

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інститут інформатики та радіоелектроніки, факультет радіоелектроніки та телекомунікацій
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра Радіотехніки та телекомунікацій
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до магістерської роботи
(ступінь вищої освіти)

на тему Розробка і дослідження волоконно-
оптичної пасивної мережі доступу

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи Р218М

Спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
(код і найменування спеціальності)

Освітньої програми ОПП «Радіотехніка»

Покорський В.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник

Шеротихін О.В.
(прізвище та ініціали)

Рецензент

Гурманова Н.І.
(прізвище та ініціали)

20 19

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут Інформатики та радіоелектроніки, факультет Радіоелектроніки та телекомунікацій
 Кафедра Радіотехніки та телекомунікацій
 Ступінь вищої освіти другий
 (магістерський)
 Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
 (код і найменування)
 Освітня програма ОПП Радіотехніка
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри РТТк.т.н., доц. Морщавка С.В.«05» Грудня 2019 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТА (КИ)

Покорський Володислав Володимирович
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка і дослідження волоконно-оптичної пасивної мережі доступу

керівник роботи Щебетихін О.В. доцент
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «08» листопада 2019 року №365

2. Строк подання студентом роботи 04.12.2019

3. Вихідні дані до роботи Довжина хвилі 1310 нм, одне загострення 0,25 дБ, зворотне загострення 0,05 дБ, кількість ONT 18, найдовша гілка 3 км, найкоротша гілка 2 км, динамічний діапазон мережі 3 дБ.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Провести дослідження пасивної оптичної мережі, організувати існуючі технології пасивних оптичних мереж і зробити вибір найбільш оптимальної технології.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1. Зображення мережа PON
найбільш 0

6. Консультанти розділів роботи

6. Консультанти розділів роботи		Підпис, дата	
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	завдання видав	приймав виконання завдання
<u>I</u>	Доцент кафедри РТТ	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
<u>II</u>	Шекотихін Д. В.	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
<u>III</u>		<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
<u>IV</u>	Ливоненко Т. В. доцент ФТБД	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
охоронограду	Гімичев Ю. В. доцент	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
К - конструктор	Мороз Т. В. асистент кафедри РТТ	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>

7. Дата видачі завдання « ср. » 09 2019 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1	Вибір напрямку вирішення проблеми "остатньої миті"	20.09.19	
2	Технології мережі PON	10.10.19	
3	Принцип побудови мережі з точки зору розподілу	12.11.19	
4	Вибір обладнання мережі PON	20.11.19	
5	Техніко-Економічний розрахунок	27.11.19	
6	Охорона праці та безпека в подібних ситуаціях	12.12.19	

Студент(ка)

~~підпис~~

Почарський В
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис

(поізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 125 сторінок, 35 рисунків, 18 таблиць, 11 джерел

Об'єкт дослідження – пасивна оптична мережа, яка являє собою частину мультисервісної мережі.

Мета роботи – аналіз існуючих технологій пасивних оптичних мереж і вибір найбільш оптимальної технології, яка задовольняє сучасним потребам ринку телекомунікаційних послуг.

У пояснювальній записці дипломного проекту описані існуючі мережі доступу, їх переваги та недоліки. Обрана оптимальна мережа доступу – PON. Розглянуто основні стандарти даної технології, устрій, принцип праці, архітектура побудови PON, проаналізовано способи проектування. Зроблено розрахунок збалансованого «дерева» PON. Зроблено вибір апаратури для проектування, описані її технічні характеристики.

В результаті спроектована мережа доступу за технологією PON, яка дозволяє надати абоненту різні види послуг. Зроблено оцінку капітальних витрат на побудову мережі, а також її окупність.

Розроблені засоби безпеки обслуговування и експлуатації мереж PON.

PON, СПЛІТТЕР, ЗБАЛАНСОВАНА МЕРЕЖА, МЕРЕЖА ДОСТУПУ, ТОПОЛОГІЯ «ДЕРЕВО», ОПТИЧНЕ ВОЛОКНО, OLT, ONT, ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИЙ КАБЕЛЬ

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	8
1 ВИБІР НАПРЯМКУ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ «ОСТАННЬОЇ МИЛІ»..	14
1.1 Вимоги до систем інфокомунікації.....	14
1.2 Аналіз принципів побудови сучасних мереж доступу і вибір оптимального варіанту	16
1.2.1 Технології групи xDSL.....	17
1.2.2 Мережі кабельного телебачення	19
1.2.3 Технології групи МКД	22
1.2.4 Технології групи LAN	23
1.2.5 Оптичні мережі доступу OAN.....	23
1.3 Обґрунтування вибору PON	26
2 ТЕХНОЛОГІЇ МЕРЕЖ PON	30
2.1 Архітектура PON.....	30
2.2 Принцип дії PON. Прямий і зворотний потік	32
2.2.1 Станційна ділянка	34
2.2.2 Лінійна ділянка.....	35
2.2.3 Абонентська ділянка.....	36
2.3 Стандартизація мереж PON і вибір оптимальної технології.....	37
2.4 Топології побудови мереж PON	45
2.5 Надійність і резервування оптичних волокон.....	48
3 ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ МЕРЕЖ З ТОЧКИ ЗОРУ РОЗПОДІЛУ БЮДЖЕТУ ПОТУЖНОСТІ	52
3.1 Алгоритм проектування збалансованої оптичної МД	57

3.2	Опис алгоритму розрахунку бюджету потужності збалансованої мережі PON.....	61
3.3	Розрахунок бюджету потужності збалансованої мережі доступу	64
4	ВИБІР ОБЛАДНАННЯ МЕРЕЖІ PON	78
4.1.	Оптична кросове обладнання	79
4.2	Обладнання лінійного ділянки мережі	84
4.2.1	Розгалужувачі (сплітери) і їх характеристики	85
4.2.2	Склад магістрального сегменту.....	93
4.2.3	Склад розподільної ділянки	96
4.3	Обладнання абонентського сегмента.....	96
5	ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК	101
5.1	Актуальність технології пасивної оптичної мережі з позиції маркетингу	101
5.2	Розрахунок витрат на практичну реалізацію проекту.....	105
5.3	Розрахунок заробітної плати.....	107
5.4	Відрахування на соціальне страхування.....	108
5.5	Витрати на відрядження	108
5.6	Витрати на роботи та послуги підрядної організації	108
5.7	Загальновиробничі витрати.....	109
5.8	Оцінка ефективності проекту	110
6	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ..	112
6.1	Аналіз потенційних небезпек	112
6.2	Заходи з техніки безпеки.....	113
6.3	Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці.....	115
6.4	Заходи щодо забезпечення пожежної безпеки.....	117

6.5 Заходи з цивільного захисту	119
ВИСНОВКИ.....	124
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	125

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ADSL	–	(Asymmetric Digital Subscriber Line) асиметрична цифрова абонентська лінія
ANSI	–	(American National Standards Institute) американський національний інститут стандартів
AON	–	(Active Optical Network) активні оптичні мережі
ATM	–	(Asynchronous Transfer Mode) асинхронний спосіб передачі даних
BPON	–	(Broadband PON) широкополосная PON (розвиток стандарту APON ITU-T G.983)
CDMA	–	(Code Division Multiple Access) множинний доступ з кодовим поділом
DOCSIS	–	(Data Over Cable Service Interface Specification) стандарт передачі даних по коаксіальному (телевізійному) кабелю
DSL	–	(Digital subscriber line) цифрова абонентська лінія
DSLAM	–	(Digital Subscriber Line Access Multiplexer) мультиплексор доступу цифрової абонентської лінії xDSL
ETSI	–	(European Telecommunications Standards Institute) Європейський інститут телекомунікаційних стандартів
FBT splitter	–	(Fused Biconic Tapersplitter) сплавні оптичні розгалужувачі
FTTB	–	(Fiber to the Building) принцип побудови ШСД з доведенням ОК до будівлі
FTTC	–	(Fiber to the Curb) принцип побудови ШСД з доведенням ОК до мікрорайону, кварталу або групи будинків
FTTH	–	(Fiber to the Home) принцип побудови ШСД з доведенням ОК до завдання
FTTN	–	(Fiber to the Node) принцип побудови ШСД з доведенням ОК до вузла

FTTx	–	(Fiberto the x) оптичне волокно до точки X
HDSL	–	(High Bit-Rate Digital Subscriber Line) високошвидкісна цифрова абонентська лінія
HFC	–	(Hybrid Fiber Coaxial) гібридні волоконно-коаксіальні мережі, кабельне телебачення (КТБ)
HPNA	–	(Home Phoneline Networking Alliance) об'єднана асоціація некомерційних промислових компаній
ISDL	–	(ISDN Digital Subscriber Line) цифрова абонентська лінія ISDN
IEEE	–	(Institute of Electrical and Electronic Engineers) інститут інженерів по електротехніці та електроніці
ISDN	–	(Integrated Services Digital Network) – цифрова мережа інтеграції послуг
ITU-T	–	(International Telecommunication Union – Telecommunication sector) сектор стандартизації електрозв'язку Міжнародного союзу електрозв'язку
LAN	–	локальна обчислювальна мережа
OAN	–	технології оптичного доступу
ODF	–	(Optical Distribution Frame) оптичний кросс
OLT	–	(Optical Line Termination) оптичне лінійне закінчення
ON	–	(Optical network) оптична мережа
ONT	–	(Optical Network Termination) оптичне мережеве закінчення
ONU	–	(Optical Network Unit) термінал оптичної мережі
PLC splitter	–	(Planar Lightwave Circuit splitter) племарні розгалужувачі
PON	–	(Passive Optical Network) пасивна оптична мережа
QAM	–	(Quadrature Amplitude Modulation) квадратурна (амплітудна) модуляція
QPSK	–	(Quadrature Phase Shift Keying или 4-PSK) квадратурна фазова маніпуляція
RADSL	–	(Rate-Adaptive Digital Subscriber Line) цифрова абонентська

	лінія з адаптацією швидкості з'єднання
SDH	– (Synchronous Digital Hierarchy) синхронна цифрова ієрархія (СЦІ)
SDSL	– (Single Line Digital Subscriber Line) однолінійна цифрова абонентська лінія
SHDSL	– (Single-pair High-speed + DSL) технологія симетричною дуплексною передачею даних сигналів по парі мідних провідників
STM	– (Synchronous Transfer Mode) технологія синхронного способу передачі даних
TDMA	– (Time Division Multiple Access) множинний доступ з поділом за часом
UADSL	– (Universal ADSL) універсальний ADSL
VDSL	– (Very High Bit-Rate Digital Subscriber Line) супершвидкісної цифрова абонентська лінія
WDM	– (Wavelength Division Multiplexing) спектральне ущільнення каналів
АЛ	– абонентська лінія
АТС	– абонентська телефонна станція
БС	– базова станція
ВОК	– волоконно-оптичний кабель
ВОЛС	– волоконно-оптична лінія зв'язку
КТБ	– кабельне телебачення
ОВ	– оптичне волокно
ОК	– оптичний кабель
ОР	– оптичний розгалужувач
ОРА	– оптична абонентська розетка
ОРК	– оптична розподільча коробка
ОРШ	– оптичний розподільний шафа
МАД	– мережа абонентського доступу

МД	–	мережа доступу
МКД	–	мережі колективного доступу
СМ	–	спліттерние муфти
ТКМ	–	телекомунікаційна мережа
ТфЗК	–	телефонія загального користування

ВСТУП

Мережі зв'язку для надання послуг телефонії з'явилися на початку ХХ століття і за подальший час зазнали ряд змін з точки зору ємності, швидкості обміну, використовуваних технологій і функцій вузлів комутації. В сучасних умовах інтенсивного розвитку економіки постійно зростає попит корпоративних і приватних користувачів на телекомунікаційні послуги. Цей попит стимулює операторів розвивати мережі доступу для задоволення потреби в даних послугах.

Запити користувачів у відношенні швидкості підключення до мережі стрімко ростуть. Здавалося, ще вчора ми використовували інтернет тільки для пересилання електронних листів, а сьогодні це не тільки доступ до багатих графікою веб-серверів, але і середовище для телефонного зв'язку та обміну відео. Тому, проблема «останньої милі» завжди була актуальною задачею для зв'язківців. Головною проблемою, яку вирішує «остання миля» – це проблема об'єднання різних видів інформації та її ефективна передача по одному каналу з високою швидкістю до кінцевого абонента. Швидкість, з якою дані передаються від провайдера (головної станції) по магістральній мережі до розгалужувача і швидкість з якою абонент отримує дані на вторинній мережі (від розподільника) завжди відрізняються.

До теперішнього часу з'явилося безліч технологій «останньої милі», і перед будь-яким оператором зв'язку стоїть завдання вибору технології, оптимально вирішальною завдання доставки будь-якого виду трафіку своїм абонентам. Універсального рішення цієї задачі не існує, у кожній технології є своя область застосування, свої переваги і недоліки. Вимоги до операторської мережі формуються на підставі переліку послуг, передбачуваного навантаження, масштабованості, керованості, надійності та економічності ефективності.

Будівництво мереж доступу (МД) в даний час йде головним чином за чотирма напрямками:

- мережі на основі існуючих мідних телефонних пар з використанням технології xDSL;
- гібридні волоконно-коаксіальні мережі;
- бездротові мережі;
- волоконно-оптичні мережі.

У зв'язку з цим представляється актуальним розгляд і дослідження існуючих МД з подальшим проведенням порівняльного аналізу їх технічних показників якості обслуговування.

Таким чином, основною метою роботи є дослідження стандартів мереж доступу і вибір оптимального варіанту, виходячи з сучасних тенденцій ринку телекомунікаційних послуг.

Рішення поставленої мети неможливо без таких основних завдань, як аналізу принципів побудови та специфіки організації існуючих мереж доступу, дослідження пасивних оптичних мереж з топологією "дерево", подальше дослідження стандартів PON, аналіз методів проектування GPON, побудова мережі PON.

Одна з технологій оптичних мультисервісних мереж, що дозволяють отримати по одному кабелю відразу три послуги (швидкі інтернети, тельавіденіє в HD-дозволі і телефонію), представник сімейства PON FTTH. Протяжність оптоволоконного кабелю може досягати 20 км, при цьому ведуться розробки, які дозволять збільшити її до 60 км. Технологія полягає в стандарті ITU-T G.984.4, який постійно вдосконалюється (додаються нові сервіси та інтерфейси). Перші кроки по стандартизації були зроблені в 1995 році, коли впливова група з семи компаній (British Telecom, France Télécom, Deutsche Telekom, NTT, KPN, Telefonica і Telecom Italia) створила консорціум, для того щоб втілити в життя ідеї множинного доступу по одному волокну.

1 ВИБІР НАПРЯМКУ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ «ОСТАННЬОЇ МИЛІ»

1.1 Вимоги до систем інфокомунікації

МД стали одним з напрямків, що найбільш активно розвиваються операторами зв'язку, і майбутнє оператора багато в чому залежить від того, які рішення обрані для його МД.

Термін «мережа доступу», який став популярним в останні роки, є повним аналогом терміна «мережа абонентського доступу» (МАД). Цей термін визначає ділянку мережі зв'язку (рисунок 1.1) між абонентської розеткою або в більш загальному випадку між мережним закінченням (NT – Network Termination) і інтерфейсом до вузла доступу або до місцевої телефонної станції. Це найбільш складна частина телекомунікаційної мережі (ТКМ), що характеризується великим набором інтерфейсів і устаткування, різними топологіями та середовищами передачі.

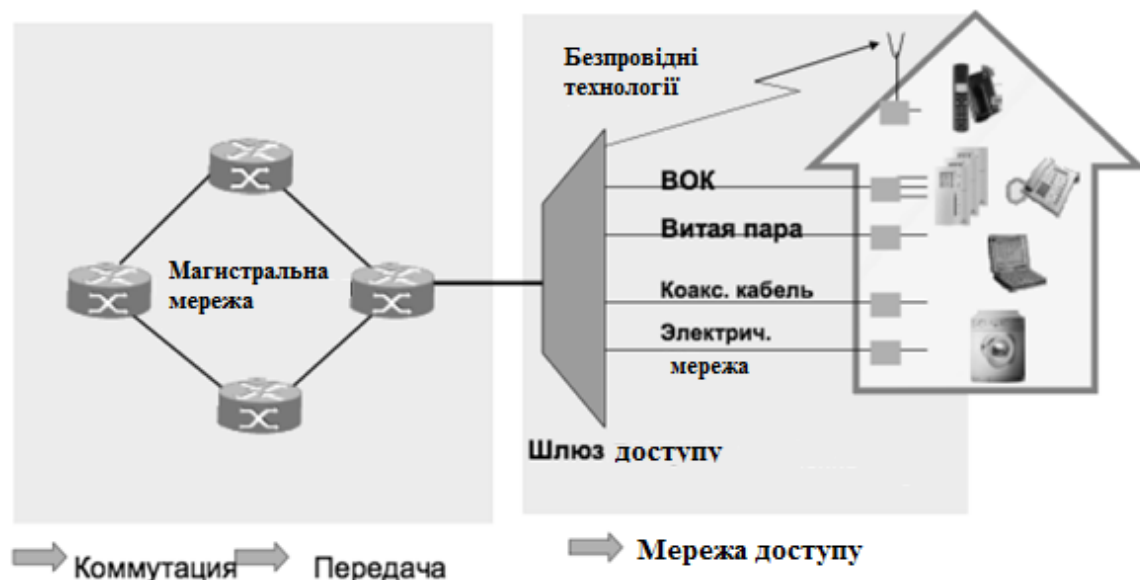


Рисунок 1.1 – Узагальнена структура сучасної мережі зв'язку

Рішення проблеми широкосмугового доступу дозволить задовольнити вимоги користувачів і отримати найбільший дохід від введення нових послуг.

Природним явищем на сьогоднішній день є і зростання вимог до якості обслуговування. В останні роки часто обговорюються аспекти підвищення надійності інфокомунікаційної системи. Йдеться про величину коефіцієнта готовності між двома терміналами користувачів, через які відбувається обмін інформацією.

Практично чверть відмов в обслуговуванні обумовлена обривом АЛ – основою МД. Для коефіцієнта готовності, рівного 0,99999, тривалість простою протягом року не повинна перевищувати 5,3 хвилини. Без поліпшення характеристик надійності МД виконати цю вимогу неможливо.

Переглядаючи підходи до побудови МД, оператори переслідують кілька основних цілей: утримати експлуатаційні витрати в розумних межах, уникнути побудови спеціалізованих мереж для кожного типу трафіку і забезпечити задоволення абонентів якістю послуг. Зіткнувшись з необхідністю надання абоненту повного спектра інфокомунікаційних послуг, оператори прийшли до розглянутого тут поняття мультисервісного доступу (забезпечення передачі будь-яких видів трафіку в одному каналі), основне призначення якого – швидкий, економічний і якісний доступ будь-якого користувача до всіх послуг мережі оператора зв'язку.

Також важливу роль в наданні якісних послуг зв'язку грає обладнання мережі доступу: мультисервісні абонентські концентратори, шлюзи доступу, шлюзи ІР-телефонії (медіашлюзи), мультисервісні комутатори доступу, а також різні інтегровані пристрої абонентського доступу, в значній мірі впливають на принципи побудови МД.

Побудова МД нового типу є ключовою проблемою для більшої частини операторів, які бажають утримати своїх абонентів і збільшити дохід від впровадження нових послуг. Подібні тенденції характерні як для країн, розвинених в області телекомунікацій, так і для країн, що розвиваються.

Таким чином, для задоволення всіх вимог сучасних систем інфокомунікацій надається можливість розглянути існуючі технології абонентського доступу і вибрати найбільш підходящу за всіма показниками, а також знаходження розумних рішень при побудові мережі доступу, що враховують диференціацію рівня попиту на послуги серед окремих груп абонентів.

1.2 Аналіз принципів побудови сучасних мереж доступу і вибір оптимального варіанту

Однією з головних завдань сучасних телекомунікаційних МД є питання організації МАД або "останньої милі", тобто надання якомога більшої смуги пропускання індивідуальним та корпоративним абонентам при мінімальних витратах. Тому вибір найбільш відповідної технології і способу побудови МД стає визначальним з позицій ефективних витрат на будівництво та експлуатацію мереж, а також можливостей розширення списку послуг в майбутньому. Метою нових розробок є побудова економічно ефективного абонентського сегмента, що забезпечує в той же час доставку користувачеві необхідного набору послуг. Різні технології доступу вибираються операторами в залежності від інфраструктури їх МД (стандартний телефонний кабель або кручена пара, коаксіальний кабель, волоконно-оптичний кабель, гібридні структури «волокну-коаксіал») і конкурентних умов. Всі ці рішення не однакові за своєю вартістю і іншим параметрам, тому питання вибору технології доступу залежить від кожного конкретного оператора.

Всі технології можна розділити по використовуваній середовища передачі: оптичний кабель, і металеві лінії.

Технології проводового абонентського доступу має сенс розбити на п'ять основних груп за критерієм середовища передачі і категоріям користувачів (рис. 1.2).

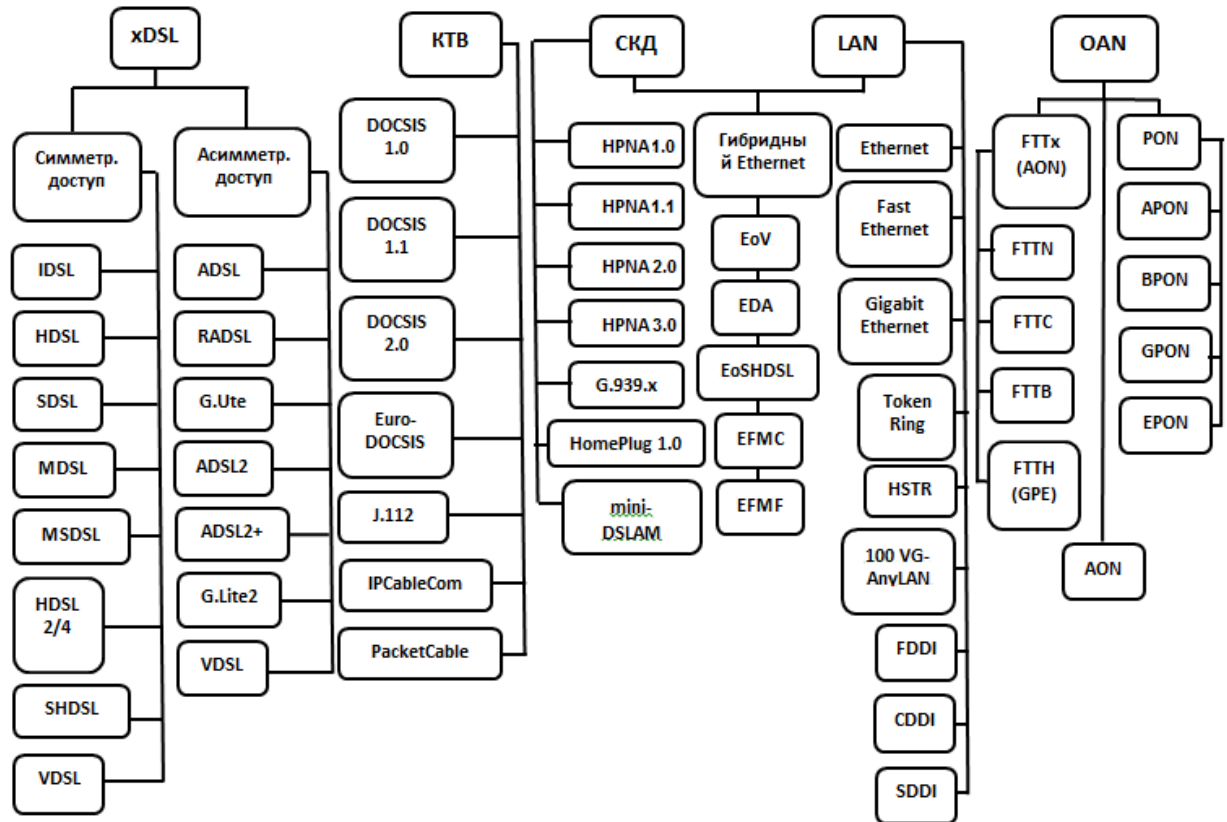


Рисунок 1.2 – Класифікація технологій проводового абонентського доступу

1.2.1 Технології групи xDSL

З середини 90-х років в МД на зміну системам з тимчасовим поділом (E1/T1), а також доступу на базі ISDN приходить сімейство технологій xDSL (digitalsubscriberline – цифрова абонентська лінія) – це група технологій, призначених для надання ТМЗК, послуг мультимедіа і використовують в якості середовища передачі існуючу інфраструктуру ТМЗК.

Технології xDSL дозволяють передавати дані зі швидкостями, значно перевищують ті швидкості, які доступні навіть самим кращим аналоговим і цифровим модемів. Ці технології підтримують передачу голосу, високошвидкісну передачу даних і відеосигналів, створюючи при цьому значні переваги, як для абонентів, так і для провайдерів.

Ключові переваги технологій xDSL полягають у використанні існуючих АЛ, в значній збільшенні швидкості передачі даних по мідній парі телефонних дротів без необхідності їх модернізації, в забезпеченні швидкості передачі даних від 32 кбіт/с до 50 Мбіт/с, так що користувач може зробити вибір залежно від власних потреб. Також існує можливість одночасного використання аналогового телефонного зв'язку і цифрової високошвидкісної передачі даних по одній і тій же лінії, розділяючи спектри цих сигналів.

До основних типів xDSL відносяться ADSL, HDSL, IDSL, MSDSL, PDSL, RADSL, SDSL, SHDSL, UADSL, VDSL.

Хронологічно першим представником сімейства систем xDSL була система HDSL (High Bit Rate DSL – високошвидкісна цифрова АЛ), що забезпечує швидкості передачі T1 / E1 (1,5 / 2 Мбіт / с) по двох витих парах на відстань до 5 км. Бажання відмовитися від використання другої кручений пари привело до розробки в середині 90-х років систем, що забезпечують швидкості 1,5 і 2 Мбіт / с по одній парі (системи SDSL – Symmetrical DSL, однолінійна цифрова АЛ).

Однак реальний інтерес до застосування технологій xDSL з боку масового споживача почався з впровадженням систем ADSL (Asymmetric DSL – асиметрична цифрова АЛ). Ці системи забезпечують по одній парі швидкості передачі від 384 кбіт / с до 8 Мбіт / с від станції до абонента (в прямому напрямку або «вниз») і від 128 кбіт / с до 1,5 Мбіт / с від абонента до телефонної станції («наверх» або в зворотному напрямку).

Всі ці технології забезпечують високошвидкісний цифровий доступ по абонентській телефонній лінії. У таблиці 1.1 наведено порівняльний аналіз всіх технологій xDSL.

