HFC) мережі. Такі архітектури, як Remote PHY та DOCSIS 3.1, залежать від пропускної спроможності оптоволокна в глибині мережі кабельного телебачення. Ось чому багато операторів реалізують ініціативи «Fiber Deep» для створення архітектури Node+0.

Також було розглянуто стандарти та визначення CWDM і DWDM. Розглянути переваги та проблеми при використанні більшої кількості DWDM.

Підсумовуючи, стратегія вибіркової міграції абонентів є розумним підходом для переходу з HFC до FTTx. Перехід вищих рівнів на FTTx може придбати HFC додаткові десятиліття для 80-95% передплатників у флагманських базових/економічних рівнях. Tmax домінує протягом наступних 5-7 років, тому важливіше збільшити потужність HFC принаймні до 1 ГГц спектру, а не розділити вузли. Однак Tavg нарешті наздоганяє через 8-10+ років; і зменшення розміру SG повертається в моду. Оператори повинні проштовхувати волокно достатньо глибоко, щоб увімкнути селективний FTTx для вищих рівнів за запитом, і бути готовим до наступного раунду розподілу SG.

Щоб зрозуміти, який варіант найкраще підходить для цієї міграції, у документі докладно проаналізовано 5 унікальних реальних вузлів, які варіювалися від розрідженого сільського вузла до дуже щільного міського вузла. Потім були виконані роботи з проектування цих п'яти вузлів для кожного з наступних сценаріїв:

- "Бізнес як завжди": активне зниження частоти 1 ГГц при оновленні з поділом вузлів у міру необхідності;
- Fiber Deep – FTTLA;
- FTTC;
- FTTP.

Результати показують, що існують значні варіації вартості в різних варіантах використання. Однак деякі тенденції все-таки виникли, які повинні допомогти операторам.

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ ПІДПРИЄМСТВА

#### 2.1. Визначення швидкості передачі

В даній роботі швидкість цифрового потоку вибиралася стандартною сіткою швидкостей SDH. Вона має задовольняти умові

$$S_K \geq S_{нотр} \cdot K_p, \quad (2.1)$$

де  $K_p$  - коефіцієнт запасу в розвитку мережі (1,4...1,5). Розрахуємо потрібну швидкість цифрового потоку

$$S_K = 880,64 \cdot 1,5 = 1320,96 \text{ Мбіт/с}$$

Таким чином, вибираємо рівень STM-16, розрахований на швидкість 2488 Мбіт/с, а також приймальний модуль SFP CWDM, сумісний з STM-16.

Зупинимо вибір на устаткуванні CWDM компанії SNR, т.к. обладнання цього виробника відповідає нашим вимогам.

Вибираємо мультиплексор CWDM з 4 каналами та додатковим портом для телевізійного каналу.

Таблиця 2.1

Технічні характеристики CWDM мультиплексора

Параметр	Значення
Кількість каналів	4+1 CATV
Несуча довжина хвилі, нм	1470, 1490, 1510, 1530, 1610, 1590, 1570, 1550
Несуча довжина хвилі CATV, нм	1310
Міжканальний інтервал, нм	20
Внесені втрати для CWDM, дБ	<2,8
Внесені втрати, дБ	<4
Поворотні втрати, дБ	>45

Як середовище передачі для систем спектрального ущільнення вибираємо кабель ТКО ARM SM 2F. Даний кабель може використовуватись у телекомунікаційних

мережах загального користування для прокладання в ґрунтах чи каналах кабельної каналізації.



Рис. 2.1. Структура кабелю

Таблиця 2.2

Технічні характеристики кабелю ТКО ARM SM 2F

Параметр	Значення
Тип волокна	Одномодове оптичне волокно ITU-T 652D LWP
Коефіцієнт згасання 1310 нм	0,34 дБ/км
1550 нм	< 0,2 дБ/км
Довжина хвилі відсічення	<1270 нм
Діаметр оболонки	125±1,мкм
Діаметр покриття	245±10 мкм
Хроматична дисперсія 1550 нм	<18 пс/нм км
Поляризаційно-модова дисперсія	< 0,2 пс^км
Максимальне навантаження під час стис-	4000 Ньютон/10 см
Мінімальний радіус вигину, монтаж/експлу- атація	90/180 мм

Використовуючи обладнання компанії SNR, збудуємо мережу передачі даних підприємства.

## 2.2. Розрахунок передавальних характеристик оптичного волокна

Можна задатися показником заломлення серцевини  $n_1$  або знайти його за формулою Селмейера, яка описує спектральну залежність показника заломлення від довжини хвилі.

$$n_1(\lambda) = \sqrt{1 + \sum_{i=1}^3 \frac{\lambda^2 \cdot A_i}{\lambda^2 - \mu_i^2}}, \quad (2.2)$$

де  $n_1$  – показник заломлення серцевини;

$A_i$  та  $\mu_i$  - коефіцієнти формули Селмейера;

$\lambda$ - довжина хвилі оптичного випромінювання,  $\lambda=1,55$  мкм

Розрахуємо показник заломлення серцевини:

$$n_1(\lambda) = 1,445$$

Визначимо показник заломлення оболонки

$$n_2(\lambda) = n_1 \sqrt{1 - 2\Delta} \approx n_1(1 - \Delta), \quad (2.3)$$

де  $n_2$  – показник заломлення оболонки;

$\Delta$  - відносна різниця показників заломлення серцевини та оболонки,  $\Delta = 0,0011$ .

Таким чином, показник заломлення оболонки

$$n_2(\lambda) = 1,4408$$

Числова апертура – основний параметр оптичного волокна, пов'язаний із максимальним кутом введення випромінювання. Вона використовується для розрахунку ефективності введення випромінювання до ОВ. Розрахунок числової апертури проводиться за формулою

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2.4)$$

Знайдемо значення числової апертури

$$NA = 0,11$$

Числова апертура відповідальна за ефективність введення випромінювання до ОВ:

$$\eta = NA^2 = 0,0121 \quad (2.5)$$

Нормована частота є безрозмірним числом, яке визначає кількість мод, що підтримуються волокном. Визначимо нормовану частоту

$$g = \frac{\pi d}{\lambda} \cdot NA, \quad (2.6)$$

де  $d$  – діаметр серцевини,  $d = 8$  мкм;

Розрахуємо значення нормованої частоти

$$g = 1,783$$

Умова одномодового режиму дотримується, т.к.  $V < 2,405$ .

