Однорог П. М.
Михайленко Є. В.
Котенко М. О.
Омецінська О. Б.

під редакцією Катка В. Б.

Пасивні оптичні мережі доступу (xPON)

ВИДАННЯ ПЕРШЕ

ЦЕЙ НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК Є ЛОГІЧНИМ ДОПОВНЕННЯМ НАВЧАЛЬНОГО ПОСІБНИКА WDM ТА НАВЧАЛЬНОГО ПОСІБНИКА ETHERNET

КИЇВ 2006

Зміст

Стор.

ВСТУП ... 3
РОЗДІЛ 1 ВОЛОКНО НА МЕРЕЖІ ДОСТУПУ ... 4
§1.1 Волокно до району ... 7
§1.2 Волокно до будинку ... 8
§1.3 Волокно до абонента ... 8
РОЗДІЛ 2 ПАСИВНІ МЕРЕЖІ ДОСТУПУ ... 9
§2.1 APON ... 10
§2.2 BPON ... 11
§2.3 GPON ... 22
§2.4 EPON ... 39
§2.5 Порівняльний аналіз технологій PON ... 45
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИ ПРОКЛАДКИ ВОЛОКНА ТА ОПТОВОЛОКОННИХ КАБЕЛІВ НА ОПТИЧНИХ МЕРЕЖАХ ДОСТУПУ ... 46
§3.1 Прокладання кабелю в колодцях кабельної каналізації ... 46
§3.2 Прокладання підвісного кабелю ... 48
§3.3 Міні- та мікротраншейне прокладання ... 50
§3.4 Пневмопрокладання кабелю ... 52
РОЗДІЛ 4 ВИПРОБУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ ДОСТУПУ ... 54
РОЗДІЛ 5 СТАНДАРТИ, ЯКІ ОПИСУЮТЬ ТЕХНОЛОГІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ОПТИЧНОГО ВОЛОКНА В МЕРЕЖАХ ДОСТУПУ ... 58
СЛОВНИК ІНШОМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ... 63
ЛІТЕРАТУРА ... 65

Вступ

Оптичні технології здатні забезпечити широкосмуговий доступ, достатній для надання всім абонентам існуючих та перспективних послуг зв'язку. Тому розбудова волоконно-оптичної мережі доступу з наближенням оптичного волокна до абонента є вельми актуальним завданням.

Застосування волокна на мережах доступу передбачає сумісну роботу з існуючою розгалуженою мережею, побудованою на симетричних та коаксіальних кабелях.

Автори намагались в цьому посібнику дати опис технологій впровадження оптичного волокна на мережі доступу і її розбудови.

Цей навчальний посібник є логічним доповненням і продовженням навчального посібника WDM та навчального посібника Ethernet.

Виражаємо щиру подяку старшому науковому співробітнику НІЦ ЛКС **Ю. Б. Нікітченку** за надання консультацій з відповідного матеріалу.

Додаткову інформацію з окремих питань можна отримати з джерел, вказаних в розділі "Література.

Автори будуть вдячні на зауваження та доповнення щодо інформації, наданої в цьому посібнику. За можливості, висилайте Ваші зауваження та пропозиції на електронні адреси Petro_mo2005@ukr.net та Eugene_mv@ukr.net.

Розділ 1 Волокно на мережі доступу

Донедавна мережа доступу будувалась виключно на мідних кабелях (симетричних та коаксіальних).

В мережах кабельного телебачення почали застосовувати гібридні волоконно-коаксіальні мережі HFC (Hybrid Fiber/Coaxial). Волокно в такій концепції використовувалось на ділянці від центру надання послуг (наприклад телецентру) до певних розподілювальних вузлів, що з'єднувались волоконно-оптичними кільцями, і до вузла доступу котрий обслуговував до 2000 користувачів (термін користувач тут і надалі вживатиметься замість терміну абонент, оскільки абонент традиційно вживався для отримувачів послуг телефонії, а термін користувач вказує на отримувача різноманітних послуг зв'язку), надалі до користувача був прокладений коаксіальний кабель з використанням підсилювачів сигналу.

В мережах HFC використовується стандартний одномодовий кабель та передавачі на довжині хвилі 1310 нм.

Послуги, що надаються HFC мережею можна поділити на дві групи: широкорозповсюджувальні (телевізійне мовлення) та адресні (Інтернет, IP-телефонія, відео за запитом, тощо)

Адресні послуги набуватимуть все більшої ваги в сегменті послуг, що надаються гібридними HFC мережами, що змінює вимоги до подібних мереж, оскільки інтерактивні адресні послуги (на відміну від мовних послуг на широкий загал користувачів) дають значний зворотній трафік (від користувача до вузла надання послуг).