Таблиця 1.1 – Порівняльний аналіз технологій xDSL

Технологія xDSL	Максимальна швидкість (прийом/передача)	Максимальна відстань	Кількість телефонних пар	Основне застосування
ADSL	24 Мбіт/с / 3,5 Мбіт/с	5,5 км	1	Доступ в Інтернет, голос, відео, HDTV (ADSL2+)
IDSL	144 кбіт/с	5,5 км	1	Передача даних
HDSL	2 Мбіт/с	4,5 км	2	Об'єднання мереж, послуги E1
SDSL	2 Мбіт/с	3 км	1	Об'єднання мереж, послуги E1
VDSL	65 Мбіт/с / 35 Мбіт/с	1,5 км на max швидкості	1	Об'єднання мереж, HDTV
SHDSL	2,32 Мбіт/с	7,5 км	1	Об'єднання мереж
UADSL	1,5 Мбіт/с / 384 кбіт/с	3,5 км на max швидкості	1	Доступ в Інтернет, голос, відео

Такі системи доступу при відповідній вартості можуть бути досить привабливими для абонентів квартирної сектори і невеликих офісів.

Але технології xDSL мають і суттєві недоліки: обмежені можливості для нарощування пропускної здатності, необхідність оренди ліній зв'язку у телефонних операторів, залежність від поточного стану і поступової деградації існуючої мережі мідних проводів, наявність складної підсистеми доступу у провайдера.

1.2.2 Мережі кабельного телебачення

Мережі кабельного телебачення (КТБ) спочатку призначалися для організації трансляції користувачам телевізійних програм з розподільчих мереж на основі коаксіального кабелю і будувалися по односпрямованій

схемою. У 1997 році після появи стандарту DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification) було впроваджено технологію побудови інтерактивних мереж доступу до мультимедійних послуг на базі гібридних мереж КТВ - Hybrid Fiber Coaxial (HFC).

HFC мережа являє собою мережу, яка складається частково з оптичного устаткування і оптичних кабелів, а також з коаксіального обладнання та кабелів. Ці мережі плануються для надання широкого спектра послуг, включаючи ТВ мовлення, високошвидкісний доступ в Інтернет, телефонію. Приклад такої мережі показаний на рисунку 1.3.

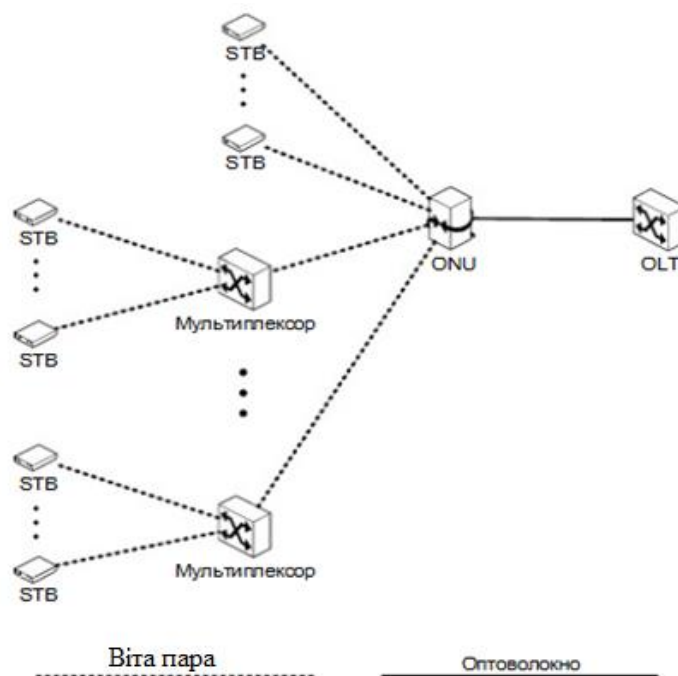


Рисунок 1.3 – Гібридна оптоволоконно-коаксіальні мережі (HFC)

Широкосмуговий доступ до інтернет-ресурсів забезпечується шляхом застосування кабельних модемів.

Сьогодні використовуються п'ять варіантів даного стандарту, що визначають побудову інтерактивних систем КТВ на базі гібридної HFC-технології: три американських (DOCSIS 1.0; 1.1; 2.0), один європейський (Euro-DOCSIS) та один міжнародний (J. 112 ITU-T).

DOCSIS 1.0. Цей стандарт був створений для мереж КТБ США. Він визначає фізичний і MAC-рівні, рівень управління для кабельних модемів і головних станцій, принципи забезпечення мережної безпеки і якості обслуговування. Для організації зворотного каналу використовується діапазон 5...42 МГц. Метод доступу до зворотного каналу – TDMA, методи модуляції – QPSK і QAM-16, швидкість передачі – до 1 Мбіт/с. Модель забезпечення якості обслуговування заснована на класах обслуговування QoS. Прямий канал з смугою частот 6 МГц (Річок. J. 83.B ITU-T) може бути організований в діапазоні частот 88...860 МГц. Методи модуляції в прямому каналі – QAM-64 QAM-256, швидкості передачі відповідно 30,34 і 42,88 Мбіт/с.

DOCSIS 1.1 – друга версія стандарту була створена в 1999 р. В ній була збільшена швидкість передачі у зворотному каналі до 5 Мбіт/с, покращено ефективність використання пропускної здатності зворотного каналу за рахунок введення механізмів фрагментації пакетів і придушення заголовків, підвищена мережева безпека завдяки введенню аутентифікації кабельних модемів.

DOCSIS 2.0. У третій версії стандарту, опублікованій в 2002 р., пропускна здатність зворотного каналу збільшена до 30,72 Мбіт/с при ширині смуги частот до 6,4 МГц. В якості методу доступу до зворотного каналу використовуються варіанти Advanced TDMA (A-TDMA) або Synchronous CDMA (S-CDMA). У зворотному каналі додатково використовуються методи модуляції QAM-8, QAM-32, QAM-64, а також QAM-128 з ґратчастим кодуванням (trelliscoded).

Euro-DOCSIS – ця специфікація являє собою варіант американського стандарту DOCSIS, адаптованого до європейських кабельних мережам. Для організації зворотного каналу виділений діапазон 5...65 МГц, для прямого каналу – 108-862 МГц. Смуга частот у прямому каналі – 8 МГц (Річок. J. 83.A ITU-T). Методи модуляції в прямому каналі – QAM-64 QAM-256, швидкості передачі відповідно близько 37 і 52 Мбіт/с.

J. 112. У 1998 р. версія DOCSIS 1.0 була прийнята ITU-T в якості міжнародного стандарту J. 112.

Розробки європейської специфікації технології інтерактивних HFC-мереж ведеться в даний час під загальною назвою IP-CableCom. У США подібна розробка проводиться в лабораторії CableLabs в рамках проекту PacketCable. Вдосконалення цих технологій йде по шляху створення додаткових можливостей та впровадження нових послуг. Основні відмінності специфікації пов'язані з особливостями побудови телекомунікаційних мереж в Європі і США.

1.2.3 Технології групи МКД

Мережі колективного доступу (МКД) є гібридними, що об'єднують в собі як власне МКД, так і мережі, які забезпечують транспортування трафіку.

До основних технологій колективного доступу відносяться HPNA, PLC, EFM.

Для домашніх мереж підходить обладнання гібридних Ethernet або mini-DSLAM при використанні в якості концентратора трафіку мультиплексорів DSL.

Стандарти HPNA з'явилися в результаті діяльності альянсу Номі Phoneline Networking Alliance, створеного в 1996 р. для розробки технології, яка на основі існуючої в будинках кабельної мережі повинна була забезпечити відносно недорогий доступ в Інтернет. Технологія HPNA стандартизована в ITU-T (G. 989.1 і G. 989.2).

Системи доступу HPNA 1.x забезпечують колективний доступ до каналу з пропускною спроможністю 1 Мбіт / відстані до 150 м (HPNA 1.0) і до 300 м (HPNA 1.1). У стандарті HPNA 2.0 пропускна здатність колективного каналу збільшена до 10 Мбіт / дальності до 350 м. У стандарті HPNA 3.0 пропускна здатність збільшиться до 100 Мбіт / с.

Очевидним недоліком МКД є неструктурована телефона проводка низької якості.

1.2.4 Технології групи LAN

Технології LAN (LocalAreaNetwork – локальні обчислювальні мережі) розроблялися для забезпечення доступу користувачів до ресурсів локальних мереж. Для доступу користувачів до послуг інших ресурсів (Інтернет, корпоративні мережі і т.д.) сучасні LAN будуються по гібридній технології та об'єднують в собі власне LAN і мережі, що забезпечують підключення LAN до транспортних мереж.

У групі LAN більше 90% всіх мереж побудовані з використанням технології Ethernet, яка забезпечує користувачам корпоративних мереж швидкості передачі інформації від 10 Мбіт / с до 1 Гбіт / с. Серед технологій LAN можна виділити наступні: Ethernet, FastEthernet, GigabitEthernet, 10GigabitEthernet, TokenRing, HSTR, FDDI, CDDL, SDDI і EoV.

Основними недоліками технології Ethernet є неможливість забезпечення гарантованої якості мережевого обслуговування QoS для тих чи інших потоків передачі даних, а також висока ймовірність виникнення колізій.

1.2.5 Оптичні мережі доступу OAN

Сьогодні в багатьох країнах на абонентському ділянці стали застосовуватися тільки волоконно-оптичні кабелі (ВОК), які мають серйозні переваги перед мідними або коаксіальними. Мережі на основі оптичного волокна (ОВ) забезпечують набагато більш високі швидкості передачі даних на великі відстані і при цьому протяжні волоконно-оптичні ділянки мережі абсолютно не чутливі до електромагнітних завад і перехресним наведенням.

Тому спостерігається активний інтерес операторів до розгортання оптичних мереж доступу, відомих під загальною назвою PON (Passive Optical Network).

Оптичні мережі доступу діляться на дві групи:

- гібридні волоконно-провідні FTTx (оптоволоконно-коаксіал або кручена пара);
- волоконно-оптичні (ON – opticalnetwork).

Технології FTTx – це загальний термін для будь-якої телекомунікаційної мережі, в якій від вузла зв'язку до певного місця (точка X) доходить волоконно-оптичний кабель, а далі, до абонента, – мідний кабель (можливий і варіант, при якому оптика прокладається безпосередньо до абонентського пристрою).

У сімейство FTTx входять різні види архітектур, основні з яких:

- FTTN (Fiber To The Node), або волокно до вузла в 1км від абонента;
- FTTC (Fiber To The Curb), або волокно до шафи в 500м від абонента;
- FTTB (Fiber To The Building), або волокно до будівлі в 100м від абонента;
- FTTH (Fiber To The Home), або волокно в будинок (мається на увазі індивідуальний / приватний будинок) або квартиру / офіс абонента.

Вони відрізняються головним чином тим, наскільки близько до призначеного для користувача терміналу підходить оптичний кабель (рисунок 1.4).

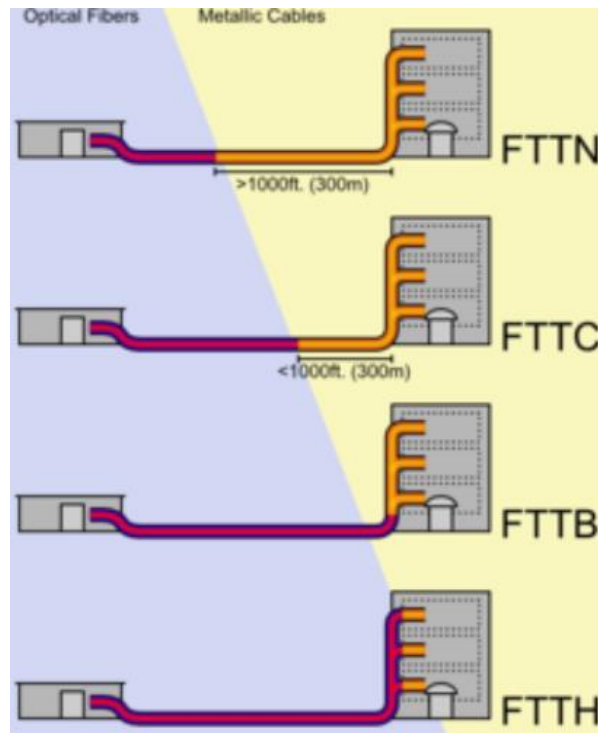


Рисунок 1.4 – Технологією волоконно-коаксіального доступу FTTx

До головних недоліків гібридних мереж можна віднести наступні:

- необхідність складної проектування мережі, зокрема реалізація топології "кільце";
- наявність активних складових;
- не економія волокна (довжина оптичного тракту);
- підключення нових абонентів здійснюється шляхом розриву кільця і вставки сегментів, які знижують надійність мережі;
- велика кількість елементів здатних внести затухання за рахунок зварних і роз'ємних з'єднань.

Волоконно-оптичні МД відрізняються від волоконно-гібридних мереж тим, що в них відсутня використання мідних дротів. ІВ доводиться до комутаційної апаратури, розташованої в приміщенні користувача. Різна апаратура користувача: телефон, комп'ютер, телевізор і т. д. підключається до цієї комутаційної апаратури.

В активній оптичній мережі доступу (AON), для розподілу оптичного сигналу використовуються активні мережеві пристрої (комутатори,

маршрутизатори, мультиплексори), в результаті чого трафік потрапляє безпосередньо особі, якій він адресований. Будь-яке активне обладнання потребує постійного живлення і, відповідно, обслуговування, що веде до значного збільшення операційних витрат.

PON – швидко розвивається і найбільш перспективна технологія широкосмугового мультисервісного доступу по ІВ. Суть технології PON полягає в тому, що між центральним вузлом і віддаленими абонентськими вузлами створюється повністю пасивна оптична мережа має топологію "дерево". Розподільна мережа будується без використання активних компонентів. Відгалуження оптичного сигналу в оптичній лінії зв'язку здійснюється за допомогою пасивних оптичних розгалужувачів – сплиттерів. Технологія дозволяє підключити на одне волокно до 128 будинкових вузлів на великій протяжності мережі доступу, що значно знижує її вартість.

У PON в самій інфраструктурі не використовується активна електроніка, а значить, її елементів не потрібно електроживлення, що значно знижує витрати на експлуатацію. Переваги PON починають проявлятися при реалізації великих проектів, починаючи від кількох тисяч підключених абонентів. Але разом з тим для багатьох операторів PON – технологія нова, тому для успішного розгортання оптичних інфраструктур потрібна ретельна підготовка і навчання персоналу.

1.3 Обґрунтування вибору PON

Розглянувши існуючі МД, і зробивши їх порівняльний аналіз, за техніко-економічними показниками видно, що мережі PON значно перевершують інші МД (табл. 1.2, табл. 1.3).

Таблиця 1.2 – Порівняльний аналіз технічних характеристик мереж доступу

Технологія	LAN	xDSL	МКД	КТБ	OAN	
Характеристика					FTTx (AON)	PON
Максимальна швидкість спадного потоку даних	<250 Мбит/с	<55 Мбит/с	<14 Мбит/с	<50 Мбит/с	<1 Гбит/с	1-10 Гбит/с на канал
Максимальна швидкість восхідного потоку даних	<10 Мбит/с	<26 Мбит/с	<1 Мбит/с	<30 Мбит/с	<1 Гбит/с	1-10 Гбит/с на канал
Максимальна довжина АЛ/радіус дії мережі	до 100м	до 6,5км	до 500м		до 20км	до 60км
Кількість каналів /пар	до 4-х	до 4-х				до 128

Таблиця 1.3 – Якісне порівняння мереж доступу

Технологія	LAN	xDSL	МКД	КТБ	OAN	
Характеристика					FTTx	PON
Моштурування и розширюваність	низька	гарна	гарна	середня	відмінна	відмінна
Перешкодо-захищеність	погана	середня	середня	середня	висока	дуже висока
Мобільність	низька	середня	середня	середня	висока	висока
Надійність	низька	середня	середня	середня	висока	висока
Вітрати на обслуговування мережі	високі	високі	високі	високі	середні	низькі
Вартість	низька	середня	середня	середня	висока	висока

Виходячи з вище сказаного, можна зробити висновок, що технологія PON володіє наступними перевагами в порівнянні з іншими технологіями:

- сплітери, що встановлюються в вузлах розгалуження мережі PON, можуть розділяти потужність в будь-яких пропорціях. Оптимізація розміщення сплітерів дозволяє досягти значної економії ОВ і знизити вартість кабельної інфраструктури;

- низькі витрати на експлуатацію та технічне обслуговування мережі. Перевага обумовлено використанням пасивного обладнання в розподільній мережі;

- можливість поступового нарощування мережі. Введення нових вузлів не впливає на діючу мережу;

- перспективність створення розподільчої інфраструктури. Будівництво оптичної розподільчої мережі закладає хорошу і довготривалу основу для подальшого розвитку і надання в майбутньому будь-яких мультимедійних послуг з практично необмеженою пропускною здатністю;

- надійність. Використання меншого числа активних елементів в мережі забезпечує її надійність, а крім того, сприяє як зниженню чутливості до впливу суміжних ліній зв'язку, так і зменшення впливу на них;

- висока гнучкість. Побудова розподільної мережі за технологією PON вимагає застосування всього лише одного оптичного волокна, а не пучка волокон, як при використанні інших оптоволоконних технологій. Завдяки цьому можна будувати мережу по шинної чи деревовидної топології, що дуже вигідно з економічної точки зору. Гнучкість технології дозволяє використовувати її в будь-яких мережевих конфігураціях сімейства FTTx;

- можливість інтеграції в оптичну мережу ТВ-мовлення на довжині хвилі 1550 нм. Конвергенція з TDM-мережами (підтримка транспорту потоків E1 / STM-N).

В результаті розгляду різних технологій побудови мереж доступу і їх технічних характеристик слід, що технологія PON має суттєві переваги.

Тому, виходячи з наведених вище даних, оптимальним рішенням "останньої милі" є технологія пасивних оптичних мереж.

2 ТЕХНОЛОГІЇ МЕРЕЖ PON

2.1 Архітектура PON

Основна особливість архітектури PON – використання одного приймально-передавального модуля OLT для передачі даних безлічі абонентських пристроїв ONT/ONU і прийому даних від них.

Реалізація цього принципу і структура PON показана на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Схема побудови мережі PON

Інформація для всіх користувачів передається одночасно з тимчасовим поділом каналів від OLT до ONT, розташованих у самого абонента. Передача і прийом в обох напрямках проводиться, як правило, по одному ОВ, але на різних довжинах хвиль.

Оптична потужність з виходу OLT в вузлах мережі ділиться (рівномірно або нерівномірно) таким чином, щоб рівень сигналу на вході всіх ONT був приблизно однаковий.

У разі, коли одна з довжин хвиль (найчастіше 1550 нм) виділяється всім абонентам для передачі телевізійного сигналу (аналогового або цифрового телевізійного сигналу), на абонентській телефонній станції (АТС) встановлюється оптичний WDM мультиплексор для об'єднання сигналів, що передаються на довжинах хвиль 1490 нм (голос, дані) і 1550 нм (телевізійний

сигнал, попередньо сформований головний телевізійну станцію, перетворений в оптичний діапазон оптичним передавачем і посилений EDFA підсилювачем).

У зворотному напрямку сигнал (голос, дані) передається на довжині хвилі 1310 нм.

При наданні послуги IP-телебачення з інтерактивними функціями і іншими розширеними можливостями передача відео може бути переведена в основний трафік (1490-нм).

До основних функціональних елементів мережі PON відносяться центральний і абонентський вузли, а також оптичні розгалужувачі.

Центральний вузол, або оптичний лінійний термінал (OLT – optically network terminal), – це пристрій, що встановлюється в центральному офісі. Воно приймає дані з боку магістральних мереж через сервісні вузлові інтерфейси (SNI – service node interfaces) і формує низхідний потік до абонентських вузлів (або прямий потік) по дереву PON.

Абонентський вузол, або оптичний мережевий термінал (ONT – optical network terminal), має з одного боку абонентські інтерфейси, а з іншого – інтерфейс для підключення до дерева PON. Передача потоку по дереву ведеться на довжині хвилі 1310 нм, а прийом – на 1550 нм. ONT приймає дані від OLT, конвертує їх і передає абонентам через інтерфейси «користувач-мережа» (UNI – user network interface).

Оптичний розгалужувач (OP) – це пасивний пристрій – оптичний, що розподіляє потік випромінювання в одному напрямку і об'єднує кілька потоків в один в протилежному напрямку. У загальному випадку у розгалужувача може бути M вхідних і N вихідних портів. У мережах PON найбільш часто використовують розгалужувачі $1 \times N$ з одним входом портом. Розгалужувачі $2 \times N$ можуть використовуватися в системі з резервуванням по волокну. За робочій смузі пропускання розгалужувачі діляться на стандартні одновіконні ($\lambda \pm 10$ нм), широкосмугові одновіконні ($\lambda \pm 40$ нм) і двовіконну (1310 ± 40 і 1550 ± 40 нм). Для мереж PON використовуються тільки

двовіконні розгаджувачі. У зазначених робочих вікнах характеристики розгалужувача повинні бути стабільними.

PON складається з трьох основних ділянок, як показано на рисунку 2.1:

- станційний ділянку – це обладнання OLT, WDM мультиплексор і ODF, змонтовані на вузлі електрозв'язку в приміщенні АТС;
- лінійна ділянка – це сукупність БОК, орш, ОРК, сплітерів, конекторів і з'єднувачів, розташованих між станційним і абонентським ділянками (ділянка між ODF і ОРК);
- розподільний ділянку з розміщенням сплітерів і абонентських БОК;
- абонентський ділянку – це персональна абонентська розводка одноволоконного БОК (рідше двоволоконні або чотирехволоконним) від елементів загальних розподільних пристроїв до ОРА та активного обладнання ONU в квартирі абонента, змонтованого в офісі корпоративного клієнта, ділянку між ОРК-ONU.

Активне обладнання для PON має відповідати загальним технічним вимогам.

2.2 Принцип дії PON. Прямий і зворотний потік

Основна ідея архітектури PON – використання всього одного приймально-передавального модуля в OLT для передачі інформації безлічі абонентських пристроїв ONT і прийому інформації від них. Реалізація цього принципу показана на рисунку 2.2. Число абонентських вузлів, підключених до одного приймально-передавального модулю OLT, може бути настільки великим, наскільки дозволяє бюджет потужності і максимальна швидкість приймально-передавальної апаратури. Для передачі потоку інформації від OLT до ONT – прямого (спадного) потоку, як правило, використовується довжина хвилі 1550 нм. Навпаки, потоки даних від різних абонентських

вузлів у центральний вузол, спільно утворюють зворотний (висхідний) потік, передаються на довжині хвилі 1310 нм. В OLT і ONT вбудовані мультиплексори WDM, що розділяють або об'єднують вихідні і вхідні потоки.

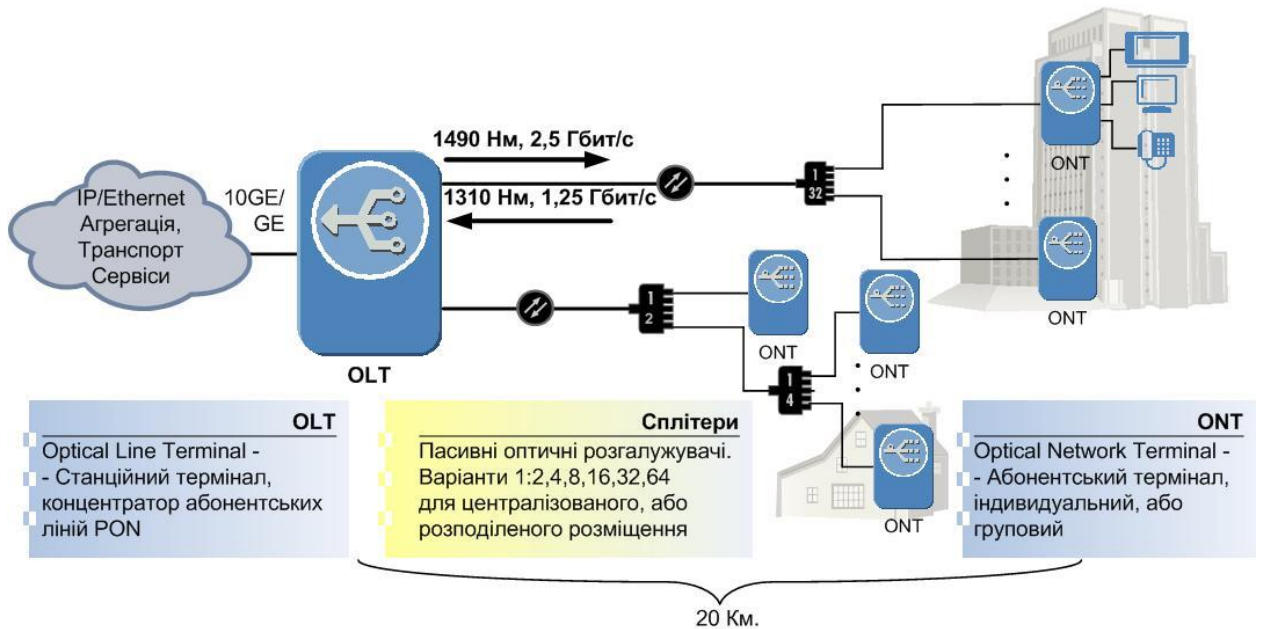


Рисунок 2.2 – Принцип дії архітектури GPON

Прямий потік (рисунок 2.3) на рівні оптичних сигналів є широкомовною. Кожен абонентський вузол ONT, читаючи адресні поля, виділяє із загального потоку призначену тільки йому частину інформації.

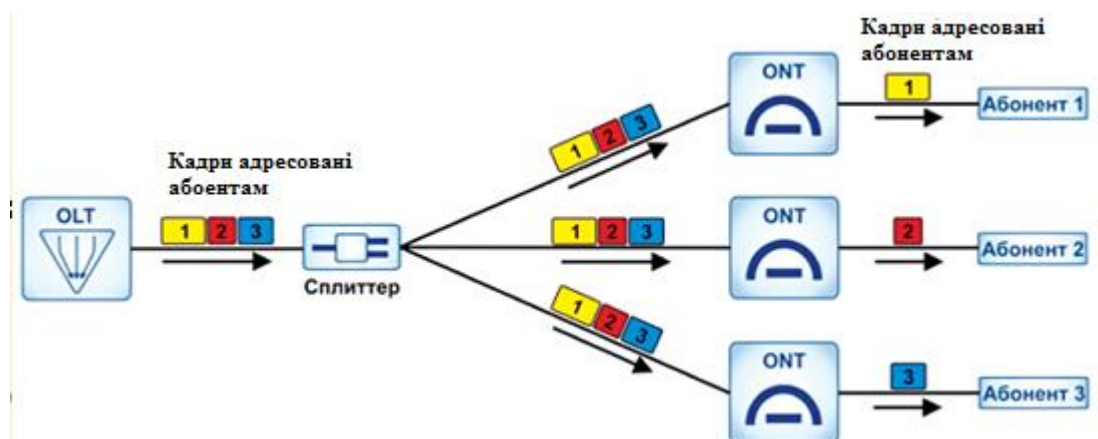


Рисунок 2.3– Прямий потік

У разі зворотного потоку (рисунок 2.4) всі абонентські вузли ONT ведуть передачу в зворотному потоці на одній і тій же довжині хвилі ($\lambda = 1310$ нм), використовуючи концепцію множинного доступу з тимчасовим поділом TDMA (time division multiple access). Конвертація оптичного сигналу в електричний і зворотного здійснюється обладнанням ONT. Для того щоб виключити можливість перетину сигналів від різних ONT, для кожного з них встановлюється своє індивідуальне розклад по передачі даних з урахуванням поправки на затримку, пов'язану з видаленням даного ONT від центрального вузла OLT. Це завдання вирішує протокол TDMA MAC.