Необхідно визначити довжину хвилі відсічення (мінімальна довжина хвилі випромінювання, при якому ОВ є одномодовим)

$$\lambda_{\text{ВДС}} = \pi \cdot d \frac{NA}{2,405} \quad (2.7)$$

Якщо робоча довжина хвилі менша  $\lambda_{\text{ВДС}}$ , то ОВ стає багатомодовим. Таким чином, довжина хвилі відсічення

$$\lambda_{\text{ВДС}} = 1,149$$

Важливою характеристикою ОВ є розподіл світла в одномодовому оптичному волокні (ОВ) по серцевині ОВ. Знання цієї характеристики залежно від довжини хвилі впливає якість з'єднань двох ОВ. Ефективний діаметр поля моди можна розрахувати за такою формулою

$$\omega_1 = d \left( 0,65 + 1,62 \cdot g^{\frac{-3}{2}} + 2,879 \cdot g^{-6} \right) \quad (2.8)$$

Розрахуємо ефективний діаметр поля моди

$$\omega_1 = 11,36 \text{ мкм}$$

Ефективна площа модового поля ООВ розраховується за формулою

$$A_{E\phi} = \frac{\pi \omega^2}{4} \quad (2.9)$$

Визначимо ефективну площу модового поля ООВ

$$A_{E\phi} = 8,918 \text{ мкм}^2$$

Згасання в оптичному волокні обумовлено двома основними факторами: розсі-

юванням Релея та інші втрати, які мінімізуються при високотехнологічному виробництві ОВ. Таким чином, сумарне значення коефіцієнта згасання може бути визначено таким чином

$$\alpha_{\Sigma} = \alpha_p + \alpha_{II} + \alpha_{i\lambda} + \alpha_{y\phi} + \alpha_{макр} \quad (2.10)$$

де  $\alpha_p$  - загасання, викликане розсіюванням Релея, дБ/км;

$\alpha_{II}$  - згасання, спричинене за рахунок поглинання, дБ/км;

$\alpha_{i\lambda}$  - коефіцієнт загасання в інфрачервоній ділянці, дБ/км;

$\alpha_{y\phi}$  - коефіцієнт загасання в ультрафіолетовій ділянці, дБ/км;

$\alpha_{макр}$  - коефіцієнт загасання на макровигинах, дБ/км.

Згасання, викликане розсіюванням Релея, розраховується за формулою

$$\alpha_p(\lambda) = 4,34 \frac{8\pi^3}{3\lambda^4} \cdot (n_1^2(\lambda) - 1) \cdot \beta \cdot k \cdot T \cdot 10^3, \quad (2.11)$$

де  $k$  – постійна Больцмана,  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К;

$\beta$  - коефіцієнт стисливості кварцу,  $8,1 \cdot 10^{-11}$  м<sup>2</sup>/Н;

$T$  - абсолютна температура плавлення кварцу, 1500 °С.

Таким чином, загасання, викликане розсіюванням Релея

$$\alpha_p(\lambda) = 0,113 \text{ дБ/км}$$

Згасання внаслідок поглинання пов'язане із втратами на діелектричну поляризацію, воно лінійно зростає з частотою та визначається за формулою

$$\alpha_{II}(\lambda) = 8,69 \frac{\pi n_1(\lambda) \cdot 10^9}{\lambda}, \quad (2.12)$$

Тоді, загасання в результаті поглинання становитиме

$$\alpha_{II}(\lambda) = 0,061 \text{ дБ/км}$$

Коефіцієнти згасання в ультрафіолетовій та інфрачервоній області розраховуються за формулами

$$\alpha_{y\phi}(\lambda) = \frac{10^{\frac{2}{\lambda}}}{2154}, \quad (2.13)$$

$$\alpha_{i\lambda}(\lambda) = 10^{\left(\frac{-21,9}{\lambda} + 12,4\right)}, \quad (2.14)$$



Розрахуємо згасання в ультрафіолетовій області

$$\alpha_{\text{УФ}}(\lambda) = 9,059 \cdot 10^{-3} \text{ дБ/км}$$

Розрахуємо згасання в інфрачервоній області

$$\alpha_{\text{ІЧ}}(\lambda) = 0,019 \text{ дБ/км}$$

Сумарне значення дає нам теоретичний ліміт власних втрат в ОВ. Крім цього, за рахунок недосконалості технології виготовлення ОВ на загасанні позначається втрати на мікрозгинах, які виникають при монтажі та прокладанні ВОЛЗ. Згасання на макровигинах визначається за формулою

$$\alpha_{\text{МАКР}}(\lambda) = -10 \lg \left( \left| 1 - \frac{2an_1^2}{R \cdot NA^2} \right| \right), \quad (2.15)$$

де  $R$  - радіус вигину ОВ;

$a$  - Радіус серцевини ОВ,  $a = 4$  мкм.

Розрахуємо загасання на макровигинах

$$\alpha_{\text{МАКР}}(\lambda) = 0.001 \text{ дБ/км}$$

Визначимо сумарне значення коефіцієнта згасання

$$\alpha_{\Sigma} = 0.21 \text{ дБ/км}$$

Імпульси світла, послідовність яких визначає інформаційний потік, у процесі поширення ОВ розпливаються. При досить великому розширенні імпульси починають перекриватися отже стає неможливим їх розрізнити прийому.

Результуюча дисперсія визначається як

$$\tau_{\text{рез}} = \sqrt{\tau_{\text{хр}}^2 + \tau_{\text{нмд}}^2}, \quad (2.16)$$

де  $\tau_{\text{хр}}$  - хроматична дисперсія, с/км;

$\tau_{\text{нмд}}$  - поляризаційно-модова дисперсія с/км.

Для одномодового оптичного волокна користуються значенням дисперсії, нормованим на нанометр ширини спектра джерела та кілометр довжини волокна, яке називають питомою хроматичною дисперсією.