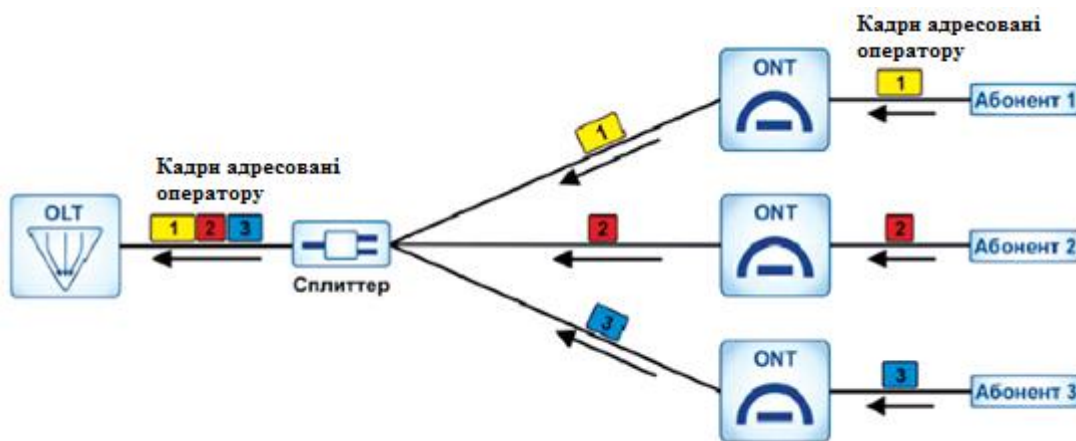


Рисунок 2.4 –Зворотний потік

Надані сервіси PON залежать від того до яких сервісних мереж (ATM, SDH, Ethernet) підключений центральний вузол (OLT) і які сервісні інтерфейси реалізовані на його входах: E (Ethernet), FE (FastEthernet), GE (GigabitEthernet), E1 та ін.

2.2.1 Станційна ділянка

OLT розташовується в приміщенні АТС, район обслуговування якої визначає зону охоплення PON. Активне станційне встаткування PON, в

якості якого виступає OLT, пов'язує кінцеве обладнання абонентів з мережею Інтернет та іншими джерелами послуг з передачі голосу, даних і відео.

Лінійні порти PON обладнання OLT підключаються до ODF за допомогою оптичних шнурів (пасивне).

ODF призначений для розподілу BOK за напрямками, перекрсування (комутації) і з'єднання зі станційним BOK через сплайс-пластини (касети та бокси для зварних з'єднань).

У разі використання на PON двухкаскадній схеми розміщення сплітерів, перший каскад з малим коефіцієнтом розгалуження (1:2, 1:4) слід встановлювати безпосередньо в ODF з метою економії станційних портів.

ODF рекомендується розташовувати в тому ж приміщенні АТС, де і знаходиться стійка з OLT.

Рекомендується використовувати ODF модульного типу з можливістю нарощування ємності кросу при зростанні абонентської бази.

Основними критеріями при виборі типу ODF є:

- компактність обладнання;
- зручність викладки і кросіровки кабелю;
- можливість підключення великої кількості абонентів (600 і більше абонентів).

2.2.2 Лінійна ділянка

Лінійна ділянка, для будівництва якого необхідна установка великої кількості пасивного обладнання, вимагає найбільш уважного підходу для оптимального його побудови. Рекомендується використовувати технології і методи, які дозволяють мінімізувати трудовитрати і час будівництва, а також зменшити вартість використаного обладнання для монтажу. Лінійна ділянка визначає підсумкову топологію PON.

У PON від орш до кінцевого обладнання абонентів (ONU) передача сигналу здійснюється через пасивні ОР (сплітери), які встановлюються в під'їзних спліттерних оптичних коробках, орш (рідше в механічних оптичних муфтах). Організація PON дозволяє використовувати гібридну схему підключення абонентів: частина абонентів підключається по топології точка-три крапки за допомогою спліттерів, інша частина підключається по топології точка-точка з наданням виділеної лінії абоненту.

Лінійна ділянка складається з:

- магістрального ділянки – це ВОК, що прокладається в каналах кабельної каналізації або в ґрунті від ODF на АТС в напрямку сконцентрованої групи абонентів (багатоповерхова забудова, приватний сектор) та закінчується орш;

- розподільного ділянки – це ВОК, що прокладається від орш до ОРК переважно всередині будівель по вертикальних стояках

2.2.3 Абонентська ділянка

Абонентський ділянку або абонентська розводка – це ділянка мережі від поверхової ОРК до приміщення абонента, включаючи ОРА. У абонентський ділянку також входить активне обладнання на стороні абонента (ONU), яке є невід'ємним елементом технології PON і знаходиться під управлінням оператора електрозв'язку. Межа відповідальності оператора електрозв'язку проходить по внутрішнім вихідним інтерфейсів обладнання або по системі управління обладнання в разі, якщо це обладнання підтримує функції роздільного доступу до призначених для користувача і операторським налаштувань. Абонент не повинен мати можливості застосування довільно обраного ONU.

2.3 Стандартизація мереж PON і вибір оптимальної технології

Перші кроки в технології PON були зроблені в 1993 році, коли компанія DeutscheTelecom вперше здійснила масове розгортання архітектури PON в Німеччині. Через два роки група з семи компаній (BT, France Telecom, Telefonica, Deutsche Telecom, NTT, KPN, Telecom Italia) заснувала консорціум з метою реалізації множинного доступу по одному ОВ. Ця організація отримала назву FSAN (full service access network). Надалі FSAN проводила роботи по стандартизації технології PON, а також з розробок загальних рекомендацій і вимог до устаткування PON.

В середині 90-х років загальноприйнятою була точка зору, що тільки протокол АТМ здатний гарантувати прийнятну якість послуг зв'язку (QoS) між кінцевими абонентами. В результаті в 1998 році з'явився перший стандарт ІТУ-Т G.983.1, що базується на транспорті осередків АТМ в дереві PON і отримав назву APON (ATM PON).

Далі протягом кількох років з'являється безліч нових поправок і рекомендацій в серії G.983.x ($x = 1-7$), швидкість передачі збільшується до 622 Мбіт/с. У березні 2001 року з'являється рекомендація G.983.3, що закріплює поняття BPON (broadband PON) та додає нові функції в стандарт PON:

- передача різноманітних додатків (голосу, відео, дані) – це фактично дозволило виробникам додавати відповідні інтерфейси на OLT для підключення до магістральної мережі і на ONT для підключення до абонентів;

- розширення спектрального діапазону - відкриває можливість для додаткових послуг на інших довжинах хвиль в умовах одного і того ж дерева PON, наприклад широковещательное телебачення на третій довжині хвилі (triple play).

За розширеним таким чином стандартом APON закріплюється назва BPON (broadband PON).

У листопаді 2000 року комітет LMSC (LAN / MAN standards committee) IEEE створює спеціальну комісію під назвою "Ethernet напершіймилі" – EFM (Ethernet in the first mile) 802.3ah, а в 2001 році формується альянс EFMA (Ethernet in the first mile alliance). Фактично альянс EFMA і комісія EFM доповнюють один одного і тісно працюють над стандартом. Мета спільної роботи – досягнення консенсусу між операторами і виробниками обладнання, і вироблення стандарту IEEE 802.3ah, повністю сумісного з технічною характеристикою магістрального пакетного кільця IEEE 802.17.

Комісія EFM 802.3ah повинна була стандартизувати три різновиди рішення для мережі доступу: EFMC (EFM copper) – рішення "точка-точка" з використанням кручених мідних пар. З двох альтернатив, між якими розгорнулася основна боротьба – (G.SHDSL і ADSL +) вибір був зроблений на користь G.SHDSL:

- EFMF (EFM fiber) – рішення, засноване на з'єднанні "точка-точка" по волокну. Тут має бути стандартизувати різні варіанти: "дуплекс одним волокном, на однакових довжинах хвиль", "дуплекс одним волокном, на різних довжинах хвиль", "дуплекс по парі волокон", нові варіанти оптичних приймачів;

- EFMP (EFM PON) – рішення, засноване на з'єднанні "точка-многоточка" по волокну. Це рішення, яке є, по суті, альтернативою APON, отримало схожу назву EPON (EthernetPON), яка виявилася досить економічним рішенням;

- архітектуру мережі доступу GPON (Gigabit PON) можна розглядати як органічне продовження технології APON. При цьому реалізується збільшення як смуги пропускання мережі PON, так і ефективності передачі різноманітних мультисервісних додатків. Стандарт GPON ITU-T Rec. G.984.3 GPON був прийнятий в жовтні 2003 року. GPON надає масштабовувану структуру кадрів при швидкостях передачі від 622 Мбіт / с до 2,5 Гбіт / с, і

допускає системи як з однаковою швидкістю передачі прямого і зворотного потоку в дереві PON, так і з різною.

Подальший розвиток технологія GPON отримала після затвердження в 2010 році ITU-T пакету стандартів (Rec. G.987.x), які вводять технологію 10-GigabitPON (XG-PON) для забезпечення роботи мереж PON на швидкостях до 10 Гбіт/с. При цьому Rec. G.987.1 надає механізм, який дозволяє плавно перейти від абонента GPON до XG-PON. За останні роки було прийнято низку рекомендацій ITU-T, що регламентують стандарти APON, BPON, EPON і GPON.

Існують чотири основні топології побудови оптичних мереж доступу:

- а) "точка-точка";
- б) "кільце";
- в) "дерево з активними вузлами";
- г) "дерево з пасивними вузлами" (рис. 2.5).

“Точка-точка” найбільш проста архітектура. Основний мінус пов'язаний з низькою ефективністю кабельних систем. Необхідно вести окремий ВОК з центрального офісу в кожен будинок чи до кожного корпоративного абонента. Даний підхід може бути реалізовано в тому випадку, коли абонентський вузол (будівля, офіс, підприємство), до якого прокладається виділена кабельна лінія, може використовувати ці лінії рентабельно. Топологія P2P не накладаються обмеження на використання мережеву технологію. P2P може бути реалізована як для будь-якого мережевого стандарту, так і для нестандартних рішень, наприклад для оптичних модемів. З точки зору безпеки і захисту інформації, що передається при з'єднанні P2P забезпечується максимальна захищеність абонентських вузлів. Оскільки ОК потрібно прокладати індивідуально до кожного абонента, цей підхід є найбільш дорогим, і він привабливий в основному для великих корпоративних клієнтів.

“Кільце”. Кільцева топологія на основі SDH позитивно зарекомендувала себе в міських телекомунікаційних мережах. Однак в

мережах доступу не всі йде так само добре. Якщо при побудові міської магістралі розташування вузлів планується на етапі проектування, то в мережах доступу не можна заздалегідь знати, де, коли і скільки абонентських вузлів буде встановлено. При випадковому територіальному і часовому підключенні користувачів кільцева топологія може перетвориться в сильно зламане кільце з безліччю відгалужень, підключення нових абонентів здійснюється шляхом розриву кільця і вставки додаткових сегментів. На практиці часто такі петлі поєднуються в одному кабелі, що призводить до появи кілець, схожих більше на ламану – «стислих» кілець (collapsed rings), що значно знижує надійність мережі. І тоді головна перевага кільцевої топології зводиться до мінімуму.

“Дерево з активними вузлами”. Дерево з активними вузлами – це економічне, з точки зору використання волокна, рішення. Це рішення добре вписується в рамки стандарту Ethernet з ієрархією за швидкостями від центрального вузла до абонентів 1000/100/10 Мбит / с (1000Base-LX, 100Base FX, 10Base-FL). Стандарт IEEE 802.3 Ethernet давно перестав обмежуватися нішею корпоративних мереж. Будуються таким чином мережі можуть мати досить складну і розгалужену деревоподібну архітектуру. Однак в кожному вузлі дерева обов'язково повинно знаходитися активний пристрій (стосовно IP-мереж - комутатор або маршрутизатор). Оптичні мережі доступу Ethernet, переважно використовують цю топологію, відносно недорогі. До основного недоліку слід віднести наявність на проміжних вузлах активних пристроїв, що вимагають індивідуального харчування.

“Дерево з пасивними вузлами”. Окремим випадком, коли в якості пасивного оптичного елемента виступає оптичний розгалужувач, є мережа PON – рішення, що стає масовим у всьому світі. Мережа PON використовує топологію «точка-многоточка» P2MP (point-to-multipoint). До одного порту центрального вузла може бути підключений цілий волоконно-оптичний сегмент деревовидної архітектури, що охоплює десятки абонентів. При цьому оптичні розгалужувачі, що встановлюються в проміжних вузлах

дерева, повністю пасивні і не вимагають харчування і спеціалізованого обслуговування.

У топології P2MP за рахунок оптимізації розміщення розгалужувачів можна досягти значної економії оптичних волокон і зниження вартості кабельної інфраструктури. Абонентські вузли не впливають на працездатність мережі в цілому. Підключення, відключення або вихід з ладу одного або декількох абонентських вузлів ніяк не позначається на роботі інших.

Переваги архітектури PON:

- відсутність проміжних активних вузлів; економія волокон;
- економія оптичних приймачів в центральному вузлі;
- легкість підключення нових абонентів і зручність обслуговування.

Деревоподібна топологія P2MP дозволяє оптимізувати розміщення оптичних разветвителей, виходячи з реального розташування абонентів, витрат на прокладку ОК і експлуатацію кабельної мережі.

До недоліку можна віднести зрослу складність технології PON і відсутність резервування в найпростішій топології дерева.

Оптичний розгалужувач – це пасивний оптичний багатополіусника, що розподіляє потік оптичного випромінювання в одному напрямку і об'єднує кілька потоків в зворотному напрямку. У загальному випадку у розгалужувача може бути M вхідних і N вихідних портів. У мережах PON найбільш часто використовують розгалужувачі $1 \times N$ з одним вхідним портом. Розгалужувачі $2 \times N$ можуть використовуватися в системі з резервуванням по волокну. За робочій смузі пропускання разветвители діляться на стандартні одновіконний (роб 10 нм), широкосмугові одновіконний (роб 40 нм) і двовіконну (1310 40 нм і 1550 40 нм). Для мереж PON використовуються тільки двовіконний розгалужувач. У зазначених робочих вікнах характеристики розгалужувача повинні бути стабільними (рис.2.5).

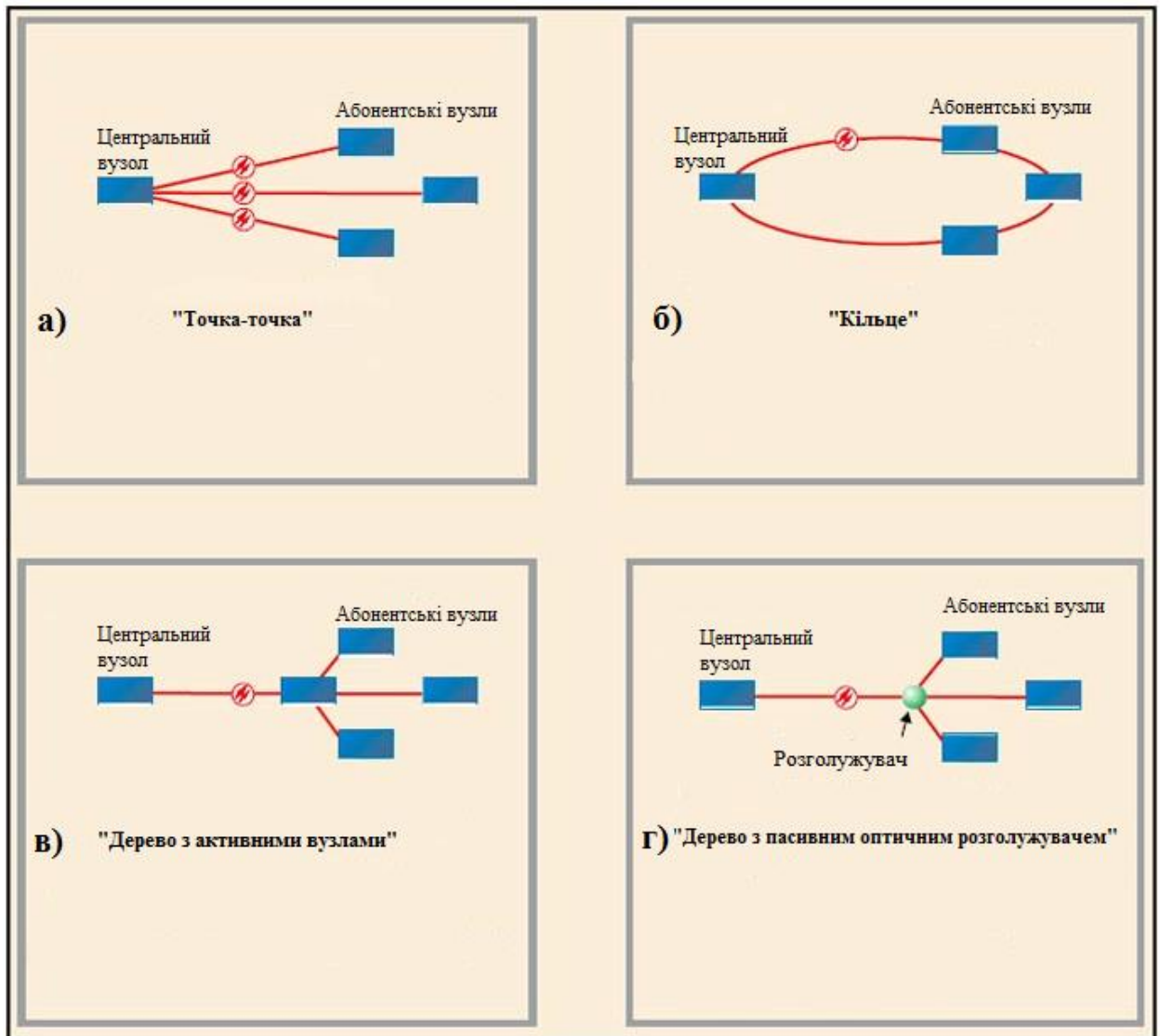


Рисунок 2.5 – Фундаментальні топології оптичних мереж доступу

Виходячи з вищесказаного, складемо порівняльний аналіз технологій PON, представлений у вигляді таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Порівняльний аналіз технологій PON

Характеристики	APON(BPON)	EPON	GPON
Інститути стандартизації/ альянси	ITU-T SG15/FSAN	IEEE/EFMA	ITU-T SG15/FSAN
Дата прийняття стандарту	Жовтень 1998	Липень 2004	Жовтень 2003
Стандарт	ITU-T G.981.x	IEEE 802.3ah	ITU-T G.984.x
Швидкість передачі, прямий/зворотній потік, Мбіт/с	155/155 622/155 622/622	1000/1000	1244/155, 622,1244 2488/622, 1244
Базовий протокол	ATM	Ethernet	SDH
Лінійний код	NRZ	8B/10B	NRZ
Максимальна довжина, км	20	20	60
Максимальне число абонентів на одне волокно	32	16	64
Додатки	будьякі	IP, дані	Будьякі
Корекція помилок FEC	передбачена	ні	необхідна
Довжина хвиль / зворотніх потоків, нм	1550/1310 (1480/1310)	1550/1310	1550/1310 0 (1480/1310)
Динамічне	є	підтримка	є
IP-фрагментація	є	ні	є
Захист даних	Шифрування відкритим ключем	ні	Шифрування відкритим ключем
Резервування	є	ні	є
Оцінка підтримки голосових додатків і QoS	Висока	низкая	висока

Всі три стандарти системи PON схожі. Всі використовують просте мультиплексування хвилі для роботи в повному дуплексному режимі (одночасний трафік на вхідному і вихідному напрямках) по одному оптичному волокну, де для вхідного напрямки використовується довжина хвилі 1490 нм, а для вихідного напрямки використовується довжина хвилі 1310 нм. Для мовлення ТБ сигналу, маю зарезервовану додаткову довжину хвилі 1550 нм. Але з урахуванням таблиці 2.1 можна зробити висновки, що стандарт GPON представляється більш новим і привабливим. Стандарт EPON по ряду параметрів програє стандартам APON і GPON. Тому для дослідження мережі PON в даній роботі буде використовуватися архітектура GPON.

Стабільна та гнучка робота досягається завдяки повній синхронізації мережі разом з динамічним розподілом смуги перепуску.

Побудова розподільної мережі GPON є цікавим і творчим процесом, при якому необхідно враховувати як технічні характеристики, так і економічні аспекти різних топологій. У міській місцевості раціональним є застосування сплітерів малої ємності (1:2-1:4 у зовнішній мережі), далі у будинку коефіцієнт сплітера залежить від кількості абонентів (1:8, 1:16, 1:24, 1:32, 1:64) і далі індивідуальне волокно іде до кожного з абонентів. У сільській місцевості переваги GPON проявляються навіть у більшій мірі. Тут раціональним є встановлення кінцевого сплітера в залежності від групи близьких один до одного домів. Також, окрім FTTH, GPON може використовуватися у FTTB та FTTC топологіях із застосуванням групових ONT.

Завдяки найвищим швидкостям та механізмам керування трафіком технологія GPON дозволяє надати найкращий та найякісніший пакет послуг та максимізувати прибутки оператора.

Оптимізація капітальних витрат досягається завдяки концентрації великої кількості абонентів на одне волокно та централізацією та малою кількістю активного обладнання.

Експлуатаційні витрати є головною статтею економії завдяки GPON. Головні фактори – централізація обладнання та керування мережею, проста та надійна пасивна інфраструктура мережі, відсутність активного обладнання всередині мережі, відповідно значна економія електроенергії та орендних витрат.

2.4 Топології побудови мереж PON

Архітектура PON будується на основі комбінацій елементарних топологій: зірки, шини та дерева.

Топологія "зірка" застосовується при щільному розташуванні абонентів в районі АТС. Дана топологія характеризується мінімальною кількістю ОР і єдиним місцем їх установки. Переваги даної топології: зручність в обслуговуванні, проведенні експлуатаційних вимірювань і виявлення місця пошкодження лінії. Недолік – велика кількість використовуваного ВОК.

Схема топології "зірка" представлена на рисунку 2.6.

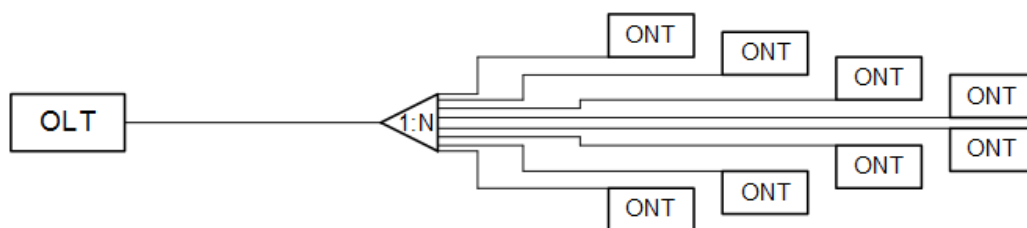


Рисунок 2.6 – Топологія «зірка»

Топологія «шина» представлена на рисунку 2.7. Шинна топологія застосовується при розташуванні абонентів уздовж оптичної магістралі. Особливість топології у великій різниці вихідних потужностей на ОР. Дана топологія вимагає докладного розрахунку рівня оптичного сигналу для підбору відповідних несиметричних ОР (з нерівномірним розподілом

потужності по відводів) таким чином, щоб вхідні оптична потужність на кожному оптичному приймачі відповідала його чутливості (діапазону вхідної потужності) обладнання.

Топологія рекомендована для застосування при лінійному розташуванні користувачів уздовж магістралі і тільки при невеликій кількості каскадів (кількість каскадів визначається оптичним бюджетом проектованої лінії в процесі проектування).

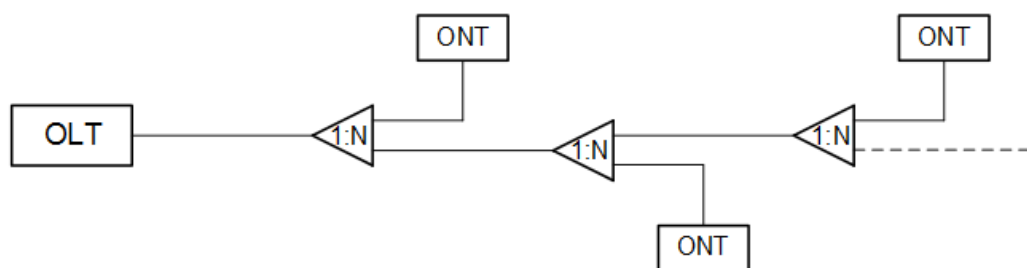


Рисунок 2.7 – Топологія «шина»

Топологія "дерево" застосовується при рознесеному розташуванні абонентів. Оптимальний розподіл потужності між різними гілками вирішується підбором коефіцієнтів розподілу оптичних разветвителей (ОР). Древообразна топологія гнучка з точки зору потенційного розвитку і розширення абонентської бази. Схема топології "дерево" представлена на рис. 2.8.

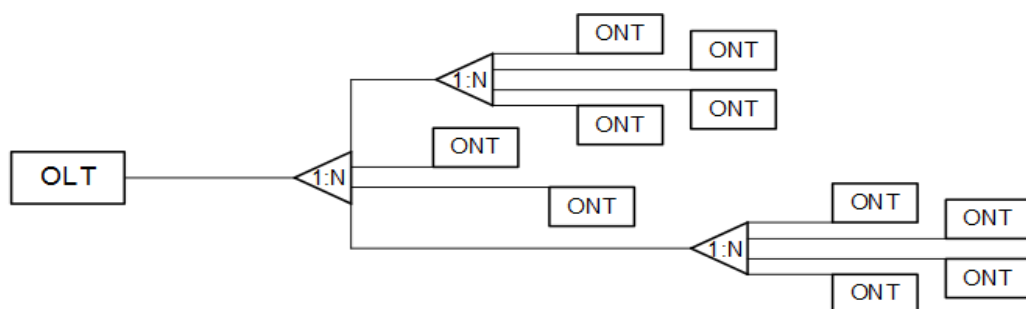


Рисунок 2.8 – Топологія «дерево»

Кожна топологія має свої переваги і недоліки з точки зору економії ОВ, зручності тестування, експлуатації, обслуговування і можливості розвитку мережі. Характеристики всіх трьох топологій наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Порівняння основних топологій PON

Характеристики топологій	Види топологій		
	“Зірка”	“Шина”	“Дерево”
Економія ОВ	Низька	Висока	Висока
Тестування і обслуговування	Діагностика з центру проста и точна локалізація подій	Складне діагностування подій	Складне діагностування подій
Георграфія розташування обонентів	Щільне розташування	Уздовж транспортних магістралей	Довільне розташування
Можливості розвитку	Максимальне використання вільних портів	Обмежені вздовж магістралей	Необхідний правильний розрахунок ЗР з урахуванням точок зростання
Потужність сигналу	Майже однаковий	Різний при однотипних ЗР	Необхідний точний розрахунок для вирівнювання
Інші гідності та недоліки	Масове підключення в районах с щільним розміщенням абонентів	Надлишкові витрати ОР при більшому числі каскадів	Найбільша гиркість при підключенні всіх бажаючих

Виходячи з викладеного вище матеріалу, можна зробити висновок про те, що оптимальною і найбільш вигодною топологією при побудові пасивної оптичної мережі є топологія "дерево з пасивним оптичним розгалуженням". Вона володіє найбільшою гнучкістю при підключенні всіх бажаючих, що особливо важливо, оскільки провідні оператори зв'язку роблять ставку на залучення нових абонентів з розширенням спектра послуг, що надаються. До того ж, використання такої топології дає можливість охопити великі території, що не менш важливо для операторів, так як це дає підстави залучати нових клієнтів. Але найважливішим у використанні даної топології є те, що при виході з ладу одного або декількох абонентських вузлів, працездатність мережі не припиняється.

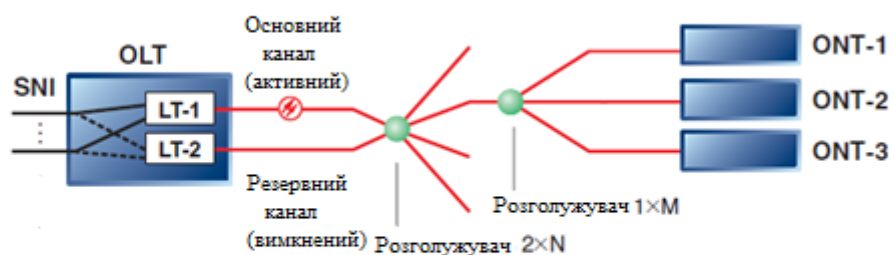
2.5 Надійність і резервування оптичних волокон

При наданні інтерактивних послуг необхідно забезпечити високу надійність роботи системи доступу або, принаймні, скоротити час, необхідний для відновлення працездатності. Існує кілька варіантів вирішення цього завдання. Найпростішим рішенням може служити прокладка оптичних кабелів до оптичного приймача двома незалежними шляхами. При цьому мається на увазі установка оптичних роз'ємів і на основний і на резервній гілці. Це дозволяє в разі несправності оптичних кабелів здійснити ручне перемикання оптичних гілок. Природно, що даний варіант застосовується лише тоді, коли допускається припинення надання послуг на певний проміжок часу. У разі відсутності такого, необхідно використовувати систему автоматичного резервування.

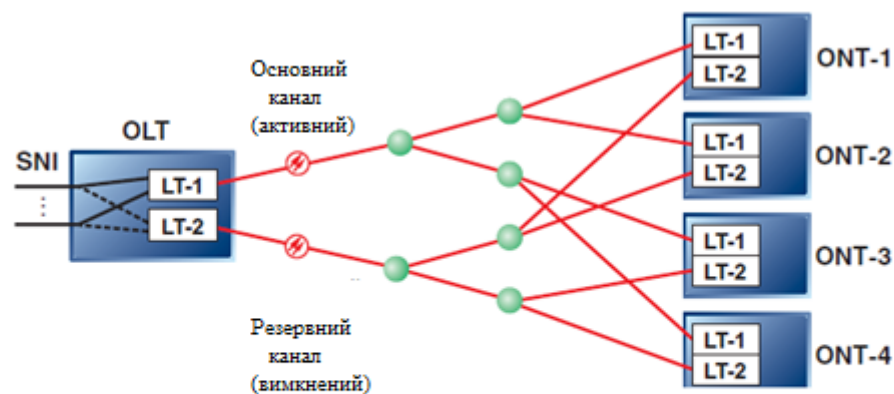
Основним недоліком системи доступу PON з топологією дерева є відсутність резервування. Найбільш несприятливий в цьому випадку сценарій – пошкодження ОВ, що йде від OLT до найближчого електрошпини. При цьому втрачає зв'язок весь сегмент, підключений до цього ОВ, – десятки абонентських вузлів. Сотні абонентів залишаються без зв'язку. Середній час

ремонту може бути значним. У разі одноразового пошкодження ОВ найбільш чітко проявляється недолік мережі PON в порівнянні з кільцевою топологією SDH.

В силу специфіки топології PON, завдання про побудову захищених систем PON не є простою, як в кільцевих топологіях SDH, оскільки смуга зворотного потоку в PON є спільною і формується безліччю абонентських вузлів. Варіанти рішень резервування оптичних волокон представлені на рис. 2.9.



а) часткове резервування



б) повне резервування

Рисунок 2.9 – Варіанти рішень резервування оптичних волокон

Перше рішення забезпечує часткове резервування по фідерному волокну і приймачево-передавальному обладнанню на центральному вузлі (рис. 2.9 а). Для реалізації даного рішення потрібно перехідник $2 \times N$.

Центральний вузол комплектується двома приймачево-передавальними модулями LT-1 і LT-2. На рис. 2.9 б показаний другий спосіб захисту системи PON, що забезпечує повне резервування. Система стає стійкою як до виходу з ладу приймально-передавального обладнання OLT і ONT, так і до пошкоджень будь-якої ділянки кабельної системи. Інформаційні потоки на ONT генеруються одночасно обома вузлами LT-1 і LT-2 і передаються в два паралельних зворотних потоку. На OLT тільки одна версія двох копій сигналів передається далі в магістраль, аналогічно відбувається дублювання в прямому потоці. При пошкодженні волокна або приймально-передавальних інтерфейсів перемикання на резервний потік буде дуже швидким і не призведе до переривання зв'язку. У другому випадку не обов'язково підключати всі абонентські вузли з резервуванням. Різниця за вартістю абонентських вузлів з резервуванням і без нього дозволяє диференційовано пропонувати послуги різним категоріям абонентів.

Перше рішення, крім того, що воно забезпечує тільки часткове резервування, вимагає великого часу на реконфігурацію при пошкодженні волокна. Основною причиною затримки є прогрів лазера на OLT (LT-2) і виконання процедури ранжирування. Практично важко не вийти за межі 50 мс, одного з вимог, сформульованих в рекомендації G.983.5.

З двох розглянутих конфігурацій, пропонованих ITU-T, друге рішення задовольняє всім вимогам і видається найбільш привабливим.

Також можливе використання резервування тільки абонентської ділянки PON (рисунок 2.10), що збільшує надійність зв'язку між абонентським вузлом і оптичним перехідником. В цьому випадку абонентський вузол оснащується двома оптичними модулями LT-1 і LT-2. Перемикання на резервний канал, як і в першому варіанті, здійснюється при виході з ладу основного каналу. Реалізація даного рішення веде до додаткових матеріальних витрат на організацію абонентського вузла, тому воно доцільно тільки в разі обслуговування абонентів з підвищеними вимогами до надійності зв'язку.

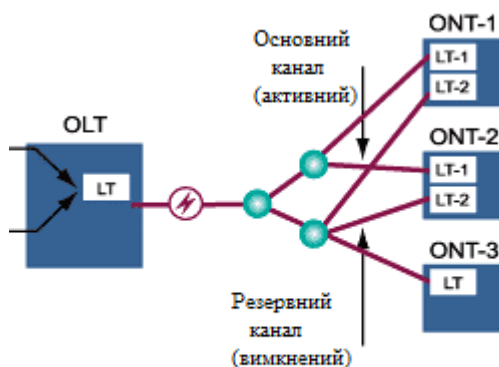


Рисунок 2.10 – Схема часткового резервування PON з боку абонентського вузла

Кількість резервних волокон магістрального і розподільного ділянок PON визначається на стадії проектування.

Надмірність ОВ на магістральній ділянці PON визначається за схемою $1 + 2$, тобто на кожне ОВ в навантаженні потрібно два резервних ОВ. При ємності кабелю понад 32 ОВ в навантаженні допускається зменшення резервних ОВ з розрахунку: при кількості ОВ понад 32 в навантаженні – одне резервне ОВ на одне ОВ в навантаженні; і при кількості ОВ понад 64 в навантаженні – одне резервне ОВ на два ОВ в навантаженні. Висока надмірність, виражена в додаткових резервних ОВ, передбачає використання вільних ОВ як технологічний резерв, і для надання в користування іншим операторам електрозв'язку.

Кількість ОВ в модулі багатомодульні ВОК магістрального ділянки вибирається з урахуванням резервних ОВ. На абонентському ділянці резервування ОВ не передбачено.

З ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ МЕРЕЖ З ТОЧКИ ЗОРУ РОЗПОДІЛУ БЮДЖЕТУ ПОТУЖНОСТІ

Завдання проектування PON, після вибору активного обладнання, в загальному випадку, зводиться до послідовності наступних операцій: визначення місць установки ONU, вибір топології мережі, вибір трас проходження кабелю і місць установки розветвителей, розрахунок бюджету втрат для кожної гілки і визначення оптимальних коефіцієнтів розподілу всіх розветвителей.

Першим етапом проектування мережі є вибір топології стосовно заданому відстані до абонентів, їх кількості.

При побудові мережі за технологією GPON (див. розділ 2) основну увагу необхідно приділити деревовидній волоконній кабельній архітектурі з пасивними ОР на вузлах. Дана топологія є найбільш економічною і здатною забезпечити широкосмугову передачу даних різноманітних додатків.

Застосування ЗР з різними коефіцієнтами розподілу вихідних портів дозволяє регулювати оптичний бюджет потужностей в різних гілках мережі. Це принципово важливо для побудови так званих «збалансованих мереж», що володіють рівномірним енергетичним запасом і найбільшою надійністю.

Також для працездатності пасивних оптичних мереж важливий вибір оптимального методу проектування. Один з таких важливих якісних параметрів методу є масштабованість, тобто можливість нарощування мережі, додавання нових вузлів до вже спроектованої мережі з мінімальними її змінами.

Взаємодія абонентського вузла з центральним починається з встановлення з'єднання, після чого відбувається передача даних. У процесі встановлення з'єднання запускається процедура ранжирування, которая включає в себе синхронізацію, ранжування по відстані, ранжування по потужності. Центральний вузол, забезпечує роботу всіх абонентських вузлів.

Синхронізація, або ранжування по фазі (phase ranging), необхідно як для прямого, так і для зворотного потоку. Абонентські вузли ONT синхронізуються на початку своєї ініціалізації і потім весь час підтримують синхронізацію, підлаштовуючись під безперервний TDM трафік від OLT і здійснюючи, як прийнято називати, синхронний прийом даних. Навпаки, центральний вузол OLT синхронізується кожен раз по преамбулі приходить пакета ATM. Знання обчисленої на етапі ранжирування тимчасової затримки з боку ONT тут мало, тому що потрібна велика точність. Метод прийому даних із синхронізацією по преамбулі прийнято називати асинхронним. Синхронізація по преамбулі аналогічна вирішенню в технології стандартного Ethernet, преамбула дорівнює 64 бітам (8 байтам). Однак зберегти такий же розмір преамбули для пакета ATM (53 байта) в зворотному потоці означало б вкрай неефективне користування смуги. Для GPON була розроблена нова методика синхронізації заснована на вирівнюванні фази сінхропослідовності CPA (clockphasealignment), що дозволяє встановити необхідну ступінь синхронізації після отримання всього трьох біт. Розмір преамбули пакета ATM в зворотному потоці був обраний більше з урахуванням, що вона забезпечує ще й виконання функції ранжирування по потужності.

Ранжування по відстані.

Ранжування по відстані (distance ranging) – визначення тривалості затримки, пов'язаної з видаленням ONT від OLT – виконується на етапі реєстрації абонентських вузлів і потрібно для того, щоб забезпечити безколізійний транспорт і створити єдину синхронізацію в зворотному потоці. Спочатку адміністратор мережі заносить в реєстр OLT дані про новий ONT, його серійний номер, параметри наданих абоненту послуг. Потім після фізичного підключення до мережі PON цього абонентського вузла і включення живлення на ньому центральний вузол починає процес ранжирування. При виключенні і включенні живлення на OLT ранжування відбувається з усіма внесеними до реєстру ONT.OLT, посилаючи сигнал ранжированих ONT, слухає відгук від нього і на підставі це підраховує

тимчасову затримку на подвійному пробігу, потім в прямому потоці передає ONT обчислене значення.

Після того, як ранжування по відстані виконано, OLT на підставі прописаних послуг для кожного ONT і з використанням протоколу MAC приймає рішення, яким абонентським вузлам передавати в кожному конкретному часовому слоті. Загальна затримка при відправленні кадру в зворотний потік вноситься не тільки кінцевим часом поширення сигналу по волокну, але і елементами електроніки OLT, ONT. Затримка зі сторони останніх може мати невеликий дрейф, наприклад внаслідку коливань температури обладнання. Тому, на етапі передачі даних OLT сообщает ONT про невеликі підстройках затримки, що вноситься в зворотний потік – мікроранжірування (micro ranging). В результаті точність, з якою стабілізуються відправляються кадри від різних ONT, становить 2-3 біта.

Ранжування по потужності.

Ранжування по потужності (power ranging) – зміна порога дискримінації фотоприймача з метою підвищення чутливості фотоприймача або щоб уникнути цього небажаного насичення. Так як ONT видалені на різні відстані від OLT, то і вносяться втрати в оптичні сигнали при поширенні по дереву PON будуть різними. Це може привести до порушення роботи фотоприймачів через перевантаження слабкого сигналу. Можливі два варіанти виходу з ситуації, що склалася – або підлаштовувати потужність передавачів ONT, або підлаштовувати поріг спрацьовування на фотоприймач OLT.

Був обраний другий варіант як більш надійний і простий в управлінні. Підстроювання порога спрацьовування фотоприймача OLT відбувається кожного разу при отриманні нового пакета ATM з зворотнього потоку. Підстроювання по потужності також необхідна всім ONT. Вона виконується аналогічним образом, але тільки один раз, перш ніж синхронізувати приймач для роботи з синхронним потоком від OLT. Потім

безперервно підраховується інтегральна потужність на ONT, і робиться плавна підстрійка порога дискримінації фотоприймача.

Для подальшої працездатності PON важливий вибір оптимального методу проектування. Завдання проектування полягає в необхідності задовольнити як основні вимоги, так і додаткові, які носять не кількісний, а якісний характер. Один з найважливіших якісних параметрів – це масштабування, тобто можливість нарощування мережі, додавання нових вузлів до вже спроектованої мережі з мінімальними її зміненнями.

Основні вимоги при проектуванні PON представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні вимоги при проектуванні PON

Характеристики	Специфікація
Максимальна відстань по довжені, км	20
Діапазон ослаблення сигналу в мережі, дБ	Клас А: 5 – 20 Клас В: 10 – 25 Клас С: 15 – 30
Дивіація по оптичним шляхам , дБ	15
Максимальні штрафні витрати, дБ	3
Максимальна кількість абонентських вузлів	64
Можливість двосторонній передачі	WDM по 1 чи по 2 волокнам на довженіхвилі 1,3, 1,5 мкм
Швидкість передачі Мбіт/с	622/2500 В обох напрямках
Вимоги до оптичних компонентів (розгалужувачі, конектори, атенюатори, зварні стики)	Згідно рекомендації G.984
Тип і параметри волокна	Згідно рекомендації G.984

Найбільш складним в реалізації є забезпечення максимального розкиду потерь на відстані OLT-ONT, в першу чергу за рахунок того, що оптичний приймач може робити лише в певному діапазоні (-33 ...- 11 дБм).

Якщо рівень приймаемого сигналу виходить за цей діапазон, то детектор не забезпечує заданий рівень помилок ($BER = 10^{-10}$).

Втрати на відрізку OLT-ONT_i ($i = 1 \dots N$, де N-число абонентських закінчень) складаються з втрат в кабелі, втрат в розгалужувачах, конекторах, атенюатори і "штрафу", який враховує погіршення прийому сигналу через різних факторів (дисперсії, деградації волокна, зовнішніх умов і т.д.). Втрата прямому (d) і зворотному (u) потоках складають:

$$OB_{dmin} \leq \alpha_d \cdot L_i + IL_i + AL + CL_i \leq OB_{dmax} - \text{Штраф}_d - \text{Запас}_d; \quad (3.1)$$

$$OB_{umin} \leq \alpha_u \cdot L_i + IL_i + AL + CL_i \leq OB_{dmax} - \text{Штраф}_u - \text{Запас}_u. \quad (3.2)$$

де L_i – довжина i -го каналу, км;

α_d і α_u – кілометрическое загасання у волокні на довжині хвилі прямого і зворотного потоків, дБ;

IL_i – вносяться усіма разветвителями втрати в i -му каналі;

CL_i – втрати на всіх конекторах в i -му каналі; AL – ослаблення сигналу на аттенюатор, дБ;

OB – оптичний бюджет приймально-передавальної системи, дБ;

Запас – запас потужності на розвиток в першому каналі, дБ;

Штраф – враховує погіршення прийому сигналу через деградацію волокна / компонентів, впливу зовнішніх умов, спотворення форми сигналу через хроматичної та поляризаційної модової дисперсії (рекомендується сумарно оцінювати все такі втрати величиною 1 дБ).

Існує три типи оптичних мереж доступу: незбалансована, збалансована і квазісбалансованная.

Мережа можна вважати незбалансованою, якщо розкид між загасання ланцюгів перевищує допустимий рівень втрат. Розкид втрат безпосередньо пов'язаний з неоднаковістю оптичних шляхів, тобто коли втрати відрізки OLT-ONT_i і OLT-ONT_j різні. З огляду на те, що оптичний бюджет системи обмежений, нераціональний розподіл оптичної потужності веде до зниження

можливості масштабованості мережі. Виходячи з вище представлених даних незбалансована мережу має низку недоліків і не може бути використана при проектуванні МД. Для невеликих мереж можуть бути обрані симетричні розгалужувачів або проведений приблизний розрахунок їх параметрів. Неоптимальність рішення в даному випадку компенсується великим запасом по потужності, що непридатне для великих мереж.

Єдиний доступний спосіб вирівнювання оптичних втрат при заданому розміщенні абонентів – це підбір коефіцієнтів ділення розгалужувачів, що здійснюється при проектуванні збалансованої мережі.

3.1 Алгоритм проектування збалансованої оптичної МД

Збалансована мережа PON – це мережа, в якій повні втрати за всіма оптичним шляхах однакові: $FL_i = FL_j$ для всіх абонентських вузлів i, j .

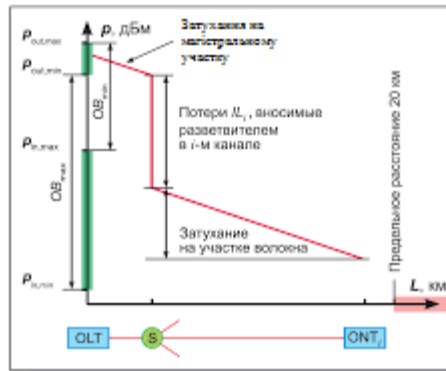
Така мережа має трьома важливими властивостями:

– розкид втрат по оптичних шляхах мінімальний і дорівнює:

$$DL = FL_{max} - FL_{min} = 0, (3.3)$$

– з усіх можливих наборів коефіцієнтів ділення розгалужувачів оптичний радіус мережі $r_{net} = \max_i(FL_i)$ мінімальний для сбалансованої мережі;

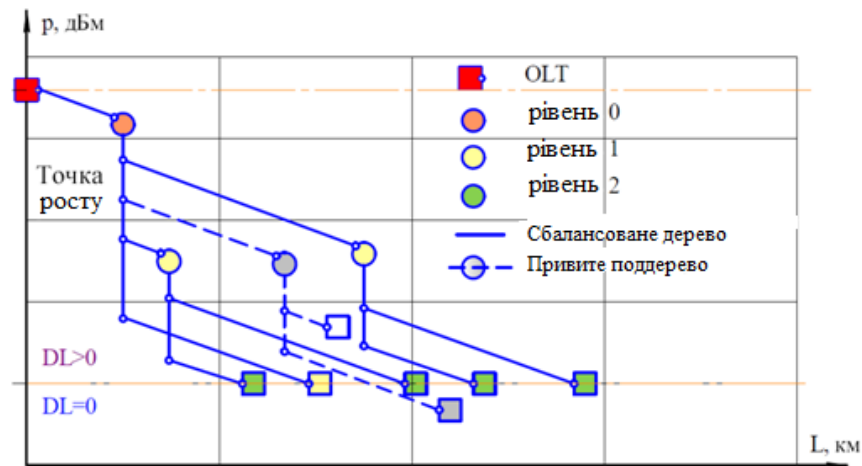
– сбалансована мережа має максимальну здатність до розширення при відсутності достовірних прогнозів і є оптимальною. Ослаблення потужності сигналу в оптичних компонентах каналу OLT-ONT (рис 3.1).



Рисинок 3.1 – Ослаблення потужності сигналу в оптичних компонентах каналу OLT-ONT

Методика розрахунку збалансованої оптичної мережі полягає в наступному: всім ONT присвоюється однакове значення вхідної потужності, мережа розраховується "від низу до верху" від ONT до OLT покроково, від найбільш віддаленого ONT (мірою віддаленості в в цьому випадку служить не відстань, а кількість розгалужень на шляху OLT-ONT). На кожній ітерації визначаються значення коефіцієнтів розподілу розгалужувачів, що забезпечують рівну потужність на вхідних портах ONT. Вихідним результатом цього алгоритму є коефіцієнти поділу розгалужувачів, що забезпечують збалансованість мережі, і оптичний радіус мережі.

До існуючої мережі додано подерево. Так як в подереві використовується новий розгалужувач, то його вибір слід здійснювати так, щоб забезпечити збалансованість подерева і не збільшити розкид всієї мережі. Даний розкид пояснюється тим, що рівень потужності в точці зростання може бути не узгоджений з необхідною потужністю щепленого подерева. Для узгодження потрібно розрахувати нову збалансовану мережу, змінити коефіцієнти розподілу всіх вищестоячих розгалужувачів. Графічно ідея збалансованої мережі представлена на рис. 3.2.



Рисинук 3.2 – Рівні потужності сигналу в каналах збалансованої мережі (суцільні лінії) і незбалансованого поддерева (пунктир)

На початковому етапі всі елементи мережі розміщуються за рівнями, задаються довжини оптичних ділянок. Робота алгоритму починається з елементів максимального рівня M (каскаду). Блок-схема алгоритму побудови збалансованої мережі наведена на рис. 3.2.

Для ілюстрації операцій, виконаних у внутрішньому циклі, на рис. 3.3 представлений фрагмент дерева, обмежений кількома вузлами на двох послдовательних рівнях. Тут p і P позначають потужність, виражену в дБм і мВт відповідно.

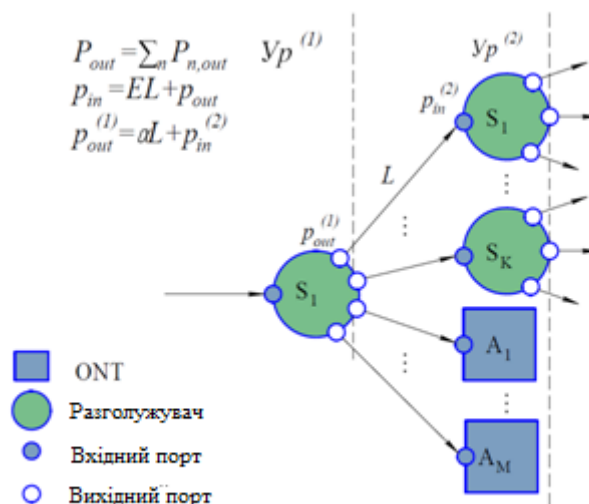


Рисунок 3.3 – Фрагмент "дерева" мережі PON

І все ж цей метод, незважаючи на свою простоту і природність підходу, має кілька істотних недоліків:

- неможливо отримати розгалужувач, точно відповідний розрахованим параметрам;
- реальні вносяться втрати по портам в замовлених розгалужувачах можуть відрізнятися мінальних на величину нерівномірності;
- висока вартість виготовлення розгалужувачів "на замовлення";
- необхідність заново розраховувати коефіцієнти розподілу всіх розгалужувачів при нарощуванні мережі, отже, замовляти нові розгалужувачі, що економічно не вигідно;
- алгоритм не враховує можливості планування так званих точок зростання, коли певний запас потужності заздалегідь закладається в точках зростання для підключення нових абонентів.

Таким чином, більша частина недоліків пов'язана з ідеальністю методу, тобто з відсутністю прив'язки до реального обладнання. Необхідно наблизити цей алгоритм до реальних умов. Так як втілення ідеальної збалансованої мережі на реальному обладнанні неможливо, доцільно можливий розкид параметрів і характеристик залежить сам алгоритм розрахунку. Одним з недоліків даного методу є підбір дорогих несиметричних розгалужувачів, що економічно невигідно. Отже, можна забезпечити приблизна рівність рівнів сигналів на входах ONT, отримавши тим самим сбаланірованную оптичну мережу. Розгалужувачі вибираються з бази даних серійно виготовляємих розгалужувачів, що підвищує економічність проекрованої мережі і спрощує заміну розгалужувачів при розширенні мережі. Пропонується також закласти в проектовану мережу точки зростання для спрощення подальшого нарощування мережі.

Метод побудови квазісбалансованої оптичної мережі має ряд переваг в порівнянні з методом побудови збалансованої мережі. По-перше, цей метод дозволяє враховувати при плануванні і розрахунку мережі точки зростання – деяку потужність, резервовану на вихідному порту

розгалужувача для подальшого зростання мережі. Виходячи з вищесказаного доцільно побудова сбалансованої мережі, але так як даний проект не передбачає подальшого розширення мережі та використання дорогих ОР на замовлення.

3.2 Опис алгоритму розрахунку бюджету потужності збалансованої мережі PON

Кожен компонент оптичного лінійного тракту PON має свою величину оптичних втрат. Допустимі втрати оптичного сигналу на всьому шляху від оптичного передавача до приймача не повинні перевищити оптичний бюджет потужності.