Питома дисперсія вимірюється в пс/(нм·км). Хроматична дисперсія, с/км, пов'язана з питомою хроматичною дисперсією співвідношенням

$$\tau_{xp}(\lambda) = D(\lambda) \cdot \Delta\lambda, \quad (2.16)$$

де  $D(\lambda)$  - питома хроматична дисперсія,  $D(\lambda) = 8 \cdot 10^{-12}$  с/(нм·км);

$\Delta\lambda$  - Ширина спектра випромінювання джерела, (2 нм).

Визначимо хроматичну дисперсію

$$\tau_{xp}(\lambda) = 16 \cdot 10^{-12} \text{ с/км}$$

Поляризаційно-модова дисперсія  $\tau_{нмд}$  виникає внаслідок різної швидкості поширення двох взаємно перпендикулярних поляризаційних складових моди. Поляризаційно-модова дисперсія визначається за формулою:

$$\tau_{нмд}(\lambda) = T \cdot \sqrt{L}, \quad (2.17)$$

де  $T$  – коефіцієнт питомої дисперсії,  $T = 0,1$  пс/км<sup>1/2</sup>;

$L$  – протяжність лінії,  $L = 30$  км.

Розрахуємо поляризаційно-модову дисперсію

$$\tau_{нмд}(\lambda) = 0,547 \cdot 10^{-12} \text{ пс/км}^{1/2}$$

Через невелику величину  $\tau_{нмд}$  може виявлятися виключно в одномодовому волокні, коли використовується передача широкосмугового сигналу (смуга пропускання 2,4 Гбіт/с і вище) з дуже тонкою спектральною смугою випромінювання 0,1 нм і менше.

Результуюча дисперсія дорівнюватиме

$$\tau_{рез}(\lambda) = 16,01 \cdot 10^{-12} \text{ с/км}$$

Пропускна здатність визначає обсяг інформації, який можна передавати у ОК. Смуга пропускання оптичного кабелю залежить від дисперсії, що менше дисперсія, то більший потік інформації можна передати по волокну. Смуга пропускання пов'язана з дисперсією співвідношенням

$$W(\lambda) = \frac{0.44}{\tau_{рез}(\lambda)}, \quad (2.18)$$

Розрахуємо смугу пропускання оптичного кабелю

$$W(\lambda) = 27480 \text{ МГц} \cdot \text{км}$$

### 2.3. Розрахунок енергетичного запасу системи

Проектування лінії ґрунтується на розрахунку його бюджету. Ціль полягає в тому, щоб мати найбільш ефективний проект, здатний задовольнити нашим вимогам.

При його розрахунку практично доводиться визначати такі параметри лінії, як:

- вихідну потужність джерела світла;
- втрати у волокні;
- втрати від оптичних роз'ємів, зростків, сполучних шнурів;
- допуски.

Енергетичний потенціал волоконно-оптичної системи передачі розраховується за формулою

$$E_{\Pi} = P_{\text{ПЕР}} - P_{\text{ПР}}, \quad (2.19)$$

де  $P_{\text{ПЕР}}$  – рівень потужності оптичного випромінювача, дБм;

$P_{\text{ПР}}$  – чутливість приймача, дБм.

При цьому залежно від вибраного коду в лінії середній рівень потужності визначають, виходячи з наступного виразу

$$P_{\text{ПЕР}} = P_c - \Delta P, \quad (2.20)$$

де  $P_c$  – рівень середньої потужності оптичного сигналу, дБм;

$\Delta P$  – Зміна середньої потужності, для коду NRZ  $\Delta P = 3$  дБ.

Розрахуємо середній рівень потужності оптичного випромінювача

$$P_{\text{ПЕР}} = 5 - 3 = 2 \text{ дБм}$$

Тоді енергетичний потенціал волоконно-оптичної системи передачі дорівнюватиме

$$E_{\Pi} = 2 - (-28) = 30 \text{ дБм}$$

Втрати, що завдаються мультиплексором та OADM-модулем

$$a_0 = n_{\text{mux}} \cdot \alpha_{\text{mux}} + n_{\text{oadm}} \cdot \alpha_{\text{oadm}}, \quad (2.21)$$

де  $n_{\text{mux}}$  – кількість мультиплексорів,  $n_{\text{mux}} = 1$ ;

$n_{\text{oadm}}$  – кількість OADM-модулів,  $n_{\text{oadm}} = 6$ ;

$\alpha_{\text{mux}}$  – Втрати, що вносяться мультиплексором,  $\alpha_{\text{mux}} = 4$  дБ;

$\alpha_{oadm}$  - Втрати, що вносяться OADM-модулем,  $\alpha_{oadm} = 1,3$  дБ.

Розрахуємо втрати, що вносяться обладнанням

$$a_0 = 11,2 \text{ дБ}$$

Сумарні втрати у каналі визначаються співвідношенням

$$a_{\Sigma} = a_{H3} \cdot n_{H3} + a_{P3} \cdot n_{P3} + a_0 + \alpha \cdot L_K, \quad (2.22)$$

де  $L_K$  - Довжина каналу,  $L_K = 30$  км;

$\alpha$  - погонне згасання,  $\alpha = 0,2$  дБ/км;

$n_{H3}$  - число нероз'ємних з'єднань,  $n_{H3} = 8$ ;

$n_{P3}$  - число роз'ємних з'єднань,  $n_{P3} = 14$ ;

$a_{H3}$  - втрати у нероз'ємних з'єднаннях,  $a_{H3} = 0,02$  дБ/км;

$a_{P3}$  - втрати у роз'ємних з'єднаннях,  $a_{P3} = 0,2$  дБ/км.