Волоконно-оптичний канал електрозв'язку задовольняє заданому бюджету, якщо втрати потужності сигналу в каналі електрозв'язку (загасання в ОБ, втрати на конекторах, ОР та інших компонентах) з урахуванням допустимих спотворень сигналів, потрапляють в інтервал $[OB_{min}, OB_{max}]$.

Алгоритм розрахунку втрат і визначення оптимальних коефіцієнтів розподілу всіх ОР складається з трьох етапів:

- а) розрахунку сумарних втрат для кожної гілки без урахування втрат в ОР;
- б) почергового визначення коефіцієнтів розподілу кожного ОР, починаючи з найбільш віддалених;
- в) розрахунку бюджету втрат для кожного абонентського терміналу з урахуванням втрат у всіх елементах ланцюга, порівняння його з динамічним діапазоном системи.

Якщо абоненти перебувають на різній відстані від OLT, то, при рівномірному розподілі потужності в кожному ОР, потужність на вході кожного ONU/ONT буде різною. Підбір параметрів ОР пов'язаний з необхідністю отримання на вході кожного абонентського терміналу мережі

приблизно однакового рівня оптичної потужності, тоб-то побудови так званої збалансованої мережі.

При виборі коефіцієнтів ділення ОР необхідно знати, які втрати будуть вноситися в ланцюг при тому чи іншому коефіцієнті розподілу. Для приблизного визначення внесених втрат ОР типу 1х2 рекомендується користуватися параметрами ОР, наведеними в таблиці 3.2.

При необхідності визначення внесених втрат ОР з великою кількістю вихідних портів або з іншими коефіцієнтами ділення A_i , дБ, рекомендується користуватися оціночної формулою:

$$A_i = 10 \lg (100 \% / D \%) + \log_2 (N - 1) 0,4 + 0,2 + 1,5 \lg (100\% / D \%), \quad (3.4)$$

де $D\%$ – відсоток потужності, виведеної в даний порт,%;

N – кількість вихідних портів;

i – номер вихідного порту.

Примітка: використання таблиці 3.2 і розрахунків по формулі (3.4) дозволить тільки приблизно оцінити значення внесеного загасання (похибка знаходиться в межах 0,1..0,4 дБ). Конкретні значення внесених втрат для кожного ОР вказуються виробником, проте, і розрахункові значення цілком придатні для проектування.

Таблиця 3.2 – Параметри ОР типу 1х2

Коефіцієнт ділення, %	Оціночні вносимі витрати, дБ	Різниця внесених втрат між вихідними портами, дБ
50/50	3,7/3,7	0
45/55	4,2/3,2	1,0
40/60	4,8/2,8	2,0
35/65	5,4/2,4	3,0
30/70	6,2/2,0	4,2
25/75	7,1/1,6	5,5

Коефіцієнт ділення, %	Оціночні вносимі витрати, дБ	Різниця внесених втрат між вихідними портами, дБ
20/80	8,2/1,3	6,9
15/85	9,7/1,0	8,7
10/90	11,7/0,7	11,0
5/95	15,2/0,5	14,7

Для кожного оптичного каналу OLT-ONTi все втрати в лінії $A\Sigma$, дБ, розраховуються у вигляді суми затухань всіх компонентів:

$$A\Sigma = \alpha (l_1 + \dots + l_n) + WL + NP \cdot AP + NC \cdot AC + (A_{POi} + A_{POm}), \quad (3.5)$$

де l_i – довжина i -ділянки, км;

n – кількість ділянок;

α – коефіцієнт загасання ВОК, дБ / км;

WL – ослаблення сигналу на WDM мультиплексор, дБ;

NP – кількість роз'ємних з'єднань;

AP – середні втрати в роз'ємному з'єднанні, дБ;

NC – кількість зварних з'єднань;

AC – середні втрати в зварному з'єднанні, дБ;

$GPOi$ – втрати в i -ОР, дБ.

Перший доданок відноситься до сумарних втрат в ВОК, друге – до втрат на WDM мультиплексор, третє – до втрат в роз'ємах, четверте – до втрат на зварних з'єднаннях і п'яте – до втрат в ОР.

Виконуємо розрахунок загасання для кожної ланцюга (від OLT до ONTi) по перших чотирьох складовою і вибираємо коефіцієнти розподілу ОР, починаючи з найбільш віддалених (останній каскад), так, щоб згасання в кожному ланцюзі було приблизно однаковим.

Далі слід повторити операцію, але з урахуванням загасання в ОР, в яких вже визначені коефіцієнти розподілу і відомо розрахункове загасання в кожному порту. Операція повторюється до визначення коефіцієнтів розподілу ОР першого каскаду.

Розрахунок бюджету втрат повинен підтвердити, що для кожної гілки загальна величина втрат (включаючи запас і штрафні втрати) $A\Sigma_i$, дБ, задовольняє умові:

$$\text{Динамічний діапазон мережі} \geq (A\Sigma_i + 3) \text{ дБ} \quad (3.6)$$

Остаточний розрахунок оптичного бюджету проводиться на підставі технічних даних виробника активного обладнання, ВОК і компонентів мережі.

3.3 Розрахунок бюджету потужності збалансованої мережі доступу

Проектована мережа PON представлена на рисунку 3.4, з якого видно, що найдовша гілка OLT-ONT13 становить 9 км, а найкоротша гілку OLT-ONT1 – 2 км. Кількість ONT дорівнює 18.

Для наведеної на рисунку 3.4 мережі зробимо розрахунок за умови, що мережа збалансована. Тобто, на вході кожного ONT задамося потужністю, яка виражається в:

$$p_{ONT} = 10 \lg \frac{P_{ONT}}{10^{-3}} = 0 \text{ дБм} \quad (3.7)$$

Таким чином, зробимо розрахунок втрат за наведеною вище формулою (3.5) для кожної гілки.

OLT-ONT₁:

$$A_{\Sigma-1} = (1,2+0,8) \text{ км} \cdot 0,35 + 2 \cdot 0,3 + 1 \cdot 0,05 + A_{\text{PO31}} = 1,35 + A_{\text{PO31}} \quad (3.8)$$

OLT-ONT₂:

$$A_{\Sigma-2} = (2,2+0,8) \text{ км} \cdot 0,35 + 2 \cdot 0,3 + 1 \cdot 0,05 + A_{\text{PO31}} = 1,75 + A_{\text{PO31}} \quad (3.9)$$

OLT-ONT₃:

$$A_{\Sigma-3} = (0,3+2+0,8) \text{ км} \cdot 0,35 + 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,05 + A_{\text{PO31}} + A_{\text{PO32}} = 1,78 + A_{\text{PO31}} + A_{\text{PO32}} \quad (3.10)$$

OLT-ONT₄:

$$A_{\Sigma-4} = (0,35+2+0,8) \text{ км} \cdot 0,35 + 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,05 + A_{\text{PO31}} + A_{\text{PO32}} = 1,8 + A_{\text{PO31}} + A_{\text{PO32}} \quad (3.11)$$

OLT-ONT₅:

$$A_{\Sigma-5} = (0,2+2+0,8) \text{ км} \cdot 0,35 + 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,05 + A_{\text{PO31}} + A_{\text{PO32}} = 1,75 + A_{\text{PO31}} + A_{\text{PO32}} \quad (3.12)$$

OLT-ONT₆:

$$A_{\Sigma-6} = (0,25+2+0,8) \text{ км} \cdot 0,35 + 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,05 + A_{\text{PO31}} + A_{\text{PO32}} = 1,76 + A_{\text{PO31}} + A_{\text{PO32}} \quad (3.13)$$

OLT-ONT₇:

$$A_{\Sigma-7} = (0,6+4+0,8) \text{ км} \cdot 0,35 + 2 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,05 + A_{\text{PO31}} + A_{\text{PO33}} = 2,64 + A_{\text{PO1}} + A_{\text{PO33}} \quad (3.14)$$

OLT-ONT₈:

$$A_{\Sigma-8} = (0,5+0,4+4+0,8) \text{ км} \cdot 0,35 + 2 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,05 + A_{\text{PO31}} + A_{\text{PO33}} + A_{\text{PO34}} = 2,79 + A_{\text{PO31}} + A_{\text{PO33}} + A_{\text{PO34}} \quad (3.15)$$

OLT-ONT₉:

$$A_{\Sigma-9} = (0,4+0,4+4+0,8) \text{ км} \cdot 0,35 + 2 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,05 + A_{\text{PO31}} + A_{\text{PO33}} + A_{\text{PO34}} = 2,76 + A_{\text{PO31}} + A_{\text{PO33}} + A_{\text{PO34}} \quad (3.16)$$

OLT-ONT₁₀:

$$A_{\Sigma-10} = (0,45+0,4+4+0,8) \text{ км} \cdot 0,35 + 2 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,05 + A_{\text{PO31}} + A_{\text{PO33}} + A_{\text{PO34}} = 2,77 + A_{\text{PO31}} + A_{\text{PO33}} + A_{\text{PO34}} \quad (3.17)$$

OLT-ONT₁₁:

$$A_{\Sigma-11} = (0,3+0,4+4+0,8) \text{ км} \cdot 0,35 + 2 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,05 + A_{\text{PO31}} + A_{\text{PO33}} + A_{\text{PO34}} = 2,72 + A_{\text{PO31}} + A_{\text{PO33}} + A_{\text{PO34}} \quad (3.18)$$

OLT-ONT₁₂:

$$A_{\Sigma-12} = (0,2+1+4+0,8) \text{ км} \cdot 0,35 + 2 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,05 + A_{\text{PO31}} + A_{\text{PO33}} + A_{\text{PO35}} = 2,9 + A_{\text{PO31}} + A_{\text{PO33}} + A_{\text{PO35}} \quad (3.19)$$

OLT-ONT₁₃:

$$A_{\Sigma-13} = (1+1+2,2+4+0,8) \text{ км} \cdot 0,35 + 2 \cdot 0,3 + 6 \cdot 0,05 + A_{\text{PO31}} + A_{\text{PO33}} + A_{\text{PO35}} + A_{\text{PO36}} = 4,05 + A_{\text{PO31}} + A_{\text{PO33}} + A_{\text{PO35}} + A_{\text{PO36}} \quad (3.20)$$

OLT-ONT₁₄:

$$A_{\Sigma-14} = (0,4+2,2+1+4+0,8) \text{ км} \cdot 0,35 + 2 \cdot 0,3 + 6 \cdot 0,05 + A_{PO31} + A_{PO33} + A_{PO35} + A_{PO36} = 3,84 + A_{PO31} + A_{PO33} + A_{PO35} + A_{PO36} \quad (3.21)$$

OLT-TP₁:

$$A_{\Sigma-TP1} = (0,1+1,3+4+0,8) \text{ км} \cdot 0,35 + 2 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,05 + A_{PO31} + A_{PO33} + A_{PO37} = 2,97 + A_{PO31} + A_{PO33} + A_{PO37} \quad (3.22)$$

OLT-ONT₁₅= ONT₁₆=ONT₁₇= ONT₁₈:

$$A_{\Sigma-15} = (0,1+0,4+1,3+4+0,8) \text{ км} \cdot 0,35 + 2 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,05 + A_{PO31} + A_{PO33} + A_{PO37} + A_{PO38} = 3,16 + A_{PO31} + A_{PO33} + A_{PO37} + A_{PO38} \quad (3.23)$$

Підбір коефіцієнтів ділення для розгалужувачів. Будемо починати з далекого кінця.

Таким чином, знайдемо коефіцієнт ділення для розгалужувача S6. Різниця втрат без урахування розгалужувачів $4,05 - 3,84 = 0,21$ дБ.

З довідкової таблиці 3.2, виходячи з різниці внесених втрат між вихідними портами, виберемо найбільш близьке значення – 1,0 дБ, що відповідає коефіцієнту розподілу 45/55.

З тієї ж таблиці видно, що при направленні 45% потужності до ONT14, внесене згасання від S6 складе 4,2 дБ. До ONT13 буде направлено 55% потужності, від S6 і внесене згасання складе 3,2 дБ. Тоді вирази 3.20 і 3.21 приймуть такий вигляд:

OLT-ONT₁₃:

$$A_{\Sigma-13} = 4,05 + 3,2 + A_{PO31} + A_{PO33} + A_{PO35} = 7,25 + A_{PO31} + A_{PO33} + A_{PO35} \quad (3.24)$$

OLT-ONT₁₄:

$$A_{\Sigma-14} = 3,84 + 4,2 + A_{PO31} + A_{PO33} + A_{PO35} = 8,04 + A_{PO31} + A_{PO33} + A_{PO35} \quad (3.25)$$

Знайдемо коефіцієнт ділення для розгалужувача S5. Різниця втрат без урахування розгалужувачів $8,04 - 2,9 = 5,14$ дБ. З довідкової таблиці 3.2, виходячи з різниці внесених втрат між вихідними портами, виберемо найбільш близьке значення – 5,5 дБ, що відповідає коефіцієнту розподілу 25/75. Таким чином, при направленні 25% потужності до ONT12, внесене згасання від S5 складе 7,1 дБ. До S6 буде направлено 75% потужності і внесене згасання складе 1,6 дБ. Тоді вирази 3.19, 3.24 і 3.25 приймуть такий вигляд:

OLT-ONT₁₂:

$$A_{\Sigma-12} = 2,9 + 7,1 + A_{PO31} + A_{PO33} = 10 + A_{PO31} + A_{PO33} \quad (3.26)$$

OLT-ONT₁₃:

$$A_{\Sigma-13} = 7,25 + 1,6 + A_{PO31} + A_{PO33} = 8,85 + A_{PO31} + A_{PO33} \quad (3.27)$$

OLT-ONT₁₄:

$$A_{\Sigma-14} = 8,04 + 1,6 + A_{PO31} + A_{PO33} = 9,64 + A_{PO31} + A_{PO33} \quad (3.28)$$

Знайдемо коефіцієнт ділення для розгалужувача S8. З огляду на, що він симетричний, внесені їм втрати будуть розраховані за наступною формулою:

$$A_{розд} = 3,3 \cdot \log_2 N = 3,3 \cdot \log_2 4 = 6,6 \text{ дБ} \quad (3.29)$$

OLT-ONT₁₅=ONT₁₆=ONT₁₇=ONT₁₈:

$$A_{\Sigma-15-18} = 6,16 + 6,6 + A_{PO31} + A_{PO33} + A_{PO37} = 9,76 + A_{PO31} + A_{PO33} + A_{PO37} \quad (3.30)$$

Підберемо коефіцієнт ділення розгалужувача S7.

Найбільша різниця рівнів між гілками $9,76 - 2,97 = 6,79$ дБ. З довідкової таблиці 3.2 бачимо, що найближчим значення різниці внесених витрат між вихідними портами складе 6,9 дБ, що відповідає коефіцієнту розподілу 20/80. Підставляючи вносяться втрати, відповідно 8,2 дБ і 1,3 дБ, отримаємо.

OLT-TP₁:

$$A_{\Sigma-TP1} = 2,97 + 8,2 + A_{PO31} + A_{PO33} = 11,17 + A_{PO31} + A_{PO33} \quad (3.31)$$

OLT-ONT₁₅=ONT₁₆=ONT₁₇=ONT₁₈:

$$A_{\Sigma-15} = 9,76 + 1,3 + A_{PO31} + A_{PO33} = 11,06 + A_{PO31} + A_{PO33} \quad (3.32)$$

Підберемо коефіцієнт ділення розгалужувача S4. З виразів 3.15, 3.16, 3.17 і 3.18 видно, що розгалужувач S4 симетричний, тому що вносяться їм втрати становитимуть 6,6 дБ (з формули 3.29). Тому можна записати:

OLT-ONT₈=ONT₉=ONT₁₀=ONT₁₁:

$$A_{\Sigma-8-11} = (2,79 + 2,76 + 2,77 + 2,72)/4 + 6,6 + A_{PO31} + A_{PO33} = 9,36 + A_{PO31} + A_{PO33} \quad (3.33)$$

Аналізуючи формули 3.14, 3.33, 3.26 і 3.31, можна визначити коефіцієнт ділення для розгалужувача S3, знайшовши сумарні втрати.

$$A_{\Sigma\text{разв}} = 2,64 + 9,36 + 10 + 11,17 = 33,17 \text{ (дБ)}$$

Коефіцієнт розподілу визначається за такою формулою:

$$R_k = \frac{P_k}{P_{\text{вих}}}, \quad (3.34)$$

де – вихідний порт, k де, $k=1$;

$P_{\text{вих}}$ – сумарна потужність на всіх вихідних портах.

Таким чином:

$$R_1 = \frac{2,64}{33,17} \cdot 100\% \approx 10\%$$

$$R_2 = \frac{9,36}{33,17} \cdot 100\% \approx 30\%$$

$$R_3 = \frac{10}{33,17} \cdot 100\% \approx 30\%$$

$$R_4 = \frac{11,17}{33,17} \cdot 100\% \approx 30\%$$

Аналізуючи отримані дані, можна зробити висновок, що розгалужувач S3 в сторону ONT7 ответвляє 10% оптичної потужності, а в бік S4, S5 і S7 - по 30% оптичної потужності. Використовуючи формулу 3.4 можна знайти загасання для кожної ланцюга:

$$A_{\text{развS3}} = 10 \lg\left(\frac{100\%}{10\%}\right) + \log_2(4-1) \cdot 0,4 + 0,2 + 1,5 \lg\left(\frac{100\%}{10\%}\right) = 8,3 \text{ дБ}$$

$$A_{\text{развS3}} = 10 \lg\left(\frac{100\%}{30\%}\right) + \log_2(4-1) \cdot 0,4 + 0,2 + 1,5 \lg\left(\frac{100\%}{30\%}\right) = 2,8 \text{ дБ}$$

З огляду на ці втрати, формули можна переписати:

OLT-ONT7:

$$A_{\Sigma-7} = 2,64 + 8,3 + A_{\text{PO1}} = 10,94 + A_{\text{PO1}} \quad (3.35)$$

OLT-ONT8=ONT9=ONT10=ONT11:

$$A\Sigma-8-11 = 9,36 + 2,8 + APO31 = 12,16 + APO31 \quad (3.36)$$

OLT-ONT12:

$$A\Sigma-12 = 10 + 2,8 + APO31 = 12,8 + APO31 \quad (3.37)$$

OLT-ONT13:

$$A\Sigma-13 = 8,85 + 2,8 + APO31 = 11,65 + APO31 \quad (3.38)$$

OLT-ONT14:

$$A\Sigma-14 = 9,64 + 2,8 + APO31 = 12,44 + APO31 \quad (3.39)$$

OLT-TP1:

$$A\Sigma-TP1 = 11,17 + 2,8 + APO31 = 13,97 + APO31 \quad (3.40)$$

OLT-ONT15=ONT16=ONT17=ONT18:

$$A\Sigma-15-18 = 11,06 + 2,8 + APO31 = 13,86 + APO31 \quad (3.41)$$

Підберемо коефіцієнт ділення розгалужувача S2. З виразу 3.10, 3.11, 3.12 і 3.13 видно, що розгалужувач S2 симетричний, тому що вносяться їм втрати становитимуть 6,6 дБ (з формули 3.29). Тому можна записати:

OLT-ONT3=ONT4=ONT5=ONT6:

$$A\Sigma-3-6 = (1,78 + 1,8 + 1,75 + 1,76)/4 + 6,6 + APO31 = 8,37 + APO31 \quad (3.42)$$

Для визначення коефіцієнта ділення розгалужувача знайдемо сумарні втрати:

$$A\Sigma_{\text{разв1}} = 1,35 + 1,75 + 8,37 + 13,97 = 25,44 \text{ (дБ)}$$

Коефіцієнт розподілу визначимо за формулою 3.34:

$$R_1 = \frac{1,35}{25,44} \cdot 100\% \approx 5\%$$

$$R_2 = \frac{1,75}{25,44} \cdot 100\% \approx 5\%$$

$$R_3 = \frac{8,37}{25,44} \cdot 100\% \approx 30\%$$

$$R_4 = \frac{13,97}{25,44} \cdot 100\% \approx 60\%$$

Використовуючи формулу 3.4 можна знайти загасання для кожної ланцюга:

$$A_{\text{пазв1}} = 10 \lg\left(\frac{100\%}{5\%}\right) + \log_2(4-1) \cdot 0,4 + 0,2 + 1,5 \lg\left(\frac{100\%}{5\%}\right) = 12,79 \text{ дБ}$$

$$A_{\text{пазв2}} = 10 \lg\left(\frac{100\%}{30\%}\right) + \log_2(4-1) \cdot 0,4 + 0,2 + 1,5 \lg\left(\frac{100\%}{30\%}\right) = 2,8 \text{ дБ}$$

$$A_{\text{пазв3}} = 10 \lg\left(\frac{100\%}{60\%}\right) + \log_2(4-1) \cdot 0,4 + 0,2 + 1,5 \lg\left(\frac{100\%}{60\%}\right) = 1,36 \text{ дБ}$$

З огляду на ці втрати формули можна записати:

OLT-ONT1:

$$A\Sigma-1 = 1,35 + 12,79 = 14,14 \text{ (дБ)} \quad (3.43)$$

OLT-ONT2:

$$A\Sigma-2 = 1,75 + 12,79 = 14,54 \text{ (дБ)} \quad (3.44)$$

OLT-ONT3=ONT4=ONT5=ONT6:

$$A\Sigma-3-6 = 8,37 + 2,8 = 11,17 \text{ (дБ)} \quad (3.45)$$

OLT-ONT7:

$$A\Sigma-7 = 10,94 + 1,36 = 12,3 \text{ (дБ)} \quad (3.46)$$

OLT-ONT8=ONT9=ONT10=ONT11:

$$A\Sigma-8-11 = 12,16 + 1,36 = 13,52 \text{ (дБ)} \quad (3.47)$$

OLT-ONT12:

$$A\Sigma-12 = 12,8 + 1,36 = 14,16 \text{ (дБ)} \quad (3.48)$$

OLT-ONT13:

$$A\Sigma-13 = 11,65 + 1,36 = 13,01 \text{ (дБ)} \quad (3.49)$$

OLT-ONT14:

$$A\Sigma-14 = 12,44 + 1,36 = 13,8 \text{ (дБ)} \quad (3.50)$$

OLT-TP1:

$$A\Sigma-TP1 = 13,97 + 1,36 = 15,33 \text{ (дБ)} \quad (3.51)$$

OLT-ONT15=ONT16=ONT17=ONT18:

$$A\Sigma-15-18 = 13,86 + 1,36 = 15,22 \text{ (дБ)} \quad (3.52)$$

Для передачі потоку інформації в прямому напрямку будемо використовувати передатчик TW-600 (PON622) фірми «TerawaveCommunications», характеристики якого представлені в таблиці 3.3. Цей оптичний модуль повністю відповідає умовам проекрованої мережі. При з'єднанні ПОМ-675 з обладнанням станції буде використовуватися патчкорд з конвектором типу SC / PC.

Таблиця 3.3 – Характеристики оптичного передатчика TW-600 (PON)

Швидкість передачі, Мбіт/с	Довжина хвилі, випромінення мкм	Мінімальна потужність, дБм	Максимальна потужність, дБм
622	1,48 ÷ 1,58	–3	+3

Щоб відтворити потокові інформації на стороні абонента буде використовуватися приймач TW-300 (PON) фірми «TerawaveCommunications», характеристики якого представлені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Характеристики оптичного приймача TW-300 (PON)

Швидкість передачі, Мбіт/с	Довжина хвилі, випромінення мкм	Мінімальна потужність, дБм	Максимальна потужність, дБм
622	1,2 ÷ 1,57	–33	–3

Приймальний детектор має мінімальну чутливість $p_{\text{ex min}} = -33\text{дБ}$ і верхню границю робочого режиму $p_{\text{ex max}} = -3\text{дБ}$, яка називається порогом перевантаження. При сигналі, котрий має потужність більше, не може приймати сигнал встановлюємій рівнем помилок $BER = 10^{-10}$, так як входить до режиму нарахування. В таких випадках необхідно примусово ослабити

атенюатором. Вважаючи середній рівень потужності, випромінюваний лазером, $p_{\text{вых min}} = -3\text{дБ}$ ÷ $p_{\text{вых max}} = +3\text{дБ}$ отримаємо:

$$OB_{\text{max}} = p_{\text{вых min}} - p_{\text{вх min}} = (-3) - (-33) = +30\text{дБ}; \quad (3.53)$$

$$OB_{\text{min}} = p_{\text{вых max}} - p_{\text{вх max}} = (+3) - (-3) = +6\text{дБ}, \quad (3.54)$$

де OB_{max} і OB_{min} максимальне і мінімальне ослаблення сигналу відповідно;

$p_{\text{вых min}}$, $p_{\text{вых max}}$ – допустимий розкид потужностей передатчика;

$p_{\text{вх min}}$, $p_{\text{вх max}}$ – допустимий рівень сигналу причмача, при якому коефіцієнт помилок не привищує заданий рівень.

Для кожного каналу зв'язку OLT-ONT ($i=1...N$, де N – число абонентських вузлів) визначаються умови на втрати в прямому потоці:

$$OB_{\text{min}} \leq A_{\Sigma} + A_{\Sigma \text{раз}} + \text{Штраф} \leq OB_{\text{max}}, \quad (3.55)$$

де OB – оптичний бюджет приемопримальній оптичній мережі;

A_{Σ} – згосання каналів зв'язку ;

$A_{\Sigma \text{раз}}$ – затухання в зарголузувачі .

Підставляючи найбільше загасання в галузі в вираз (3.55) отримаємо:

$$6 \leq 15,33 + 1 \leq 30$$

$$6 \leq 16,33 \leq 31$$

Таким чином, умова виконується і спроектована мережа є збалансованою. Ослаблення потужності сигналу в оптичних компонентах спроектованої мережі показано на рисунку 3.5.

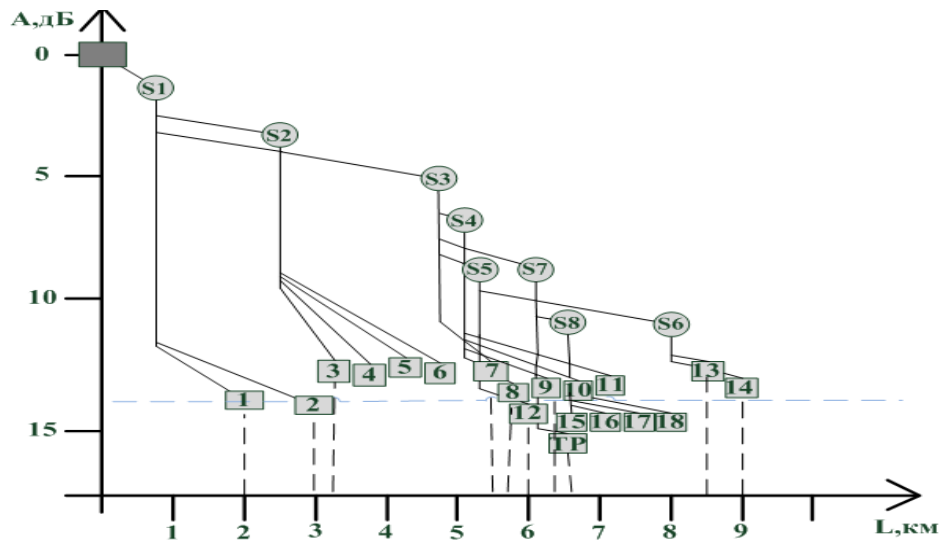


Рисунок 3.5 – Ослаблення сигналу в оптичних компонентах проектованої мережі

Розрахунок мережі дозволив вибрати обладнання з необхідною потужністю і забезпечити нормальну роботу всіх кінцевих пристроїв, визначити необхідний коефіцієнт ділення розгалужувача для ефективного використання потужності. Це дозволило побудувати збалансовану мережу.