Отже, сумарні втрати у каналі становитимуть

$$a_{\Sigma} = 20,16 \text{ дБ}$$

З урахуванням енергетичного потенціалу системи допустимі втрати у волоконно-оптичному тракті становитимуть

$$a_{дон} = E_{\Pi} - a_{\Sigma}, \quad (2.23)$$

Допустимі втрати в волоконно-оптичному тракті

$$a_{дон} = 9,84 \text{ дБ}$$

Якщо нерівність  $E_{\Pi} > a_{\Sigma}$  не дотримується, то необхідно зменшувати довжину  $L_K$ , вибрати ВОК із меншим згасанням, перейти іншу робочу довжину, або вибрати ПОМ з більшою потужністю, або збільшити чутливість ПРОМ. Однак необхідно враховувати, що краще параметри ПОМ і ПРОМ, тим дорожче вони коштують і тут необхідно враховувати критерій ціна/якість.

Тоді довжина регенераційної ділянки становитимуть

$$l_{PD} \leq \frac{a_{дон}}{\alpha}, \quad (2.24)$$

Розрахуємо довжину регенераційної ділянки

$$l_{PD} = 49,2 \text{ км}$$

Оскільки відстань між початковою та кінцевою станціями у підприємстві становить 30 км, то встановлювати регенераційний пункт не потрібно.

## 2.4. Визначення швидкодії системи

Вибір типу ОК можна оцінити розрахунком швидкодії системи та порівнянням його з допустимим значенням. Допустима швидкодія залежить від характеру переданого сигналу, швидкості передачі інформації та визначається за формулою

$$t_{\Sigma} = \frac{\beta}{B}, \quad (2.25)$$

де  $\beta$  - коефіцієнт, що враховує характер лінійного сигналу (лінійного коду), для коду NRZ  $\beta = 0,7$ ;

$B$  - необхідна швидкість передачі,  $B = 622 \cdot 106$  біт/с.

Розрахуємо допустиму швидкодію системи

$$t_{\Sigma} = 1,13 \text{ нс}$$

Загальна очікувана швидкодія ВОСП розраховується за формулою

$$t_{Oч} = 1,111 \sqrt{t_{ПЕР}^2 + t_{ПР}^2 + t_{ОВ}^2}, \quad (2.26)$$

де  $t_{ПЕР}$  - швидкодія ПОМ,  $t_{ПЕР} = 0,5$  нс;

$t_{ПР}$  - швидкодія ПРОМ,  $t_{ПР} = 0,2$  нс;

$t_{ОВ}$  - поширення імпульсу на довжині ділянки

$$t_{ОВ} = \tau_{РЕЗ} \cdot l_K, \quad (2.27)$$

де  $\tau_{РЕЗ}$  - результуюча дисперсія волокна,  $\tau_{РЕЗ} = 16,01$  нс;

$l_K$  - довжина каналу,  $l_K = 30$  км.

Таким чином, загальна очікувана швидкодія ВОСП становитиме

$$t_{Oч} = 0,8 \text{ нс}$$

Оскільки ми отримали результати:  $t_{Oч} = 0,8 \text{ нс} < t_{дон} = 1,13 \text{ нс}$ , то вибір оптичного кабелю зроблено правильно.

Запас по швидкодії, визначається різницею

$$\Delta t = t_{Oч} - t_{\Sigma} , \quad (2.28)$$

Підставивши відомі значення, отримуємо

$$\Delta t = 0,33 \text{ нс}$$

## 2.5. Розрахунок надійності системи підприємства

Надійність є однією з найважливіших характеристик сучасних мереж зв'язку.

Основними показниками надійності є:

- інтенсивність відмов  $X$ , годин;
- середнє напрацювання на відмову  $T_0$ , годину;
- середній час відновлення  $T_B$ , година;
- коефіцієнт готовності  $K_T$ ;
- інтенсивність відновлення  $M$ , 1/година.

Розрахунок показників надійності проводиться за наступних допусків: відмови елементів магістралі є раптовими, незалежними друг від друга, їх інтенсивність постійна протягом усього періоду експлуатації.

Інтенсивність відмов визначається за формулою

$$X_{\Sigma} = nX_1 + LX_2, \quad (2.29)$$

де  $n$  – число кінцевих пунктів,  $n = 6$ ;

$L$  – довжина лінії,  $L = 30$  км;

$X_1$  - інтенсивність відмов кінцевого пункту, 1/годину;

$X_2$  – інтенсивність відмов одного кілометра лінійно-кабельних споруд, 1/км.

Таблиця 2.3

Показники надійності

Показники надійності	ОРП	Кабель на 1 км
Інтенсивність відмов $\lambda$ , 1/ч	$10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-8}$
Час відновлення пошкодження $t_B$ , ч	0,5	5,0

Тоді інтенсивність відмов лінійного тракту становить

$$X_{\Sigma} = 2,1 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$$

Середнє напрацювання на відмову визначається виразом

$$T_0 = \frac{1}{X_{\Sigma}}, \quad (2.30)$$

Розрахуємо напрацювання на відмову

$$T_0 = 476191 \text{ ч.}$$

Коефіцієнт готовності системи визначається за формулою

$$K_{II} = \frac{T_0}{T_0 + T_B}, \quad (2.31)$$

де  $T_B$  - середній час відновлення, год.

Тоді коефіцієнт готовності системи становитиме

$$K_{II} = 0,99998$$

Коефіцієнт простою знаходиться за формулою

$$K_{II} = 1 - K_r, \quad (2.32)$$

Розрахуємо коефіцієнт простою системи

$$K_{II} = 2 \cdot 10^{-5}$$

Інтенсивність відновлення визначається виразом

$$M = \frac{1}{T_B}, \quad (2.33)$$

Визначимо інтенсивність відновлення системи

$$M = 0,2 \text{ ч}$$

Імовірність безвідмовної роботи визначимо за формулою (2.34) для таких інтервалів часу:  $t_1 = 1$  год;  $t_2 = 1$  день = 24 години;  $t_3 = 1$  місяць = 720 годин;  $t_4 = 1$  рік = 8640 годин;  $t_5 = 10$  років = 86400. Результати розрахунків занесемо до таблиці

$$P(t_0) = e^{(-x_{\Sigma} \cdot t)}, \quad (2.34)$$

## Можливість безвідмовної роботи

Можли- вість без- відмовної роботи	Інтервал часу t, год				
	1	24	720	8640	86400
P(t)	0,99999	0,99994	0,99848	0,98201	0,83406

## 2.6. Схема проектованої мережі підприємства

З використанням обладнання Cisco Systems схема проектованої мережі підприємства матиме такий вигляд:

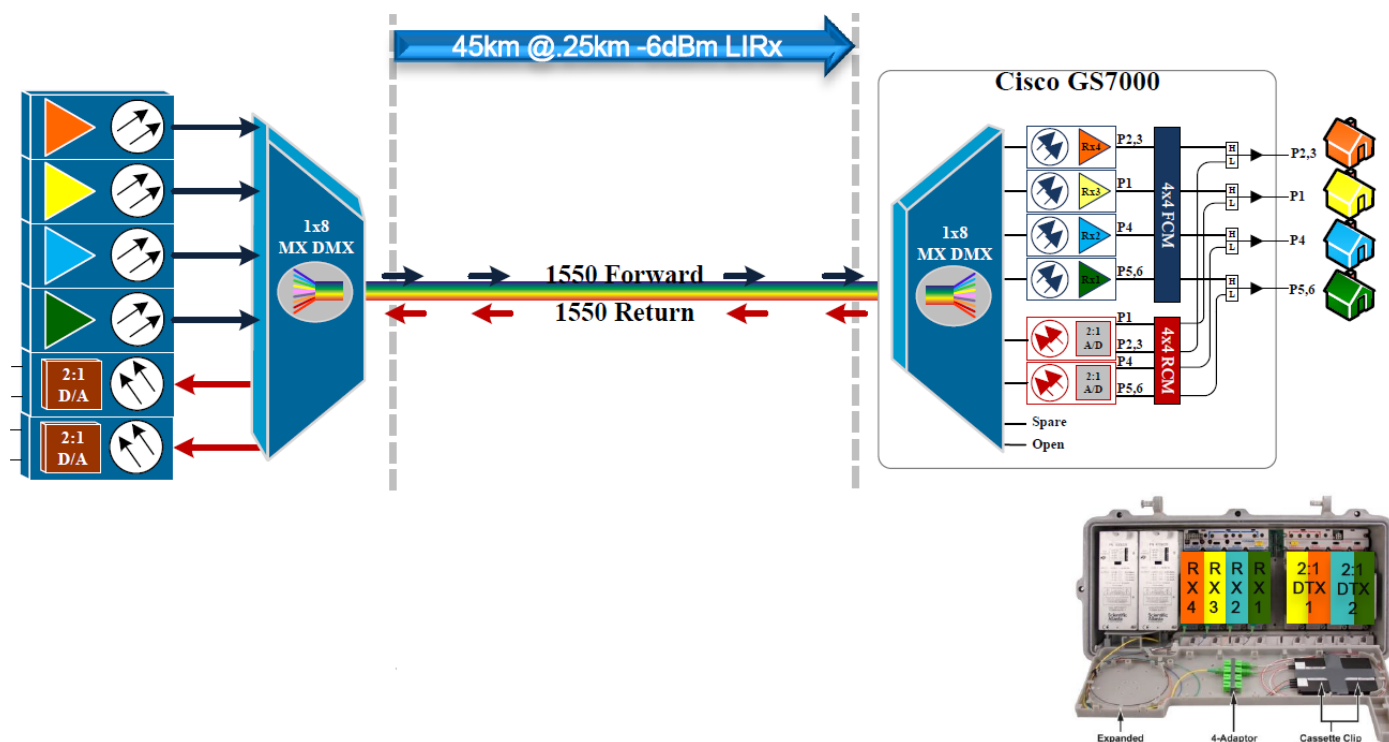


Рис. 2.2. Використання технології Full Spectrum Multiwave у мультиплексорах Cisco GS 7000



Full Spectrum Multiwave – це аналогова оптична технологія каналних лазерів (зазвичай у С-діпазоні), які можна мультиплексувати в одне волокно, що живить кластер вузлів. У рішенні Cisco використовуються стандартні довжини хвиль сітки, що відповідають Міжнародному союзу електрозв'язку (ITU), які розподіляються каналами для пом'якшення чотириввильового змішування.