4 ВИБІР ОБЛАДНАННЯ МЕРЕЖІ PON

Пасивна оптична мережа складається з активних і пасивних компонент, які присутні на певних ділянках мережі.

До обладнання станційного ділянки відноситься OLT, яке встановлюється на станції, кінцеві пристрої ONT, що розміщуються безпосередньо у абонента, WDM мультиплексори і ODF, змонтовані на вузлі електрозв'язку в приміщенні АТС.

На лінійній ділянці для побудови мережі використовуються ВОК, орш, ОРК, сплітери, коннектори і з'єднувачі, розташовані між станційним і абонентським ділянками. Це є пасивні компоненти мережі.

У абонентський сегмент входить будинок частина, яка складається з поверхового боксу, абонентської розетки і міжповерхового кабелю для горизонтальної та вертикальної розводки.

Загальна схема розміщення обладнання мережі PON представлена на рисунку 4.1.

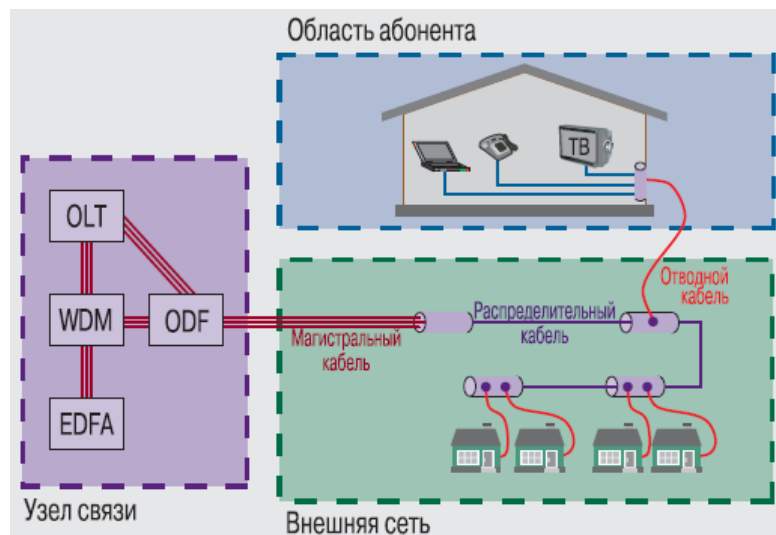


Рисунок 4.1 – Загальна схема розміщення обладнання мережі PON

4.1. Оптична кросове обладнання

Станційний сегмент мережі PON полягає не тільки з активного обладнання OLT, але і з оптичного кросу високої щільності, які з'єднуються між собою за допомогою оптичних патчкордів, де через роз'єми SC / APC подаються в лінію, станційного оптичного кабелю для з'єднання оптичного кросу з магістральним сегментом. Дане обладнання встановлюється і монтується на вузлі зв'язку в приміщення на АТС.

Оптичне кросове обладнання (Optical Distribution Frame, ODF – оптичне розподільний пристрій) використовується для кінцевих закладення оптичних кабелів і підключення їх до апаратури систем передачі і призначене, як і обладнання оптичних систем передачі, переважно для експлуатації в приміщеннях.

Застосовується кілька основних конструктивних виконань оптичного кросового обладнання: блочне, шафове і стійкове. Кроси блочного і стійкового типу використовуються в основному для кінцевий закладення оптичного кабелю великої місткості на об'єктах зв'язку.

Шафове виконання оптичних кросів випускається у вигляді малогабаритних розподільних коробок із замикаючим пристроєм для настінного кріплення в приміщеннях. Такі кроси використовуються на невеликих об'єктах зв'язку або в офісних приміщеннях для кінцевий закладення кабелю невеликої ємності. Крім того, заводовиготовлювач може постачати оптичне кросове обладнання під волого і пилозахисні виконання, повністю змонтованим, а також комплектувати попередньо змонтованим в заводських умовах відрізком ОК, призначеним для муфтового з'єднання з лінійним кабелем. Стійкове виконання кросового обладнання являє собою комплект блоків, які встановлюються в стандартний каркас стійки (19-дюймовий або ж шириною 600 мм). Кожен блок забезпечує кінцеву закладення кабелю. Сам каркас стійки також використовується для розміщення активного устаткування (обладнання оптичної системи передачі).

Крім того, існує і стійкове виконання кросу "вузької" конструкції у вигляді стійок. Шафа кросова оптична стієчний набув найширшого поширення в якості комутаційного обладнання, що використовується при прокладанні ВОЛЗ. Ця конструкція не передбачає поділу на поверхи. Лицьова сторона таких кросів оснащується панелями з адаптерами оптичних з'єднувачів.

Популярність стоечних оптичних шаф, найбільш розповсюдженим різновидом яких є шафа шко, заснована на цілому ряді переваг, серед яких можна підкреслити наступне:

- шафи шко відрізняються компактними розмірами і малою вагою;
- мають велике максимальну кількість оптичних портів;
- дозволяють одночасно приєднувати велику кількість оптичних кабелів;
- підтримуються практично всі застосовувані типи оптичних портів;
- передбачені необхідні технічні рішення для надійного і безпечного кріплення кабелів.

Таким чином, в стійку шафи типу шко поєднують в собі високу функціональність і надійність з компактністю і зручністю експлуатації. Тому, в даному проекті для розміщення активного обладнання на вузлі зв'язку АТС обраний оптичний стієчний шафа серії шко-С-1U-8 (рисунок 4.2), який встановлюється в телекомунікаційну стійку СТК-24 (рисунок 4.3).



Рисунок 4.2 – Шафа оптичний стієчний шко-С-1U-8

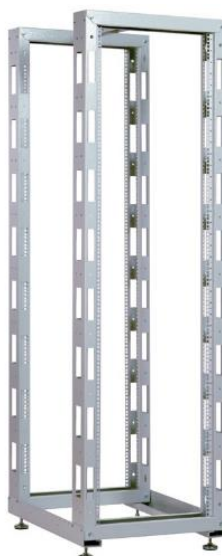


Рисунок 4.3 – Телекомунікаційна стійка СТК-24

Незалежно від конструктивного виконання в комплект поставки оптичного кросу зазвичай входять такі пристрої:

- пристрої введення ОК;
- касети для з'єднання волокна лінійного ОК з оптичними шнурами типу pigtail, армованими з одного кінця оптичними з'єднувачами;
- панель комутації (патчпанелі) з встановленими на ній адаптерами оптичних з'єднувачів для стику шнурів типу pigtail (пігтейл) і з'єднувальних шнурів типу patchcord (оптичний патчкорд).

Оптична патчпанелі (рисунок 4.4) відноситься до пасивної частини мережевого обладнання і призначені для організації оптичного кабелю в монтажних шафах і боксах і фіксування кабелю термінувати оптичними адаптерами.

Оптична панель поставляється з різним набором аксесуарів. Наприклад, існує близько десяти різновидів лицьових панелей, кожна з яких на фронтальній частині панелі фіксує оптичні адаптери певного типу. Зазвичай в одну розбірну оптичну патчпанелі можна встановити 2-4 різних лицьових панелі.

Оптичні патчпанелі бувають висувні і фіксовані. Висувні патчпанелі більш зручні в обслуговуванні і для того, щоб отримати доступ до внутрішньої частини панелі досить подати внутрішню її частину вперед, при цьому немає необхідності знімати її зі стійок шафи або стінки.



Рисунок 4.4 – Оптична патчпанелі

Введення кабелю в оптичну панель здійснюється через отвори в задній її частині. Для надійної фіксації кабелю використовується кабельний ввід PG. Незадіяні отвори рекомендовано закрити заглушками для кабельних вводів.

Сплайс-касета призначена для укладання запасу кабелю і установки гільз. В даному проекті для кріплення місць зварювання оптичних волокон в корпусі шафи встановлена сплайс-пластина КУ-01 (рисунок 4.5), технічні характеристики якої представлені в таблиці 4.1. Для захисту зварених волокон пластина зверху закривається прозорою акриловою кришкою.



Рисунок 4.5 – Сплайс-пластина КУ-01

Таблиця 4.1 – Технічні характеристики сплайс-пластини КУ-01

Радіус вигибу ОВ на касеті	Не менше 35 мм
Ємність касети при використанні механічних з'єднувачів	16 шт
Матеріал	пластик ABS, чорний
Габарити	195x127x11 мм

Однією із складових частин оптичних мереж є патчкорд (patchcord) – це комутаційний шнур, що складається з відрізка оптичного волокна, окінцевим з обох сторін оптичними штекерами (коннекторами) різних видів. За допомогою патчкордів проводиться роз'ємне підключення одного волоконно-оптичного пристрою до іншого.

Оптичні патчкорди можуть складатися з одномодових волокон SM (Single Mode) 9/125 (розуміється, як діаметри світлоповодної жили / оболонки в мкм) або багатомодових волокон MM (Multi Mode) 50 (62,5) / 125 (відповідно, означає діаметри оптичного волокна і його ізоляції). Патчкорди можуть складатися з одного волокна (Simplex) або з двох (Duplex). Можливо виготовлення патчкордів з коннекторами будь-якого типу: SC, FC, LC, ST,

MT-RJ. Возможні типи поліровки: PC (Physical Contact), SPC (Super Physical Contact), UPC (Ultra Physical Contact), APC (Angled Physical Contact).

Таким чином, з розрахунку 32 абонента на 1 порт OLT використовується 1 патчкорд SC / APC для підключення до оптичного кросу довжиною 1м (рисунок 4.6).



Рисунок 4.6 – Патчкорд SC / APC

Всередині будівлі АТС між розподільній стійкою і кабельної шахтою буде іпользоваться межстоечний станціонний кабель IFC. Армований скловолокном центральний несучий елемент гарантує укладання кабелю на стандартні прокладочні системи. Для додаткової гнучкості при монтажі зовнішня оболонка кабелю, зі зниженим виділенням диму та відсутністю галогенів, може бути обробити.

4.2 Обладнання лінійного ділянки мережі

Лінійна ділянка складається з магістральної ділянки, спліттерів і розподільної ділянки.

4.2.1 Розгалужувачі (сплітери) і їх характеристики

При побудові пасивних оптичних мереж найважливішим елементом є ОР. Саме це додає мережі необхідну гнучкість архітектури, масштабованість, максимальна відповідність системним вимогам, економічність. ОР є головним компонентом мережі PON і виконує просторове розділення оптичного сигналу по декількох каналах або об'єднує сигнали з різних каналів в один.

Розгалужувач є пасивний оптичний багатополісник ($n \times m$) із заданою кількістю входних (n) і вихідних портів (m). Його завданням є перерозподіл потужності сигналів між входними та вихідними портами.

Все разветвители в сетях PON можуть бути класифіковані за:

- робочій смузі пропускання (на стандартні одновіконний $\lambda_{раб} \pm 10$ нм, широкосмугові одновіконний $\lambda_{раб} \pm 40$ нм і двовіконну);
- за технологією виготовлення (сплавні і планарні);
- за кількістю вихідних портів і коефіцієнта ділення потужності.

4.2.1.1 Оптичні кабелі

Оскільки PON використовує оптичні кабелі, що прокладаються на різних ділянках (магістральний, розподільний, абонентський) і в різних умовах (в каналізації, підвіска на опорах, в будівлях абонентів), то і конструкції кабелів для цієї мережі можуть відрізнятися досить сильно.

Конструкції кабелів визначаються, в першу чергу, умовами прокладки кабелю (прокладка в ґрунт, в кабельну каналізацію, підвіска на опорах, прокладка у внутрішніх каналах і стояках будівлі і т.п.), а також необхідною кількістю волокон.

У таблиці 4.2 вказані чинники, які впливають на оптичні кабелі, прокладені в різних умовах і конструктивні методи захисту від них.

Таблиця 4.2 – Умови прокладки кабелю і їх можливі пошкодження

Умови прокладки	Основні впливаючі фактори	Конструктивні методи захисту
Безпосередньо в ґрунт	Атаки гризунів	Броня
	Розтяжне зусилля	Повздовжні силові елементи
	Випадкові удари	Броня
	Проникнення вологи	Влагозахистний бар'єр, гідрофобний заповнювач
	Роздавлююче зусилля	Конструкція сердечника, броня
У кабельній каналізації	Проникнення вологи	Влагозахистний бар'єр, гідрофобний заповнювач
	Розтяжне зусилля	Повздовжні силові елементи
	Скручування	Зовнішня оболонка
	Атаки гризунів	Броня, прокладка в захистних трубах
Підвіска на опорах	Розтяжне зусилля	Повздовжні силові елементи
	Перепади температур	Оболонки
	Проникнення вологи	Влагозахистний бар'єр, гідрофобний заповнювач
	Випадкові удари	Броня, оболонки, арамідні нитки
	Ультрафіолетове випромінювання	Наружная оболонка
Кабельні вводи в будинок	Возгорання	Оболонка из LSZH или PVC
	Атаки гризунів	Броня
	Проникнення вологи	Влагозахистний бар'єр
	Розтяжне зусилля	Повздовжні силові елементи
В середині приміщень	Возгорання	Оболонка из LSZH или PVC
	Вигин за малим радіусом	Оболонки
	Розтяжне зусилля	Арамідні нитки
	Випадкові удари	Оболонки, арамідні нитки
	Розтяжне зусилля	Оболонки, арамідні нитки

Таким чином, з огляду на середу прокладки кабелю, як магістрального кабелю в мережах PON застосовуються кабелі типу G.652D.

Кабель типу G.652D (рисунок 4.7) призначений для прокладки і експлуатації в кабельній каналізації, трубах, блоках, безпосередньо в ґрунтах всіх категорій, в тому числі в районах з високою корозійною агресивністю і територіях, заражених гризунами, окрім піддаються мерзлотним і іншим деформацій, а також через болота, озера, несплавні і несудноплавні річки глибиною до 15 метрів.

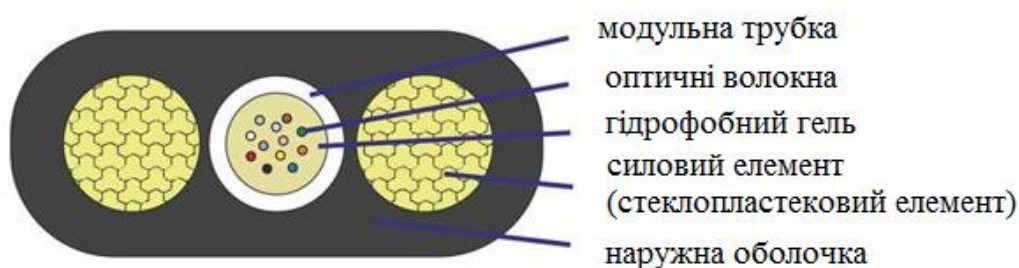


Рисунок 4.7 – Кабель типу G.652D

Кабель типу G.652D – не відповідає особливим вимогам по пожежній відповідно до стандарту МЕК (IEC) 60332-1 і МЕК (IEC) 60332-3.

З метою економії коштів, частина кабелю прокладається в кабельну каналізацію, а частина кабелю підвішується на опорах ЛЕП. ОК в кабельній каналізації прокладається переважно в населених пунктах, при цьому використовується наявна інфраструктура міської кабельної каналізації. Для більш ефективного використання каналів кабельної каналізації попередньо в стандартні канали (діаметром 100 мм) прокладають пластмасові труби. Прокладка ОК в кабельній каналізації проводиться переважно методом затягування вручну або із застосуванням лебідок. Для введення ОК в колодязі кабельної каналізації використовують напрямні пристрої та розгортальні ролики, які запобігають ушкодженню ОК на ділянках вигину і

знижують коефіцієнт тертя. Тяговий фал кріплять до ОК через компенсатор кручення (вертлюг). Швидкість затяжки ОК з використанням лебідок, що оснащуються пристроями контролю тягового зусилля, як правило, регулюється в діапазоні 0 ... 30 м / хв. В кінцевих колодязях повинен забезпечуватися технологічний запас довжини ОК, достатній для подальшого монтажу муфт, вихід ОК в колодязь кабельної каналізації з каналу герметизують прохідним сальником. Монтаж муфт виконується в спеціалізованій автомашині з подальшим кріпленням муфти і технологічного запасу довжини ОК, згорнутого в бухту, усередині колодязя кабельної каналізації.

При підвісці ОК на опорах попередньо встановлюються розгортальні ролики, за якими простягається діелектричний трос. Через вертлюг і кабельний панчоху він з'єднується з барабаном ОК, встановленому на підйомно-гальмівному пристрої. Протяжка троса з прикріпленням до нього ОК проводиться плавно лебідкою. При протягуванні ОК проводиться візуальний контроль за його провисання і відсутністю закручування по трасі членами бригади, оснащеними біноклями і переносними радіостанціями. При підході під час протягання стику троса і ОК до розгортальні ролику швидкість протягання, яка знаходиться в межах 1,8 км / год, знижують до мінімуму. Роботи по закріпленню ОК в розрахунковому положенні виробляють не пізніше, ніж через 48 годин після його розкочування. В ході цих робіт виконують: кріплення ОК на опорах натяжними зажимами, перекладання ОК з роликів в підтримують затискачі, укладають і закріплюють на опорах технологічні запаси довжин ОК. Як натяжних і підтримуючих затискачів переважно застосовують спіральні затискачі.

4.2.1.2 Технологія виготовлення оптичних подільників

Існує дві технології виготовлення оптичних розгалужувачів (рисунок 4.8):

- планарні оптичні розділювачі (Planar Lightwave Circuit splitter, PLC splitter);
- сплавні оптичні розділювачі (Fused Biconic Taper splitter, FBT splitter).

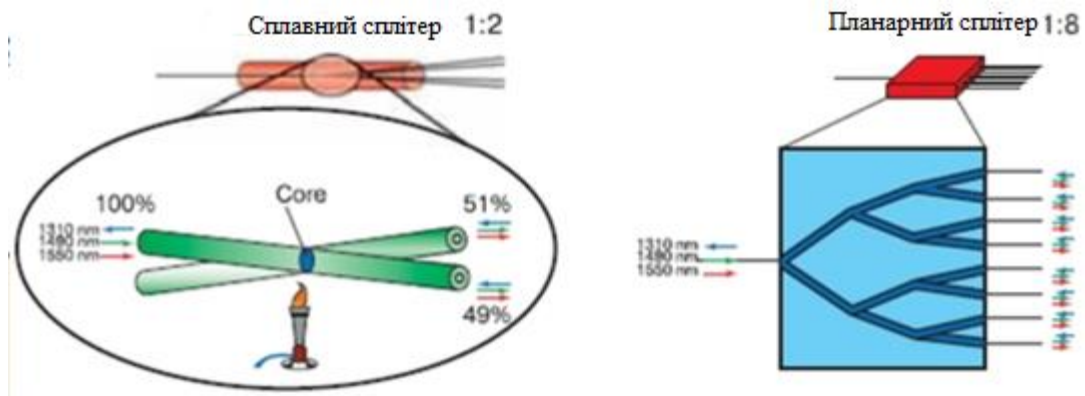


Рисунок 4.8 – Основні технології виготовлення сплітерів

Планарні сплітери виробляються методом хімічного осадження оптичного матеріалу на кремнієвій поверхні в кілька шарів з витравлювання на одній зі стадій через маску планарного світловоду необхідної конфігурації і оптичної щільності. Планарний світловод знаходиться між пластинами оптичного матеріалу і грає роль серцевини – по ньому передається оптична потужність. Фактично створюється кристал або мікросхема, що складається з кремнієвої пластини і оптичних матеріалів, що забезпечує рівномірний поділ оптичної потужності за схемою 1×2 , тобто створюється Y-подібний оптичний розгалужувач.

Розгалуження оптичного сигналу по схемі більше ніж один до двох з використанням планарних спліттерів здійснюється за допомогою каскадної схеми.

Створення PLC спліттерів з використанням сучасної технології дозволяє створювати вироби, стійко працюють в широкому спектральному діапазоні від 1260 нм до 1650 нм, що є їх великою перевагою. Однак у

оптичних роздільників PLC типу оптичні втрати на зворотне відбиття вище, ніж у оптичних роздільників сплавного типу.

Сплавні оптичні розгалужувачі виготовляються методом сплаву оптичних волокон. При сплаві двох волокон утворюється два конуса (при введенні і виведенні), тому сплавні оптичні розгалужувачі отримали назву біконічних разветвителей. При сплаві двох волокон утворюється Х-подібний оптичний розгалужувач 2×2 , з якого можна зробити Y-розгалужувач 1×2 , видаливши один з світловодів. Створення спліттерів з використанням зварювання дозволяє створювати пристрої з різною оптичною потужністю на виході.

4.2.1.3 Розподіл за кількістю входів

Оптичні сплітери по кількості входів і виходів поділяються на Х-образні (кілька входів і кілька виходів) і Y-образні (один вхід і кілька виходів). Найпростіший Х-подібний оптичний дільник має два входи і два виходи (так званий оптичний розгалужувач 2×2). Найпростіший серед Y-образних оптичних подільників – це оптичний спліттер, котрий має один вхід і два виходи (так званий оптический розгалужувач 1×2).

Y-образні сплітери (рисунок 4.9) називають дільниками потужності, які діляться на два типи: симетричні і несиметричні. Симетричні Y-образні оптичні подільники, поділяють оптичну потужність між виходами рівномірно. Несиметричні оптичні подільники (ответвители) дозволяють розділити оптичну потужність в певній пропорції. Конфігурації ответвителей бувають 1×2 , 1×3 , 1×4 , 1×5 , 1×6 , 1×8 , 1×16 , 1×32 . Деяка частка (менше 50%) вихідної потужності йде на канал (канали) відгалуження, в той час як більша частина залишається в магістральному каналі. Вихідні полюса нумеруються в порядку убутання потужності.

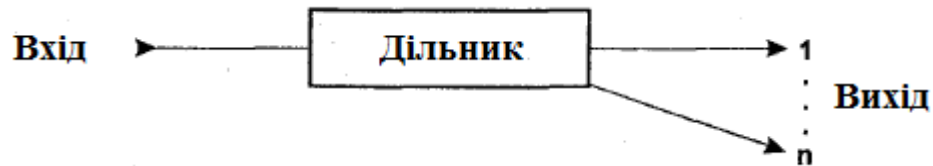


Рисунок 4.9 – Несиметричний дільник потужності

При побудові пасивної оптичної мережі слід вибирати ЗР з:

- заданим коефіцієнтом ділення RS при малій похибці (або малим значенням нерівномірності втрат U);
- малими вносяться втратами IL ;
- великим коефіцієнтом спрямованості D і втратами на відображення ORL ;
- збереженням заданих параметрів в робочому діапазоні (діапазонах) довжин хвиль;
- малими поляризаційнозалежними втратами PDL ;
- стійкою роботою в заданому температурному діапазоні.

Розгалужувач характеризується такими основними характеристиками:

- число вихідних портів розгалужувача N ;
- центральна довжина хвилі. Параметри розгалужувача чутливі до довжини хвилі проходить оптичного випромінювання. За центральну довжину хвилі приймають номінальну довжину хвилі, на якій буде працювати розгалужувач. Виробляються разветвители з 1, 2 або 3 центральними довжинами хвиль;

– робоча смуга пропускання (operating wavelength range) – це діапазон довжин хвиль, в якому гарантуються декларовані характеристики розгалужувача;

– коефіцієнт ділення R_k (splitting ratio) – відсоткове відношення оптичної потужності у вихідному порту k до сумарної потужності на всіх

вихідних портах. $R_k = P_k / P_{out}$, де $P_{out} = P_1 + \dots + P_N$. Коефіцієнт розподілу вимірюється на центральній довжині хвилі;

- надлишкові втрати EL (excess loss) характеризують втрати вхідної потужності в цілому при передачі на всі вихідні порти: $EL = 10\lg (P_{in} / P_{out})$;

- вносяться втрати ILk (insertion loss) – логарифмічний коефіцієнт передачі вхідної потужності в k-й вихідний порт: $IL_k = 10\lg (P_{in} / P_k)$.

Внесені втрати можна уявити як суму надлишкових втрат і втрат, викликаних власне розподілом потужності: $IL_k = EL + 10\lg (1 / R_k)$;

- поворотні втрати ORL (optical return loss) – відношення вхідної потужності до потужності, що повертається по тому ж вхідного порту: $ORL = 10\lg (P_{in} / P_R)$;

- коефіцієнт спрямованості D (directivity) – відношення вхідної потужності до потужності, що повертається по іншому вхідного порту: $D = 10\lg (P_{in} / P_D)$;

- нерівномірність (uniformity) розгалуджувача U – розкид внесених втрат за всіма вихідним портам розгалуджувача: $U = IL_{max} - IL_{min}$. Нерівномірність вимірюється по температурному і хвильовому робочим діапазонами розгалуджувача. У стандарті G.692 нерівномірність U визначають тільки для симетричних розветвителей;

- поляризаційноозавісіміе втрати PDL – розброс внесених втрат обумовлений зміною стану поляризації проходить оптичного випромінювання.

Виходячи з вищеведеного, можна зробити висновок, що для проектування даної мережі будуть використовуватися сплавні оптичні подільники 1x2, 1x3 і 1x4. Даний вид ЗР зображений на рисунку 4.10.

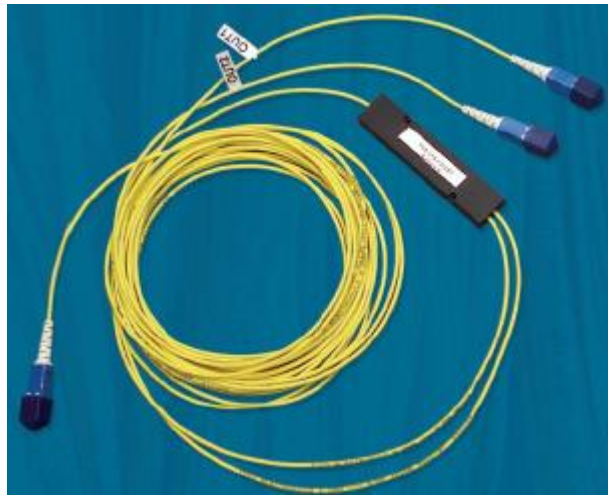


Рисунок 4.10 – Оптичний розгалужувач

Особливістю таких спліттерів є:

- низькі вносяться втрати;
- низька зворотне відображення;
- висока рівномірність вихідного сигналу;
- висока надійність;
- мініатюрний розмір для використання в обмеженому просторі.