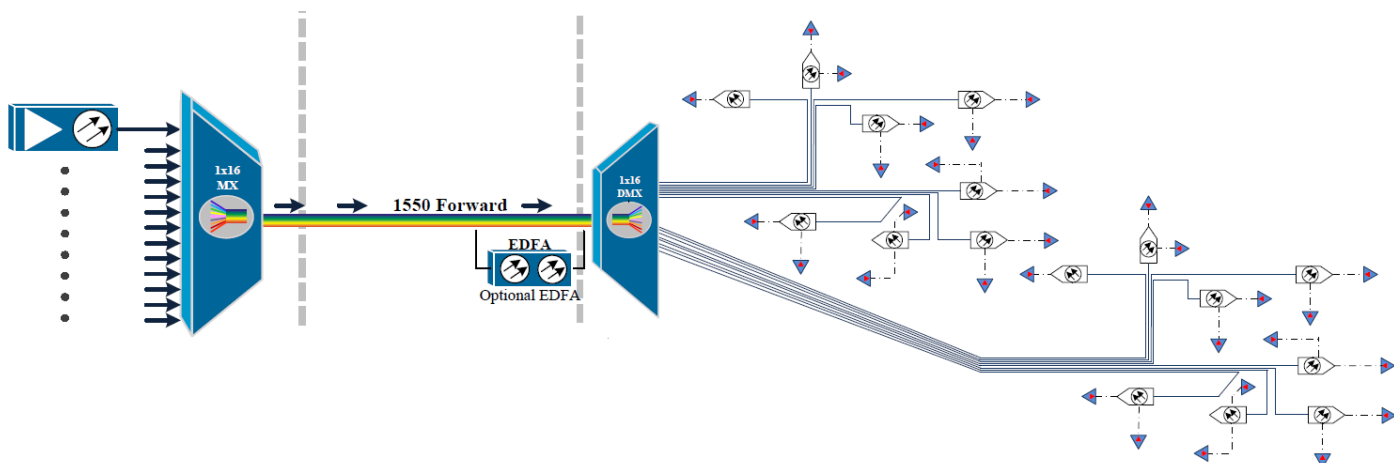


Рис. 2.3. Одне волокно P2MP для кластера вузлів живлення DMX

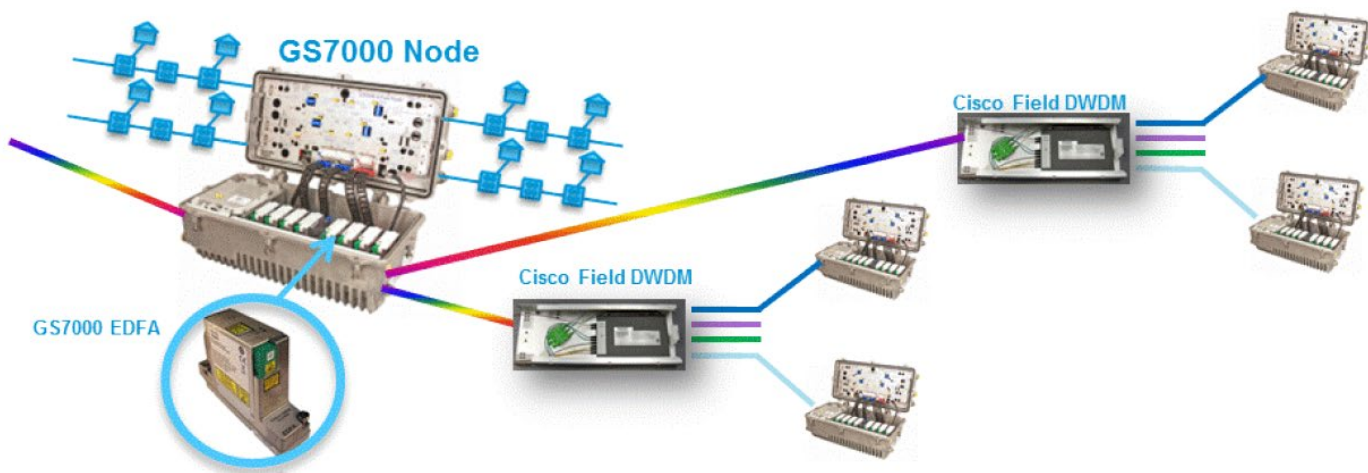


Рис. 2.4. Вузол HFC з EDFA

Full Spectrum Multiwave приймається вузлом GS7000, оснащеним модулем EDFA для посилення сигналу. Посилені довжини хвиль прямують на захищений в польових умовах пасивний DWDM, довжини хвиль DMUX подаються на локальний вузол (вузла з EDFA) і вузли області 1xN.

Область застосування: Розширення кабельної мережі, Fiber Deep, MetroE.....типова побудова від 8 до 16 вузлів (польові пасивні елементи можуть бути розміщені в корпусі блоку або розподілені).

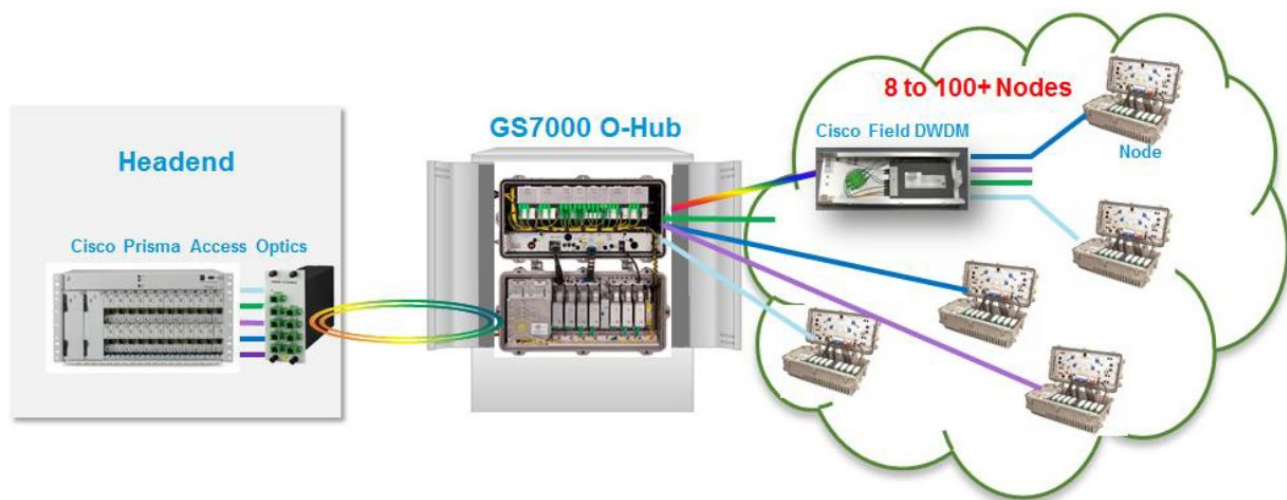


Рис. 2.5. Оптичний концентратор - подовжувач повного спектру

Платформа O-Hub є загартованим в польових умовах корпусом «вузлового типу», в який вбудовані EDFA, захисні перемикачі та пасивні оптичні елементи.

Розширене рішення, яке розширює площу кабельної системи HFC до тих областей, які знаходяться за межами цієї кабельної системи. Можлива консервація волокна для вузлів.

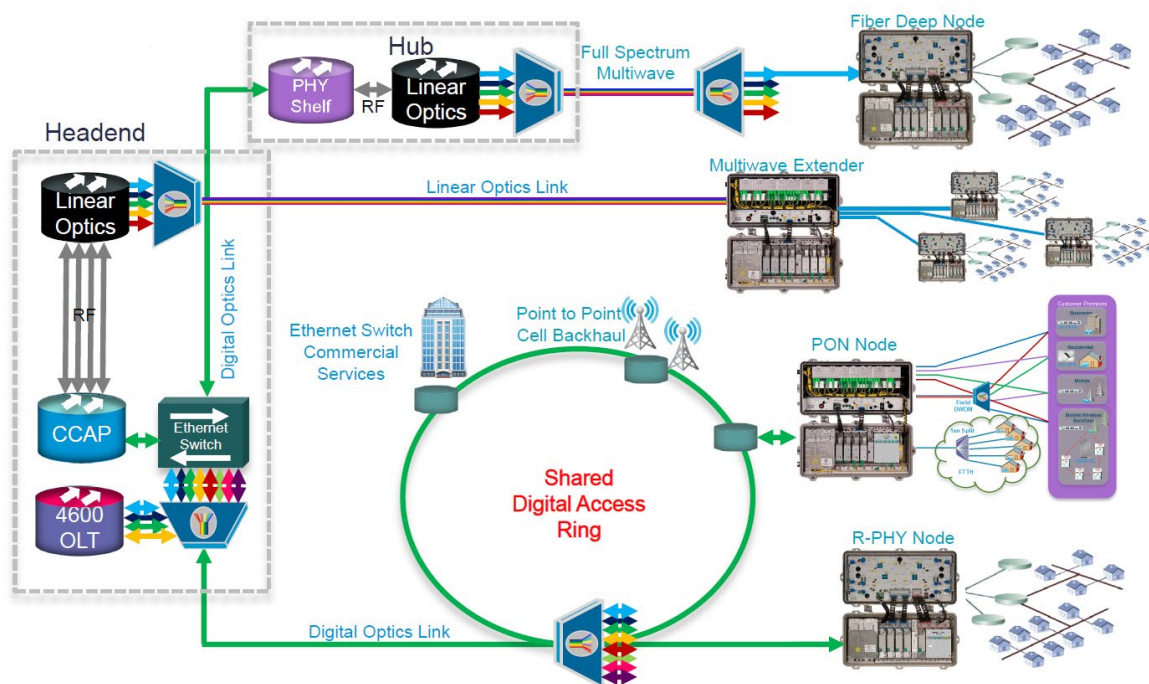


Рис. 2.6. Загальна схема побудови кабельної системи HFC за архітектурою FD

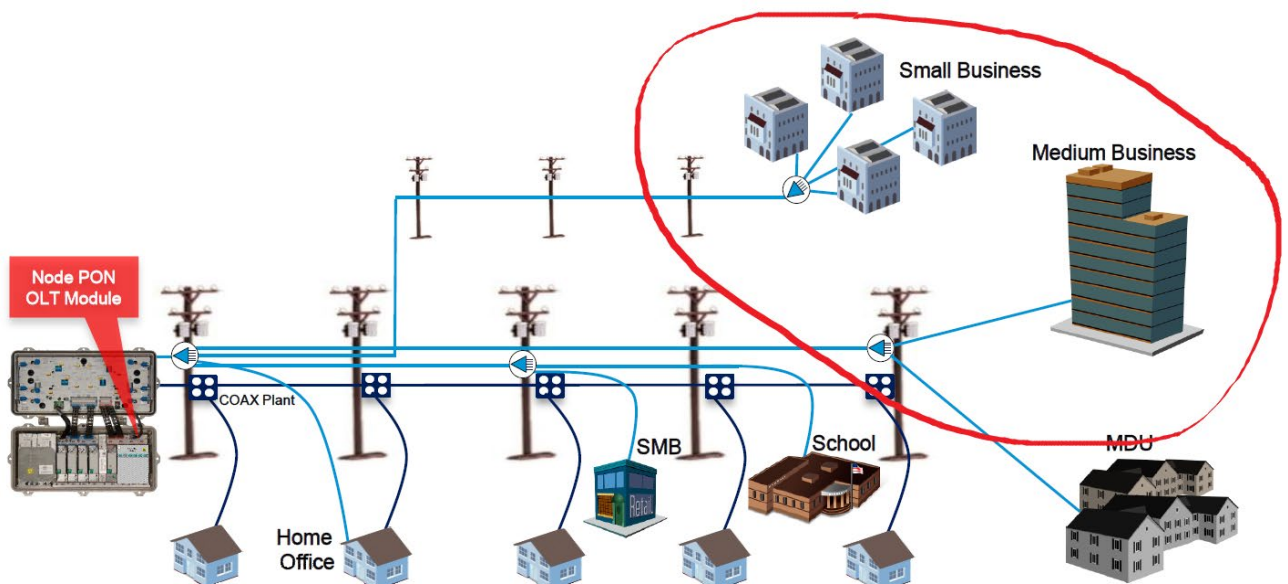


Рис.2.7. Архітектура побудови кабельної системи за допомогою FD

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

У цьому розділі було розглянуто розрахунок показників системи підприємства. Зокрема було визначено швидкість передачі системи, розглянуто технічні характеристики CWDM мультиплексора.

Як середовище передачі системи був вибраний кабель ТКО ARM SM 2F. Даний кабель може використовуватись у телекомунікаційних мережах загального використання для прокладання в ґрунтах або каналах кабельної каналізації.

Було проведено розрахунок передавальних характеристик оптичного волокна, числова апертура – основний параметр оптичного волокна, пов'язаний із максимальним кутом уведення випромінювання. Вона використовується для розрахунку ефективності введення випромінювання у ОВ.

Важливою характеристикою ОВ є розподіл світла одномодовому оптичному волокну (ОВ) по серцевині ОВ. Знання цієї характеристики залежно від довжини хвилі впливає якість з'єднань двох ОВ. Розрахований найефективніший діаметр поля моди.

Згасання в оптичному волокні обумовлено двома основними факторами: розсіюванням Релея та іншими втратами, які мінімізуються при високотехнологічному виробництві ОВ. Також розраховані коефіцієнти згасання в ультрафіолетовій та інфрачервоній ділянці.

Сумарне значення дає нам теоретичний ліміт власних втрат у ОВ. Крім цього, за рахунок недосконалості технології виготовлення ОВ на згасанні позначається втрати на мікрозгинах та макровигинах, що виникають при монтажі та прокладанні ВОЛЗ.

Імпульси світла, послідовність яких визначає інформаційний потік, у процесі поширення ОВ розпливаються. При досить великому розширенні імпульси починають перекриватися отже стає неможливим їх розрізнити прийому. Для одномодового оптичного волокна використовують значення дисперсії, що нормується на нанометр ширини спектра джерела і кілометр довжини волокна, яке називають питомою хроматичною дисперсією.