4.2.2 Склад магістрального сегменту

Магістральний сегмент складається з прохідної муфти, магістрального оптичного кабелю, який відгалужується і сполучної муфти.

4.2.2.1 Оптична муфта

При з'єднанні довжин кабелю між собою або в місцях розгалуження кабельних ліній встановлюються кабельні муфти. Їх основне завдання – розмістити і захистити з'єднання оптичних волокон. Конструкції муфт містять сплайс-касети, в яких розміщуються зварні з'єднання в захисних термоусаджуваних гільзах. Усередині касет, з допустимим радіусом вигину

(не менше 30 мм), укладається запас оптичних волокон. Корпус муфти повинен захищати волокна і зростки від проникнення вологи, механічних і кліматичних впливів.

По розташуванню вводів розрізняють прохідні муфти, кабельні вводи яких зроблені з протилежних сторін, і тупикові – вводи з одного боку.

Конструкція корпусу муфти може бути плоскою або круглою. Вибір типу корпусу муфти багато в чому визначається умовами її установки. Плоскі муфти, наприклад, зручніше кріпити до стін в підвалах, на горищах будинків, у колодязях. Тупикові муфти зручні при підводі кабелю з одного боку, наприклад, для установки на опорах (освітлювальних, контактної мережі транспорту і ін.) За допомогою металевої скоби або для кріплення на стінах за допомогою металевого кронштейна. Прокідні муфти більше придатні для прокладки в ґрунт в колодязях кабельної каналізації (укладання на консолях), а також для повітряних кабелів при підвісці на несучому тросі за допомогою спеціальних скоб.

При виборі необхідного типу муфти також необхідно враховувати кількість кабельних вводів (портів) і їх діаметр. При вводах в муфту кабелів з металевими елементами, вони повинні з'єднуватися між собою, а при необхідності - ще й заземлюватися. Для цього всередині муфти знаходиться заземлювальна шина з гвинтовим кріпленням для металевих силових елементів.

Таким чином, в якості перехідних і з'єднувальних муфт використовуються муфти типу FOSC-400A4-S16-2-BVG-S6007:

- A4 – А варіант з чотирма круглими кабельними вводами;
- S16 – лоток максимум на 16 окремих сростков;
- 2 – муфта з двома лотками;
- BVG – є блокування кабелю, клапан тиску, заземляючий кронштейн. Муфта типу FOSC-400A4-S16-2-BVG-S6007. Рис 4.11.



Рисунок 4.11 муфта типу FOSC-400A4-S16-2-BVG-S6007.

Дані муфти можуть розміщуватися в кабельної каналізації і підвішуватися до опор ЛЕП. Корпус муфти герметичний для захисту від впливів навколишнього середовища.

4.2.2.2 Розподіл оптичних спліттерів по довжині хвилі

Оптичні сплітери за своїми спектральним характеристикам поділяються на одновіконний і двовіконну. У мережах кабельного телебачення застосовуються однокінні оптичні сплітери на стандартній для оптичних передавачів (лазерів) довжині хвилі: 1310 нм або 1550 нм. У мережах PON використовуються в основному двовіконну оптичні розгалужувачі, що дозволяють одночасно передавати і приймати оптичний сигнал по одному волокну. На одній довжині хвилі, наприклад, 1550 нм здійснюється передача інформації від провайдера зв'язку до абонента, а на

довжині хвилі 1310 нм здійснюється передача запиту від абонента до провайдера.

4.2.3 Склад розподільної ділянки

Розподільчий сегмент являє собою частину мережі, яка прокладається від з'єднувальних муфт до спліттерних пристроїв і оптичного кабелю.

4.3 Обладнання абонентського сегмента

Абонентський сегмент – частина мережі, яка прокладається усередині будинку від будинкової спліттерної муфти до абонента і закінчується модулем абонентської розетки і Патчкорд в будинку користувача. До абонентського сегменту пасивної оптичної мережі відноситься внутрішньобудинкової сегмент. Внутрішньобудинкової сегмент складається з абонентського оптичного кабелю, оптичного боксу, модуля абонентської розетки.

Від спліттерної муфти кабель йде до будинку абонента, де встановлюється оптичний бокс, типу ВТІ-РВО (рисунок 4.12) для введення кабелю до користувача. Організатор боксу дозволяє закріпити до 4-х з'єднань ОВ.

Бокси ВТІ-РВО мають одну стандартну комплектацію. У комплектацію боксу ВТІ-РВО входить:

- ВТІ-РВО оптична коробка підключення;
- гільзи для зварювання ОВ;
- з'єднувач оптичний.

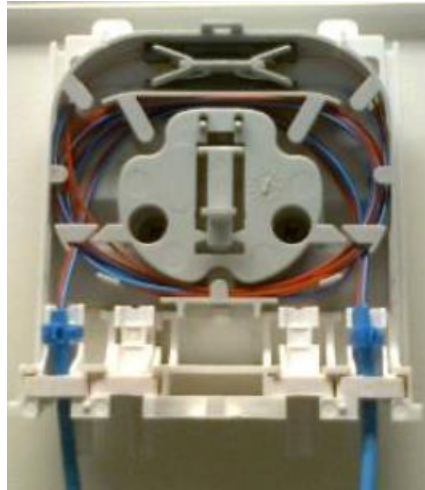


Рисунок 4.12 – Оптичний бокс VTI-PBO

Оптичні бокси можуть використовуватися як кінцевий розподільний пристрій, так і для введення абонентського кабелю в котедж. Бокси використовуються в якості компактного інтерфейсу між розподільним (або лінійним) кабелем зовнішньої прокладки і розподільним абонентським кабелем для прокладки всередині приміщень, і встановлюється всередині або поза приміщеннями.

Конструкція боксу дозволяє вводити зовнішній (лінійний) кабель з боку тильної стінки і виконувати розподіл до 4-х абонентських drop-кабелів.

Від оптичного боксу використовується кабель Xpres-drop, типу XPRZ-J-X2-999M-ODB (рисунок 4.13).

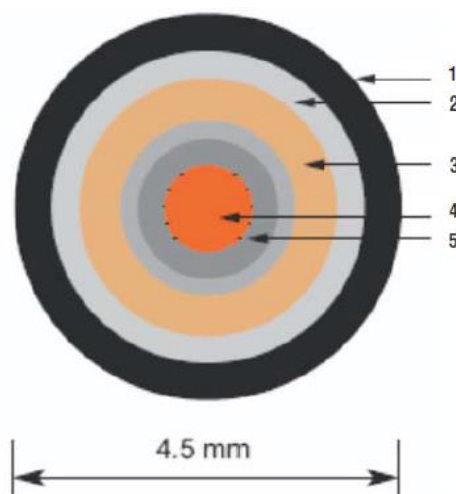


Рисунок 4.13 – Оптичний кабель Xpres-drop

- де 1 – оболонка з LSZH (негорючий малодимний поліетилен);
- 2 – кевлар (силовий елемент);
- 3 – додаткова внутрішня оболонка (захист від ультрафіолету);
- 4 – буферне покриття;
- 5 – волокно.

Характеристики даного кабелю наступні:

- робоча температура від -40 до $+70^{\circ}\text{C}$;
- максимальне значення для 100% зразків (дБ) $\square \leq 0,7$;
- максимальне значення для 97% зразків (дБ) $\square \leq 0,5$;
- середнє значення діапазону зміни (дБ) $\square \leq 0,2$;
- максимальна зміна значення в порівнянні з еталонним коннектором (дБ) $\leq 0,3$;
- довжини хвиль, які використовуються при тестуванні – 1310/1550/1625 нм.

Xpres-drop – кабель абонентської розводки, оконечений оптичними роз'ємами, призначений для комутації абонентів в оптичних мережах і забезпечує швидкість, легкість і надійність підключення.

Кожен роз'єм встановлений в розбірну герметичну міні-муфту, яка призначена для захисту від механічних і кліматичних впливів під час транспортування, зберігання, прокладки та підключення. Конструкція корпусу міні-муфти включає вушко, яка значно полегшує прокладку кабелю. Малий розмір робить можливим прокладку кабелю Xpres-drop через дуже вузькі канали, діаметром 20 мм, і повороти з кутом 900 і внутрішнім радіусом 100 мм.

Кабель для прокладки в каналах, а також для зовнішнього застосування має зовнішню оболонку чорного кольору, матеріал LSZH (не виділяє галоген), стійкий до ультрафіолетового випромінювання. Кабель для застосування всередині приміщень має зовнішню оболонку білого кольору, матеріал LSZH.

Абонентські розетки типу 8686 використовуються в якості інтерфейсу між розподільним кабелем і абонентським пристроєм ONT, встановлюються внутріквартири абонента. Розетка являє собою пластиковий бокс розміром 86x86 мм з максимальною ємністю до 4 конекторів NPC / SC. Монтаж розетки і термірування абонентських кабелів роз'ємами SC UPC або APC може проводитися на місці:

- за технологією NPC на кабель 900 мкм або на 3 мм кабель;
- механічним коннектором.

Специфікація обладнання для проектування мережі GPON.

Станційний сегмент:

- оптична шафа шко-С-1U-8 забезпечує до 16 з'єднань 1;
- телекомунікаційна стійка СТК-24 висота - U 24: (1220x 620 x 800);
- вага, кг – 26,6 1;
- сплайн-пластина КУ-01 ємність до 16 волокон 1.

Патчкорд SC-SC одномодовий двобічний, 1м F9D3-3M1Y SC-SC одномодовий двобічний патч-корд, кабель 3 мм в оболонці (2 коннектора SC з кожного кінця) – 9/125 мкм.

Реалізація мережі за технологією GPON із зазначенням типів обраної апаратури показана на рисунку 4.14.

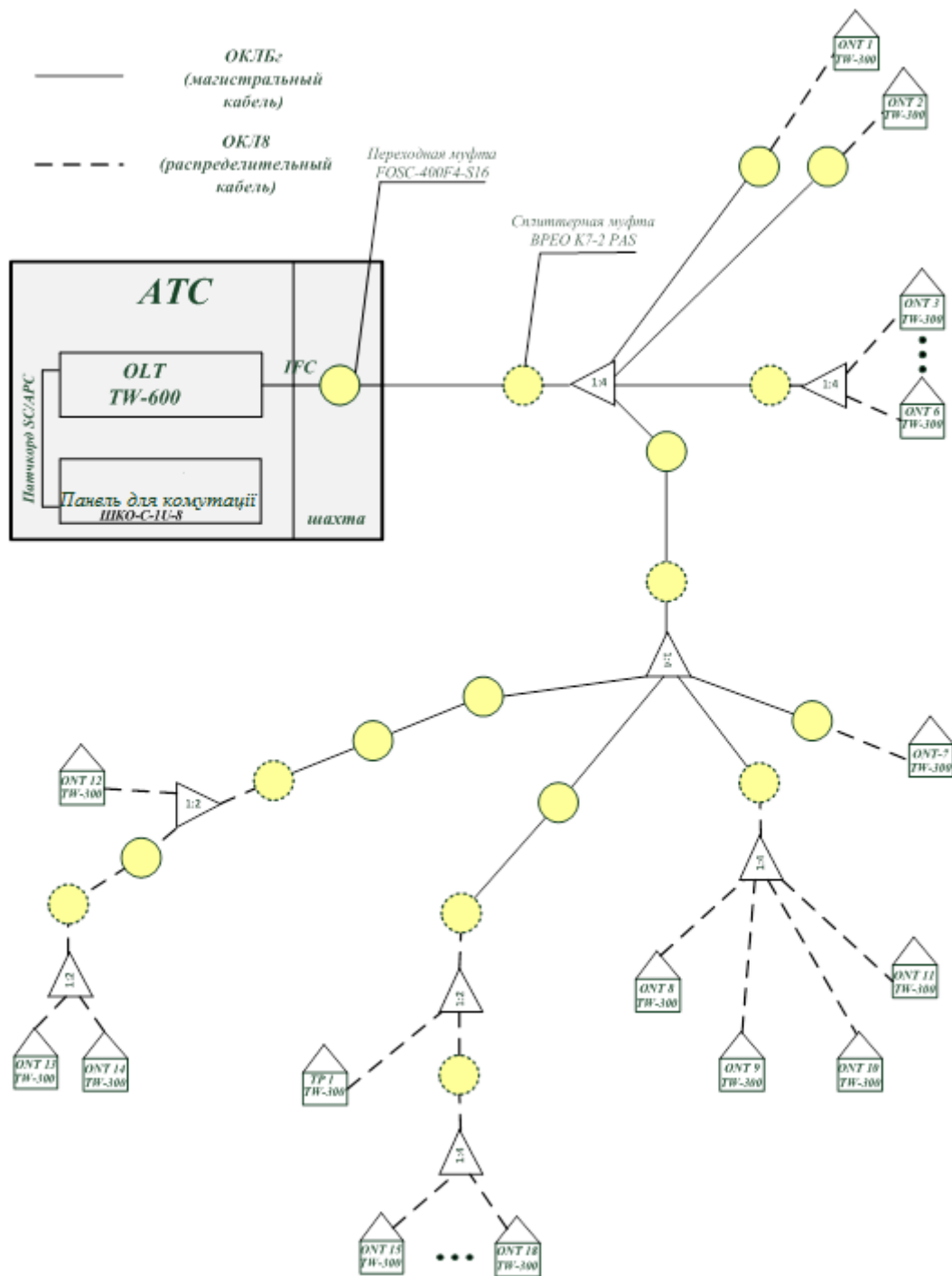


Рисунок 4.14 – Мережа GPON

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

5.1 Актуальність технології пасивної оптичної мережі з позиції маркетингу

Ринок зв'язку та телекомунікацій є найбільш динамічною галуззю економіки України. Основними сегментами телекомунікацій є послуги мобільного, фіксованого телефонного та комп'ютерного зв'язку.

На рис. 5.1 показані темпи зростання доходів окремих сегментів українського телекомунікаційного ринку з 2015 по 2019 рік.

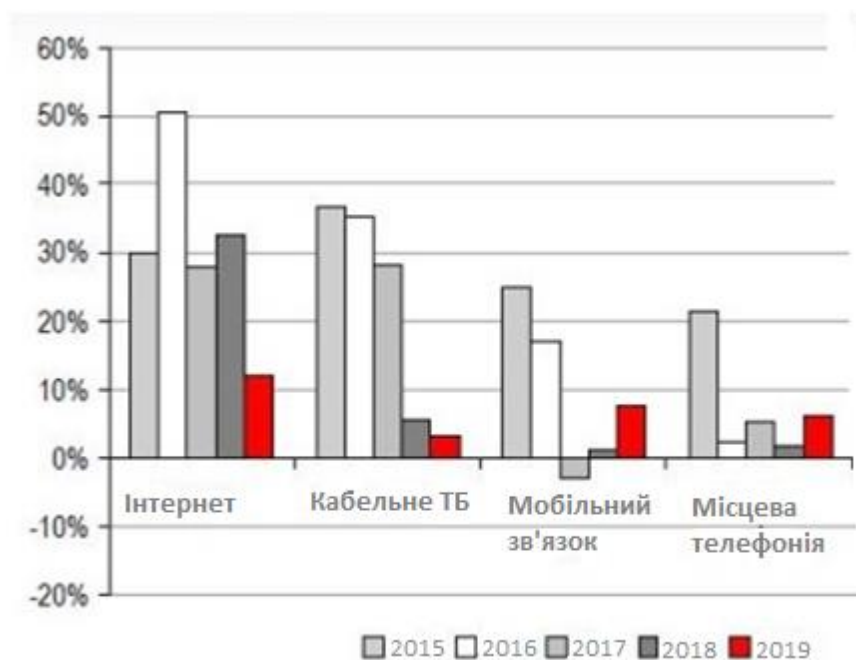


Рисунок 5.1 – Темпи зростання доходів українського телекомунікаційного ринку (2015-2019 рік)

В цілому, ринок зв'язку і телекомунікацій становить приблизно 18% всієї сфери послуг в Україні. Цей показник має тенденцію до зниження: з 26% в 2015 році до 18% в 2020 році.

Розглянемо основні тенденції ринку телекомунікацій в Україні по сегментам.

В Україні домінуючим оператором фіксованого зв'язку є ПАТ «Укртелеком» – 92,79% акцій якого належать державі. Але сьогодні сектор фіксованого зв'язку переживає період спаду, відбувається заміна фіксованого зв'язку на рухому і VoIP (передача голосу по протоколу інтернет).

Проникнення мобільного зв'язку в країні складає 120% (55,9 млн. абонентів, в тому числі домашні – 32,1 млн.), що видно з рис. 5.2.

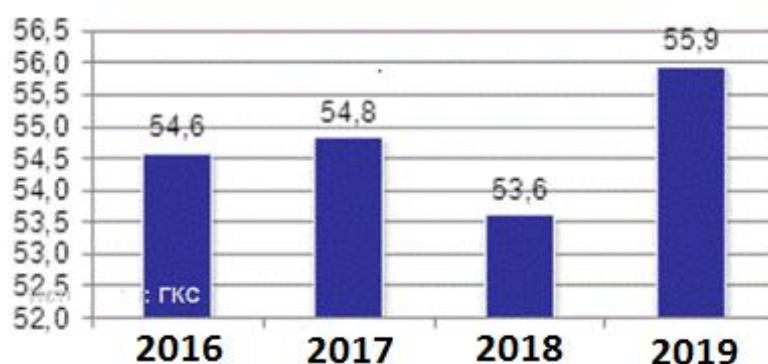


Рисунок 5.2 – Динаміка зростання мобільного зв'язку (млн)

Близько 80% виручки мобільних операторів припадає на традиційну голосовий зв'язок. Перспективним напрямком розвитку мобільного ринку є надання послуг шірокополосного доступу до Інтернету (ШПД). Подальший розвиток таких послуг пов'язане з побудовою мереж третього (3G) і четвертого (4G) поколінь, які здатні забезпечити набагато швидший зв'язок.

Ринок мобільного зв'язку насичений, високе проникнення і низька ціна на послугу забезпечить проникнення в сектор нових технологій, відхід з ринку або злиття деяких операторів мобільного зв'язку, а також їх расширення або перехід в інші сектори (зокрема інтернет-послуг) і на ринки, перегляд стратегій окремих компаній на користь прибутковості.

Останнім часом найбільш динамічним сегментом ринку зв'язку і телекомунікацій є ринок комп'ютерного зв'язку. Основним джерелом доходів

являється надання доступу до мережі інтернет (85%). Так, найбільш затребуваною послугою Інтернет є спілкування в соцмережах (загальна кількість українських акаунтів в соцмережах становить 30 млн).

Сектор має значний потенціал зростання і цікавий для всіх операторів зв'язку – мобільного, фіксованого, і ін., Що дає можливість прогнозувати впровадження більш широкого вибору зв'язку, зниження цін на послугу, підвищення доступності у сільській місцевості. Також можливий прихід нових крупних операторів на ринок.

Зростання числа споживачів в сегменті послуг ШПД в Інтернет стає дедалі більше, що обумовлено підвищенням активності операторів і впровадженням нових телекомунікаційних технологій.

Мережа PON є технологією майбутнього і багатьма компаніями ведуться розробки по впровадженню даного проекту. Основним фактором перешкоджає масштабного впровадження є ціновий розкид.

Для більш точної оцінки конкурентоспроможності на ринку широкосмугових послуг зробимо розрахунок індексу Херфіндаля-Хіршмана (для компаній наведених на рис. 5.3), який визначається за формулою:

$$HHI = \sum_{i=1}^n k_i^2 \quad (5.1)$$

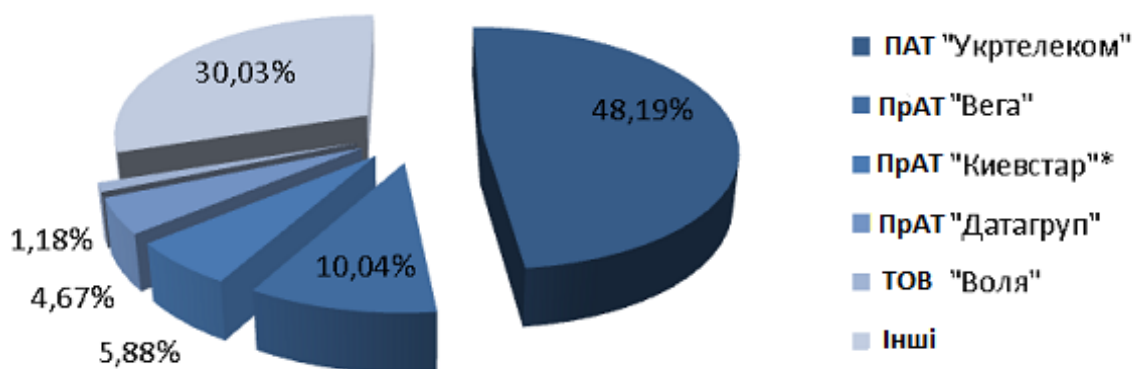


Рисунок 5.3 – Частки провідних операторів ринку ШПД в Інтернет України на 2019 рік

Частка телекомунікаційних компаній становить: ПАТ «Укртелеком» – 48,19%, ПрАТ «Вега» – 10,04%, ПрАТ «Київстар» – 5,88%, ПрАТ «Датагруп» – 4,67%, ТОВ «Воля» – 1,18%, інші оператори – 30,03%.

За формулою 5.1 індекс Херфіндаля-Хіршмана дорівнюватиме:

$$HHI = \sum_{i=1}^n k_i^2 =$$

$$=0,48192+0,10042+0,05882+0,04672+0,01182+0,032+0,30032=0,338$$

З таблиці 5.1 видно, що частка провідної фірми на ринку становить приблизно половину всього сегмента (0,60), виходячи з отриманого індексу Херфіндаля – Хіршмана 0,338.

Таблиця 5.1 Залежність індексу Херфіндаля-Хіршмана відринкової частки домінуючо їфірми

Частка провідної фірми	Індекс Херфиндаля-Хиршмана
0,01	більше 0,0001
0,10	0,01
0,20	0,04
0,30	0,09
0,40	0,16
0,50	0,25
0,60	ТОВ «Воля»0,36
0,70	ПрАТ «Датагруп»0,49
0,80	ПрАТ «Київстар» 0,64
0,90	ПрАТ «Вега» 0,81
1,00	ПАТ «Укртелеком»1,00

Таким чином, даний ринок з надання послуг ШПД відноситься до висококонцентрованим ринків (концентрація на ринку висока).

Оператори, для яких ШПД не є єдиним напрямком діяльності в телекомунікаційній галузі, активно пропонують на акційних (Київстар) і регулярних (Воля) умовах пропозиції з різними результатами: від успішного пропозиції (наприклад, Інтернет 100 Мбіт / сек. + Кабельне ТБ за 100 грн ./міс.), до сумнівного по ефективності впливу на продажу, і складного для сприйняття цільовою аудиторією пропозиції (наприклад, бонуси за фіксований Інтернет на мобільний зв'язок).

Відносно споживачів послуг ШПД, то найбільший попит, виходячи з досліджень, складає Інтернет і мобільний зв'язок. Найбільш активними користувачами Інтернету є люди у віці до 30 років, що становить одну третину всіх абонентів. Тому при проектуванні мережі на основі технології PON потрібно також враховувати неоднорідність цільової аудиторії.

Незважаючи на постійне посилення конкуренції на ринку телекомунікацій, а також зміна технічної платформи та інфраструктури, доцільним буде при проектуванні даної мережі велику увагу приділити більш зваженому маркетингу, а також орієнтуватися на клієнта і сегментацію ринку. Запуск нових рішень необхідно орієнтувати на вузькі сегменти, тобто на окремі сегменти.

5.2 Розрахунок витрат на практичну реалізацію проекту

У складі витрат на реалізацію проекту враховується вартість всіх ресурсів, необхідних для комплексу робіт. В даному проекті враховуються витрати на придбання матеріалів (таблиця 5.2), обладнання, оплата робіт сторонньої організації, виплата заробітної плати, відрахування на соціальне страхування, а також накладні витрати.

Таблиця 5.2 – Розрахунок витрат на матеріали

Матеріал	Марка	Кіл-ть	Ціна за одиницю, грн.	Вартість матеріалів, грн.
Кабель оптичний 12-ти волоконний, км	ОКЛБг-3-ДА12- 3×4Е- 0,40Ф3,5/0,30Н19- 12/0	14	8568	119952
Кабель оптичний 12-ти волоконний, км	ОКЛ8-2-ДД(3,5)П- 6×8Е1- 0,40Ф3,5/0,30Р19- 12/0	8,25	8660	71445
Кабель оптичний Xpres-drop, км	XPRZ-J-X2-999M- ODB	0,18	35217	6339,06
Кабель оптичний IFC, км	OCIJ-T-SC- 010M12ASEA-1	0,20	5837	1167,4
Муфта сполучна, шт	FOSC-400A4-S16-2- BVG-S6007	6	783	4698
Муфта оптична сплітерная разгалужувальна, шт	BPEO-K7-2 PAS	8	4549	36392
Сплітер, шт	1:2	3	400	1200
Сплітер, шт	1:4	5	500	2500
Бокс оптичний, шт	BTI-PBO	18	798	14364
Разом вартість матеріалів:				258058
Транспортно –заготівельні витрати 3-10% від вартості матеріалів				25805,8
Разом з урахуванням транспортно – заготівельних витрат				283863,8

У таблиці 5.3 також враховуються витрати на придбання обладнання.

Таблиця 5.3 – Витрати на придбання обладнання

Перелік обладнання	Тип	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Вартість обладнання, грн.
Шкаф оптичний, шт	FIST-GR3-1200-1-SOA09	1	11449	11449
Комплект для комутацій, шт	FIST-GPS2-K	1	5990	5990
ОбладнанняOLT, шт	TW600	1	13751	13751
Обонентське закінчення ONT, шт	TW300	18	1150	20700
Оптична абонентська розетка	8688	18	97	1746
Разом ціна оболаднення:				53636
Транспортно –заготівельні витрати 3-10% від вартості матеріалів				5363,6
Разом з урахуванням транспортно – заготівельних витрат				58999,6

5.3 Розрахунок заробітної плати

Річний фонд заробітної плати (ФЗП) нараховується за кількістю працюючих співробітників помножених на 12 (місяців), плюс 22% премії за вирахуванням вихідних і святкових днів.

Посади необхідних працівників, оклад і премія 22% наведено в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Фонд заробітної плати

Найменування посади	Кіль-ть осіб	Оклад (грн.)	Премія 22% грн	Всього	Єдиний соц. внесок (ЄСВ) 22% на ФЗП (грн.)	Витрати на з-ту з нарахуванням ЄСВ
Керівник	1	15000	3300	18300	4026	22326
Електромеханик	1	7000	1540	8540	1878	10418
Електромонтер	3	5400	3564	19764	4348	24112
Кабельщик - спайщик	5	7900	8690	48190	10601	58791
Разом	10	77700	17094	94794	20855	115649

5.4 Відрахування на соціальне страхування

У відповідність до законодавства України на 2019 рік відрахування єдиного соціального внеску становить 22% від основної та додаткової заробітної плати.

Таким чином відрахування ЄСВ становить:

$$\text{ЄСВ} = \text{ЗП}_{\text{осн і дод}} \cdot 22\% = 94794 \cdot 0,22 = 20855 \text{ (грн.)} \quad (5.3)$$

5.5 Витрати на відрядження

Витрати на відрядження на стадії проектування можна прийняти рівними 8% від суми основної заробітної плати, тобто:

$$\text{КР} = 77700 \cdot 0,08 = 6216 \text{ (грн.)} \quad (5.4)$$

5.6 Витрати на роботи та послуги підрядної організації

До даних витрат відноситься оплата робіт і виробничих послуг сторонньої організації при виконанні будівельних робіт (таблиця 5.5).

Таблиця 5.5 – Витрати на послуги сторонньої організації

Перелік послуг	Одиниця виміру	Кількість	Вартість робіт (грн.)
Прокладка кабелю в кабельній каналізації	км	14	3220
Підвіска кабелю по ЛЕП	км	8,25	2063
Встановлення оптичної шафи	шт	1	340
Налагодження та установка OLT	шт	1	2000
Монтаж разголюжувальних муфт	шт	6	720
Монтаж спліттерних муфт	шт	8	5800
Вимірювання оптичних параметрів лінії	участ.	1	3500
Разом:			17643

5.7 Загальновиробничі витрати

До ЗВВ витрат відносяться, витрати на загальне управління і загальногосподарські потреби, утримання та експлуатацію будівель. ЗВВ витрати приймаються рівними 80% від основної заробітної плати.

Таким чином, загальновиробничі витрати складуть:

$$HЗ = ЗП_{\text{осн}} \cdot 80\% = 77700 \cdot 0,8 = 62160 \text{ (грн.)} \quad (5.5)$$

Для підбиття підсумку дані по витратах на реалізацію проекту, отримані при розрахунках, зведені в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Кошторис витрат на реалізацію проекту

Статті витрат	На весь період, грн.	Питома вага, %
Матеріали	283863,8	67,8
Обладнання	58999,6	14,07
Робота та послуги сторонніх організацій	17643	4,21
Основна заробітна плата	77700	6,2
Додаткова заробітна плата	17094	0,49
Відрахування на соціальне страхування	20855	2,36
ЗВВ	62160	4,87
Всього витрат:	544531,4	100

5.8 Оцінка ефективності проекту

Оцінка ефективності даного проекту проводиться за наступними показниками:

- важливість розробки K1;
- можливість використання результатів розробки K2;
- теоретична важливість і рівень новизни дослідження K3;
- складність розробки K4.

Визначено коефіцієнти для оцінки ефективності за бальною шкалою:

- K1 = 1, так як проект є ініціативною роботою, яка не є частиною комплексної програми або завданням відомчих органів;
- K2 = 3, робота, виконувана по договору науково-технічної допомоги;
- K3 = 2, результати даного проекту відомі в даній області;
- K4 = 8, робота за даним проектом виконується кількома організаціями і витрати складають більше 500000 грн.

Приймаємо умовно вартість від реалізації проекту 20000 тис. грн.

Загальна оцінка встановлюється за сукупності множини коефіцієнтів:

$$\Pi_c = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 = 1 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 8 = 48 \quad (5.6)$$

Тоді загальний ефект від проекту становить:

$$E = \Pi_c \cdot 20000 = 48 \cdot 20000 = 960000 \quad (5.7)$$

Виходячи з цього необхідно визначити економічну ефективність проекту за допомогою коефіцієнта ефективності, який характеризує частку загального ефекту від розробки, яка припадає на 1 гривню витрат і розраховується за формулою:

$$K_E = \frac{E}{K_{\text{затрат}}} = \frac{960000}{544531,4} = 1,76 \quad (5.8)$$

Далі визначивши економічну ефективність проекту необхідно розрахувати його термін окупності, який дорівнює:

$$T_{\text{ок}} = \frac{1}{K_E} = \frac{1}{1,76} = 0,56 \quad (5.9)$$

Таким чином, можна зробити висновок, що дослідивши ринок телекомунікацій в області надання послуг широкосмугового доступу, знаходяться вільні комірки для впровадження нових технологій, таких як GPON. Витрати на реалізацію проекту становлять 544531,4 грн. при терміні окупності 0,56 місяців.

Виходячі із коефіцієнта ефективності проекту, який становить $K \geq 1$ тобто 1,76 приймаємо його до виконання як економічно вигідний.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Аналіз потенційних небезпек

В даному дипломному проєкті здійснюється побудова мережі доступу з використанням технології PON. В процесі будівництва такої мережі можливі наступні роботи: проєктування мережі в обчислювальних центрах (робота з ПК, ЕОМ), монтаж і прокладка оптичного і електричного кабелю, захист місця розташування оптичних спліттерів, підвіска кабелю по лініях електропередач, монтаж і експлуатація обладнання вузла зв'язку, заземлення проєктованого обладнання, а також його електроживлення.

У зв'язку з перерахованими роботами виникають наступні потенційні небезпеки:

- підвищений рівень електромагнітних випромінювань;
- підвищена або знижена іонізація повітря;
- підвищена яскравість світла;
- статичні перевантаження кістково-м'язового апарату і динамічні локальні перевантаження м'язів кистей рук;
- перенапруження зорового аналізатора;
- розумове перенапруження;
- емоційні перевантаження;
- монотонність праці;
- механічні травми через падіння з висоти, мимовільного руху катушки з кабелем, а також при транспортуванні матеріалів і обладнання;
- наявність шкідливих і вибухонебезпечних газів при прокладці ВОК;
- негативний вплив атмосферних умов;
- нервово-емоційні та фізичні навантаження через специфіку робіт;
- неправильні дії персоналу при пожежах;
- неправильні дії персоналу в умовах надзвичайних ситуацій.

Наведені шкідливі і небезпечні виробничі фактори призводять до травм, погіршення здоров'я і самопочуття, професійних захворювань, що знижує продуктивність праці.

6.2 Заходи з техніки безпеки

Всі роботи повинні проводитися у відповідність Закону України "Про охорону праці" на підставі наступних документів.

ГОСТ 12.2.006-87 «Безпека апаратури електронної мережевої і схожих з нею пристроїв, призначених для побутового та аналогічного загального застосування. Загальні вимоги та методи випробувань ». Для виключення ураження електричним струмом в цьому ГОСТі визначені заходи для апаратури, безпосередньо підключається до електричної мережі і призначеної для експлуатації всередині приміщення на висотах до 200 см і не піддається впливу крапель або бризок.

ПУЕ «Правила улаштування електроустановок. Електрообладнання ». Розташувати струмопровідні магістралі на висоті 2 м або більше. Також для робіт необхідна група допуску не нижче II. Для всього персоналу періодично проводити інструктаж з правил електробезпеки. Виключно важливе значення для запобігання електротравматизму має правильна організація обслуговування діючих електроустановок ВЦ, проведення ремонтних, монтажних і профілактичних робіт.

ГОСТ 12.4.184-95 «Система стандартів безпеки праці. Пояси запобіжні. Загальні технічні вимоги. Методи випробувань». Для виключення падіння з висоти необхідно забезпечити працівників монтажними страхувальними поясами.

ГОСТ 12.4.011-89 "Засоби захисту працюючих. Загальні вимоги та класифікація». Для виключення механічних травм необхідно використовувати спецодяг та взуття. При монтажі оптичного кабелю слід уникати попадання залишків оптичного волокна на одяг. Захистити від

попадання відрізків світловодів, що утворюються під час насадки конекторів і зрощування волокон, на одягу або шкіру. Ці відрізки зібрати в банку з кришкою, що загвинчується або на клейку стрічку. Виключити захаращення робочого місця.

ГОСТ 12.4.134-83 «Система стандартів безпеки праці. Плащі чоловічі для захисту від води. Технічні умови". Для мінімізації впливу атмосферних умов потрібно забезпечити персонал захисними плащами.

Також для запобігання потенційних небезпек при проектуванні мереж за технологією PON необхідно вжити наступних заходів.

Електромонтажні роботи необхідно виконувати після зняття напруги з усіх струмопровідних частин, що знаходяться в зоні виконання робіт. Також необхідно використовувати додаткове захисне заземлення в 4 Ом, інструменти з ізольованими ручками, гумові діелектричні рукавички, килимки.

При роботах в кабельної каналізації і кабельних колодязях працівник повинен перевірити повітря на наявність небезпечних і вибухонебезпечних газів спеціальними газоаналізаторами. Необхідно використовувати тільки струмонепровідних сходи. Працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту і спецодягом.

При роботі з приладом для зварювання оптичних волокон необхідно все підключення і отключення виконувати після зняття напруги. Прилад повинен бути заземлений. Цілісність проводів перевіряти не менше ніж один раз на тиждень. Забороняється експлуатація зварювального приладу зі знятим захисним кожухом блоку електродів.

При виконанні робіт по обслуговуванню оптичного кабелю потрібно не допускати прямого попадання в очі випромінювання з оптичного тестера (або іншого приладу) або безпосередньо з оптичного волокна, підключеного до джерела випромінювання. Категорично забороняється спостерігати за генерованим випромінюванням.

Для зниження нервово-емоційних навантажень виділити час на обов'язковий відпочинок під час робочого дня (5-10 хвилин в годину). У виробничих приміщеннях виділити кімнату для прийому їжі та відпочинку. До роботи допускаються особи, які пройшли вступний інструктаж, інструктаж з техніки безпеки на робочому місці з подальшою перевіркою знань і мають допуски по різним видам робіт.

6.3 Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці

Виробнича санітарія покликана забезпечити нормальні умови повітряного середовища, необхідне виробниче освітлення, захист від шкідливої дії шумів і вібрацій і т.п.

Згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 будівлі і приміщення для роботи з ВДТ ЕОМ і ПЕОМ повинні відповідати наступним вимогам:

- площа на одне робоче місце має становити не менше ніж 6,0 м², а об'єм не менше ніж 20,0 м³;
- приміщення для роботи з ВДТ повинні мати природне і штучне освітлення відповідно до СНиП II-4-79;
- в приміщеннях з ВДТ слід щоденно робити вологе прибирання. Вони повинні бути оснащені аптечками першої медичної допомоги.

Для забезпечення достатньої освітленості робочих зон персонал потрібно забезпечити індивідуальними джерелами світла РВО 42, відповідні ГОСТ 17516.1-90 (2001) «Вироби електротехнічні. Загальні вимоги в частині стійкості до механічних зовнішніх чинників».

Природне освітлення повинно здійснюватися через світлові прорізи. Коефіцієнт природного освітлення (КПО) повинен бути не нижче 1,5%. Коли природного освітлення недостатньо, використовується штучне освітлення. Найкраще використовувати на виробничій ділянці люмінесцентні лампи білого кольору і тепло-білого кольору 20, 40 або 80 Вт.

Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях, обладнаних ВДТ ЕОМ і ПЕОМ, мають відповідати вимогам СН 3223-85, ГОСТ 12.1.003-83, ГР 2411-81 (доп.1). Устаткування, що становить джерело шуму (АЦП, принтери тощо), слід розташовувати поза приміщенням для роботи ВДТ ЕОМ і ПЕОМ. Для забезпечення допустимих рівнів шуму на робочих місцях слід застосовувати засоби звукопоглинання, вибір яких повинен ґрунтуватися спеціальними інженерно-акустичними розрахунками.

Також при виконанні робіт з ВДТ ЕОМ і ПЕОМ в приміщеннях значення характеристик вібрації на робочих місцях повинні не перевищувати допустимих відповідно до СН 3044-84, ГОСТ 12.1.012-90 (доп.2).

У виробничому приміщенні повинна застосовуватися прямоточна вентиляція з калорифером, відповідно до вимог СНиП II-33-75 "Опалення, вентиляція і кондиціонування повітря". Відповідно до Держстандарту 12.1.005-76 "Повітря робочої зони" в холодний і перехідний періоди року для першої категорії робіт температура повітря повинна становити 20-30°C, відносна вологість 60-40%, швидкість двіжєння повітря не більше 0,2 м / с; в теплий період відповідно температура 22-25°C, значення вологості і скорості руху повітря не змінюються. Визначимо необхідний повітрообмін і його кратність для вентиляційної системи в виробничому приміщенні довжиною 8 м, шириною 6 м і висотою 3,5 м, якщо в повітряне середовище приміщення виділяється пил в кількості $W = 2 \text{ г / год}$, концентрація пилу в робочій зоні $ср.з = 2,8 \text{ мг / м}^3$, в припливно повітрі $Сп = 0,3 \text{ мг / м}^3$. Концентрація пилу в віддаленому з приміщення повітрі дорівнює концентрації її в робочій зоні ($Сух = ср.з$). Кількість повітря, що забирається з робочої зони місцевими відсмоктувачами, так само $Gм = 30 \text{ м}^3 / \text{г}$.

Для вирішення спочатку визначимо обсяг приміщення:

$$V = 8 \cdot 6 \cdot 3,5 = 168 \text{ м}^3$$

Необхідний повітрообмін розраховується за формулою:

$$G_{np} = G_m + \frac{W - G_m(C_{p.3} - C_n)}{C_{p.3} - C_n} \quad (6.1)$$

Таким чином,

$$G_{np} = 30 + \frac{2000 - 30(2,8 - 0,3)}{2,8 - 0,3} = 770 \text{ (м}^3/\text{ч)}.$$

Кратність повітрообміну в приміщенні розрахуємо за такою формулою:

$$K = \frac{G_{np}}{V} \quad (6.2)$$

Таким чином, $K = \frac{770}{168} = 4,58 \text{ (1/ч)}$, тобто за 1 годину повітря в приміщенні повинен обмінюватися 4,58 рази.

Для збереження здоров'я робітників, запобігання профзахворювань і підтримки їх працездатності потрібно проводити регламентовані перерви для відпочинку. Активний відпочинок повинен включати в себе виконання комплексу вправ, спрямованих на зняття нервового перенапруження, м'язового розслаблення, а також відновлення функцій фізіологічної системи. Всі вище перераховані заходи проводяться з метою поліпшення умов праці і підвищенню його ефективності.

6.4 Заходи щодо забезпечення пожежної безпеки

Пожежна безпека об'єкта відповідно до ГОСТ 12.1.004-91-ССБТ "Пожежна безпека. Загальні вимоги" повинна забезпечуватися системами запобігання пожежі і протипожежного захисту, в тому числі організаційно-

технічні заходи. Заходи з пожежної безпеки спрямовані на забезпечення безпеки людей, запобігання пожежі, обмеження її розповсюдження, створення умов для успішного гасіння пожежі.

Ступінь вогнестійкості будівлі АТС повинна бути не нижче III. За вибухопожежної та пожежної небезпеки приміщення і будівлі АТС відносяться до категорії Д. У приміщеннях комп'ютерних залів є у великих кількостях папір, пластмаси, гума та інші горючі матеріали. В основному джерелом пожежонебезпеки є ЕОМ. Вони характеризуються високою щільністю розміщення електронних схем. У безпосередній близькості один від одного розташовуються сполучні дроти, комутаційні кабелі. При протіканні струму можливий їх перегрів, плавлення ізоляції і, як наслідок, коротке замикання, яке супроводжується іскрінням, перевантаженнями елементів електронних схем.

Протипожежний захист забезпечена:

- застосуванням засобів пожежогасіння та відповідних видів пожежної техніки, вогнегасників марок ВВК - 1,4(2), ВП – 2 (5);
- застосуванням автоматичних установок пожежної сигналізації і пожежогасіння типу ПКІЛ з сповіщувачами АИП-2;
- застосуванням систем протидимного захисту з датчиками КІ-1;
- застосуванням засобів колективного та індивідуального захисту людей від небезпечних факторів пожежі.

Особливі вимоги пред'являють до пристрою і розміщення кабельних комунікацій. Всі види кабелів прокладають в металевих газових трубах аж до розподільних щитів або стійок харчування.

Для порятунку людей у разі загоряння застосовуються протидимні маски з фільтрами респіраторного типу. Вогнегасники і захисні маски розміщені в легкодоступних і помітних місцях. Ручні вогнегасники розміщені методом навішування на вертикальні конструкції на висоті 1,5 м. У будівлях і спорудах необхідно передбачити технічні засоби (сходові клітини, протипожежні стіни, ліфти, зовнішні пожежні драбини, аварійні

люки і т. П.), Які мають стійкість при пожежі і вогнестійкість конструкцій не менш часу, необхідного для порятунку людей під час пожежі і розрахункового часу гасіння пожежі.

В організаційно-технічні заходи включені:

- навчання робітників правилам пожежної безпеки;
- реалізацію норм і правил пожежної безпеки, інструкцій про дотримання протипожежного режиму і про дії людей при виникненні пожежі;
- заходи щодо дій адміністрації на випадок виникнення пожежі та організації евакуації людей.

При виконанні всіх необхідних заходів можна запобігти виникненню пожежі, а також небажаних наслідків.

6.5 Заходи з цивільного захисту

Надзвичайна ситуація (НС) – це порушення нормальних умов життя і діяльності людей на території чи об'єкті, спричинене аварією, катастрофою, стихійним лихом або іншою небезпечною подією, яке призвело або може призвести до загибелі людей. Тому евакуація є одним із способів захисту населення в період НС.

У зв'язку з тим, що обчислювальні центри знаходяться поблизу інших об'єктів, до яких можуть відноситися і небезпечні (АЕС, греблі, бази зберігання вибухонебезпечних і хімічних речовин), то доцільно мати на підприємстві засоби індивідуального захисту: засоби захисту органів дихання та засоби захисту шкіри.

За принципом захисту індивідуальні засоби захисту діляться на фільтруючі і ізолюючі.

До засобів індивідуального захисту органів дихання відносяться протигази і респіратори, а також найпростіші засоби – Протипилова тканинна маска (ПТМ) і ватно-марлева пов'язка (ВМП). Найпростіші засоби захисту

можуть бути виготовлені самостійно. При відсутності і цих коштів можна скористатися тканиною, складеною в кілька шарів, рушник і т.п.

Доросле населення використовує фільтруючі протигази ГП-5 і ГП-7, призначені головним чином для захисту обличчя, очей та органів дихання від отруйних речовин. Якщо буде потрібно, їх можна застосовувати і для захисту від радіоактивних речовин і бактеріальних засобів.

Протигази ГП-5 і ГП-7 захищають органи дихання від таких речовин, як хлор, сірководень, соляна кислота, сернісний газ, синильна кислота, тетраетилсвинець, нітробензол, фенол, фосген, флоретан. З метою розширення можливостей протигазів введені додаткові патрони. ДПГ-3 в комплекті з протигазом захищають від аміаку, хлору, диметиламина, нітробензолу, сірководню, синильної кислоти, фенолу, фосгену. ДПГ-1 крім того захищає від двоокису азоту, метилу хлористого, окису вуглецю і окису етилену.

Для захисту органів дихання від радіоактивного пилу крім фільтруючих протигазів і ізолюючих приладів та протигазів можуть бути використані протипилові респіратори різних типів.

Протипилові респіратори – це прилади, призначені для захисту органів дихання від шкідливих аерозолів.

Респіратор Р-2 застосовується для захисту органів дихання від радіоактивного, виробничої та звичайної пилу. Він може бути використаний також при діях у вогнищі бактеріологічної поразки для захисту від бактеріальних коштів, що знаходяться в повітрі у вигляді аерозолів.

Респіратор ШБ-1 "Лепесток" виготовлений зі спеціального матеріалу, що володіє високими фільтруючими здібностями, і призначений для одноразового користування. Вага його близько 10 м. Правильно підігнаний респіратор затримує до 99,9% пилу. Протипилова тканинна маска ПТМ-1 складається з корпусу і кріплення. Корпус робиться з чотирьох-п'яти шарів тканини. Для верхнього шару придатні бязь, штапельне полотно, трикотаж, для внутрішніх шарів – фланель, бавовняна або вовняна тканина.

Ватно-марлеві пов'язки, як правило, одноразового користування. Після зняття зараженої пов'язки її знищують (спалюють або закопують).

При використанні найпростіших засобів захисту органів дихання для захисту очей необхідно надягати протипилові окуляри.

Засоби захисту шкіри разом із захистом від парів і крапель небезпечних речовин оберігають відкриті ділянки тіла, одяг, взуття та спорядження від зараження радіоактивними речовинами і біологічними засобами. Крім того, вони повністю затримують альфа-частинки і в значній мірі послаблюють вплив бета-частинок.

До підручних засобів захисту шкіри належать звичайний одяг і взуття. Звичайні накидки і плащі з хлорвінілу або прогумованої тканини, пальт з драпу, грубого сукна або шкіри добре захищають від радіоактивного пилу і бактеріальних засобів.

Для захисту ніг використовують чоботи промислового і побутового призначення, гумові боти, калоші, валянки з калошами, взуття зі шкіри та кожзамінників.

Для захисту рук можна використовувати гумові або шкіряні рукавички і брезентові рукавиці. При використанні звичайного одягу як засіб захисту для більшої герметизації необхідно застібати її на всі гудзики, рукави і брюк зав'язувати тасьмою, комір піднімати і обв'язувати шарфом.

Для більш надійного захисту шкірних покривів рекомендується застосовувати спрощений захисний фільтруючий комплект, який при спеціальному просоченню може забезпечити захист і від парів небезпечних речовин.

Найпростіші засоби захисту шкіри надягають безпосередньо перед загрозою ураження радіоактивними, отруйними речовинами або бактеріальними засобами. Після цього надягають протигаз, піднімають комір куртки (піджака) і шарфом зав'язують його, надягають капюшон, головний убір, рукавички (рукавиці).

Таким чином, в ході розробки проекту щодо забезпечення безпеки робочого персоналу були передбачені наступні заходи:

- заходи щодо забезпечення безпеки та зниження ризику травматизму та шкоди життю і здоров'ю персоналу, а також розглянуті заходи щодо евакуації населення при НС;

- провести заходи щодо забезпечення електробезпеки згідно ГОСТ 12.2.006-87 «Безпека апаратури електронної мережевої і схожих з нею пристроїв, призначених для побутового та аналогічного загального застосування. Загальні вимоги та методи випробувань ». Організувати заземлення згідно з ПУЕ-2007 «Правила улаштування електроустановка Електрообладнання »;

- забезпечити працівників монтажними страхувальними поясами пп1 ГОСТ 12.4.184-95 «Система стандартів безпеки праці. Пояси запобіжні. Загальні технічні вимоги. Методи випробувань »;

- використовувати спецодяг та взуття згідно з ГОСТ 12.4.011-89 "Засоби захисту працюючих. Загальні вимоги та класифікація »;

- забезпечити персонал захисними плащами згідно ГОСТ 12.4.134-83 «Система стандартів безпеки праці. Плащі чоловічі для захисту від води. Технічні умови";

- забезпечити персоналу необхідну освітленість робочих місць згідно з ГОСТ 12.4.014.0-96 «Будинки і споруди. Методи вимірювання освітленості»;

- створити сприятливі умови роботи для персоналу, відповідні фізіологічним потребам людського організму, а також санітарні норми, що задовольняють оптимальним метеорологічним умовам в робочій зоні приміщення згідно з ГОСТ 12.1.005-88 "Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони";

- забезпечити пожежну безпеку об'єкта відповідно до ГОСТ 12.1.004-91-ССБТ "Пожежна безпека. Загальні вимоги".

Також був проведений розрахунок повітрообміну і його кратності для вентиляційної системи в виробничому приміщенні розміром $8 \times 6 \times 3,5$ м. таким чином, з розрахунку видно, що для даного приміщення за 1 годину повітря повинен обмінюватися 4,58 рази.

ВИСНОВКИ

В даній магістерській роботі досліджена пасивна оптична мережа на базі технології GPON. Впровадження даного проекту надасть можливість операторам зв'язку вийти на новий рівень обслуговування абонентів.

В ході роботи над дипломним проектом були вирішені наступні завдання:

- проведено аналіз сучасних методів побудови мереж широкосмугового доступу, обрана оптична мережа PON, як найбільш перспективна;
- розглянуті технології даної мережі, топології і архітектура побудови. Обрана топологія побудови «дерево»;
- розроблено алгоритм побудови мережі. Розрахована збалансована мережу GPON;
- на підставі розрахунку обрані приймально-передавальні модулі, активне обладнання OLT іONT, а також вибрано пасивне обладнання. Зроблено вибір методів з'єднання волокон, типів конекторів, оптичних кабелів, кросового обладнання, і вироблено його обґрунтування.

Спроектowana мережа має можливість нарощування додаткових ліній зв'язку без відчутних зусиль з боку оператора зв'язку, а значить збільшення кількості абонентів і загальної пропускної здатності.

Зроблені економічні розрахунки підтверджують економічну ефективність проекту і його окупність. У проекті розглянуті питання охорони праці і техніки безпеки стосовно розробленої системи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Волков С.В. Сети кабельного телевидения [Текст] / С.В.Волков. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 616 с.
2. Волоконно-оптические структурированные мультимедийные сети [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://ru.scribd.com> .
3. Петренко И.И. Оптические сети PON [Текст] / И.И. Петренко, Р.Р. Убайдуллаев. // Фотон-экспресс. Научно-технический журнал – №1. – 2005. – С.14-16.
4. Сети PON. Стандарты [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.teralink.ru> .
5. Техническое и коммерческое предложение по оптической «последней миле» на базе технологии PON // Телеком Транспорт, научно-технический журнал. – 2003.– №5.
6. Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-оптические сети [Текст] / Р.Р. Убайдуллаев. – М.: Эко-Трендз, 1998. – 640 с.
7. Убайдуллаев Р.Р. Пассивные оптические сети PON. Часть 1. Архитектура и стандарты / Р.Р. Убайдуллаев, И.И. Петренко // – LightWave Russian Edition, научно-технический журнал. – 2004. – №1.
8. Убайдуллаев Р.Р. Пассивные оптические сети PON. Часть 3. Проектирование оптимальных сетей / Р.Р. Убайдуллаев, И.И. Петренко // LightWave Russian Edition, научно-технический журнал. 2004. – №3.
9. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи / Р. Фриман [Текст] / Р. Фриман – М.: Техносфера, 2003. – 440 с.
10. GPON [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://uk.wikipedia.org/wiki/GPON> .
11. Щекотихин О.В. Пассивные оптические сети доступа [Текст] // О.В. Щекотихин, И.Н. Сметанин, Д.М. Пиза. – Запорожье: ЗНТУ, 2016. – 272 с.