Пропускна здатність визначає обсяг інформації, яку можна передавати до ОК. Смуга пропускання оптичного кабелю залежить від дисперсії, що менше дисперсія, то більше вписувалося потік інформації можна передати по волокну.

Було проведено розрахунок енергетичного запасу системи

Проектування лінії ґрунтується на розрахунку його бюджету. Ціль полягає в тому, щоб мати найбільш ефективний проект, здатний задовольнити нашим вимогам. За його розрахунку практично доводиться визначати такі параметри лінії, як:

- вихідну потужність джерела світла;
- втрати у волокні;
- втрати від оптичних роз'ємів, зростків, сполучних шнурів;
- допуски.

З урахуванням енергетичного потенціалу системи, можна розрахувати довжину регенераційної ділянки. Оскільки відстань між початковою та кінцевою станціями на підприємстві становить 30 км, то встановлювати регенераційний пункт не потрібно. Також було розраховано надійність системи підприємства.

Складено схему проектованої мережі підприємства з використанням обладнання Cisco Systems.

## ВИСНОВКИ

Підсумовуючи, стратегія вибіркової міграції абонентів є розумним підходом для переходу з HFC до FTTx. Перехід вищих рівнів на FTTx може придбати HFC додаткові десятиліття для 80-95% передплатників у флагманських базових/економічних рівнях. Тмах домінує протягом наступних 5-7 років, тому важливіше збільшити потужність HFC принаймні до 1 ГГц спектру, а не розділити вузли. Однак Tavg нарешті наздоганяє через 8-10+ років; і зменшення розміру SG повертається в моду. Оператори повинні проштовхувати волокно достатньо глибоко, щоб увімкнути селективний FTTx для вищих рівнів за запитом, і бути готовим до наступного раунду розподілу SG.

Щоб зрозуміти, який варіант найкраще підходить для цієї міграції, у документі докладно проаналізовано 5 унікальних реальних вузлів, які варіювалися від розрідженого сільського вузла до дуже щільного міського вузла. Потім були виконані роботи з проектування цих п'яти вузлів для кожного з наступних сценаріїв:

- "Бізнес як завжди": активне зниження частоти 1 ГГц при оновленні з поділом вузлів у міру необхідності;
- Fiber Deep – FTTLA;
- FTTC;
- FTTP.

Результати показують, що існують значні варіації вартості в різних варіантах використання. Однак деякі тенденції все-таки виникли, які повинні допомогти операторам. Глибокі підходи, такі як FTTLA, забезпечують деякі значні переваги, такі як:

### **1. Максимальна продуктивність DOCSIS 3.1**

- а. Місткість даних, що відповідає 10 Гбіт/с PON

### **2. Забезпечення відмінного переходу до FTTP на вимогу**

- а. Вибіркова міграція абонентів на FTTP за необхідності

б. В середньому оптоволокну знаходиться на відстані менше ніж 1000 футів від будь-якого відгалужувача.

### **3. Забезпечення точної деталізації оптимізації розмірів DOCSIS SG.**

а. Ті самі розміри SG, що й PON: ~30-60 будинків

б. Максимальне використання ресурсів DOCSIS CMTS/CCAP

**4. Зниження витрат на технічне обслуговування, електроенергію та експлуатаційні витрати порівняно із сучасними HFC.**

### **5. Майбутня архітектура**

а. N+0 включає повний дуплекс DOCSIS (FDX) та розширений спектр

б. Ці нові технології обіцяють зробити для DOCSIS та кабелю те, що G.fast намагається зробити для DSL та крученої пари.

Аналіз FTTLA показує, що це ефективна стратегія міграції FTTx із глибоким волокном, яка є економічною сходинкою на шляху до FTTP. Це може додати десятиліття до життя переважної більшості клієнтів, які залишаються на HFC, одночасно дозволяючи вибіркову міграцію верхніх рівнів на FTTP.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. “Using DOCSIS to Meet the Larger Bandwidth Demand of the 2020 decade and Beyond” Tom Cloonan, Ayham Al-Banna, Frank O’Keeffe; The NCTA Cable Show Spring Technical Forum, INTX 2016
2. “Nielsen’s Law vs. Nielsen TV Viewership for Network Capacity Planning,” Mike Emmendorfer, Tom Cloonan; The NCTA Cable Show Spring Technical Forum, April, 2014
3. “A Side-by-side Comparison of Centralized vs Distributed Access Architectures”, Mike Emmendorfer et. al., 2014 SCTE Spring Technical Forum, SCTE
4. “Comparing the DOCSIS 3.1 and HFC Evolution to the FTTH Revolution” Mike Emmendorfer; 2015 SCTE Spring Technical Forum, SCTE
5. “An Economic Analysis of Brownfield Migration CTTH vs. FTTH”, Mike Emmendorfer, The NCTA Cable Show Spring Technical Forum, INTX 2016
6. “A Comparison of Centralized vs. Distributed Access Architecture for PON”, Michael Emmendorfer, Sebnem ZorluOzer; Technical Forum, INTX 2016
7. “Is Nielsen Ready to Retire? Latest Developments in Bandwidth Capacity Planning”, John Ulm, T. Cloonan, M. Emmendorfer, J. Finkelstein, JP Fioroni; 2014 SCTE Cable-Tec Expo
8. “HFC Transformation to FTTP: The Role of RFoG, PON and Hybrid solutions”, John Ulm, Venk Mutalik; 2015 SCTE Cable-Tec Expo
9. “The Yin and the Yang of a Move to All Fiber: Transforming HFC to an All Fiber Network while Leveraging the Deployed HFC Assets”; Venk Mutalik, Marcel Shemann, Zoran Maricevic, John Ulm; 2015 INTX NCTA Spring Technical Forum
10. “Cable’s Success is in its DNA: Designing Next Generation Fiber Deep Networks with Distributed Node Architecture” Venk Mutalik, Zoran Maricevic; 2016 SCTE Cable-Tec Expo
11. <https://www.commscope.com/globalassets/digizuite/1834-scte-future-directions-for-fiber-deep-hfc-deployments.pdf>



12. <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/service-provider/index.html>