Для задоволення нових вимог потрібно переходити від аналогового на цифрове телебачення та підвищувати спектральну ефективність.

Спектральна ефективність системи зв'язку (γ) дорівнює відношенню швидкості передавання інформації цієї системи (B [біт/с]) до ширини її робочої спектральної смуги (Δf).

$$\gamma = \frac{B}{\Delta f} \text{ ((біт/с)/Гц)}$$

Навідміну від технології HFC, концепції FTTx, що реалізують PON мережі не використовують підсилювачі в коаксіальному сегменті мережі.

На сьогодні існує кілька концепцій впровадження оптичного волокна на мережах доступу, котрі узагальнено в літературі визначаються як FTTx. Ці концепції відрізняються між собою мірою просування оптичних технологій до абонента.
Наведемо назви і короткий опис концепцій побудови мереж доступу з використанням ворлоконно-оптичного кабелю в послідовності його наближення до абонента.

FTTx (Fiber To The x… – «Волокно до…»):

FTTA (Fiber To The Apartment) — Волокно до оселі (квартири) житлового будинку користувача.

FTTB**** (Fiber To The Building) — Волокно до будівлі користувача.

FTTBusiness* (Fiber To The Business) — Волокно для роботи. Концепція є фактично аналогом концепції FTTH, з тією різницею, що FTTBusiness передбачає мережне закінчення, що обслуговуватиме кілька користувачів (наприклад офісний сервер) і тому така концепція побудови мережі матиме більш жорсткі вимоги до елементів мережі задля забезпечення якості роботи мережі.

FTTC**** (Fiber To The Curb) — Волокно до розподілювальної шафи, в даній шафі сигнал конвертується і подається в абонентські лінії (мідні обвиті (виті) пари).

FTTCab*** (FTTC): (Fiber To The Cabinet) — Волокно до розподілювальної шафи або приміщення з розподілювальним обладнанням.

FTTD (Fiber To The Desk) — Волокно до столу або кінцевого пристрою.

FTTE (Fiber To The Exchange) — Волокно до вузла комутації. Волоконно-оптична частина мереж за такої концепції закінчується в будівлі АТС оператора зв'язку. Така концепція приймається за необхідності розділити ємність АТС на частини зі збереженням існуючої мідної мережі або для розгортання нових мереж для інших операторів зв'язку.

FTTF (Fiber To The Feeder) — Волокно до пасивної коаксіальної абонентської проводки.

FTTH**** (Fiber To The Home) — Волокно до помешкання. Архітектура побудови мережі, за якої волоконно-оптичний кабель використовується для з'єднання центру надання послуг (телефонна станція) та певного помешкання (квартири) або приватного бдинку.

FTTK (Fiber To The Kerb) — Волокно до розподілювальної шафи.

FTTN (Fiber To The Node) — Волокно до розподільного вузла.

FTTNeigborghood (Fiber To The Neigborghood) — Волокно до житлового осередку.

FTTO** (Fiber To The Office) — Волокно до офісу, є подальшим розвитком FTTB, де волокно подається до кожного офісу, що розташовані в будинку.

FTTOpt (Fiber To The Optimum) — Волокно до оптимальної для оператора та/або абонента точки.

FTTP (Fiber To The Premises) — Волокно до помешкання (приміщення).

FTTR (Fiber To The Remote) — Волокно до віддаленого користувача, концентратора, мультиплексора або відомчої комунікаційної системи.

FTTS (Fiber To The School) — Волокно до школи, фактично є різновидом архітектури "волокно до будинку".

FTTSub (Fiber to the Subscriber) — Волокно до абонента.

FTTU (Fiber-To-The-User) — Волокно до користувача.

FTTW (Fiber To The Workplace) — Волокно до робочого місця.

FTTZ (Fiber To The Zone) — Волокно до центру певної зони абонентського доступу.

FTTT (Fiber To The Toilet) — Волокно до туалету, концепція побудови мережі з використанням труб фекальної каналізації... ☺☺☺

* – позначено концепції визначені в рекомендації ITU G.983.1, G.983.3, G.983.4, G.984.1.

* – позначено концепції визначені в рекомендації ITU G.982.

* – позначено концепції визначені в рекомендації ITU G.983.2

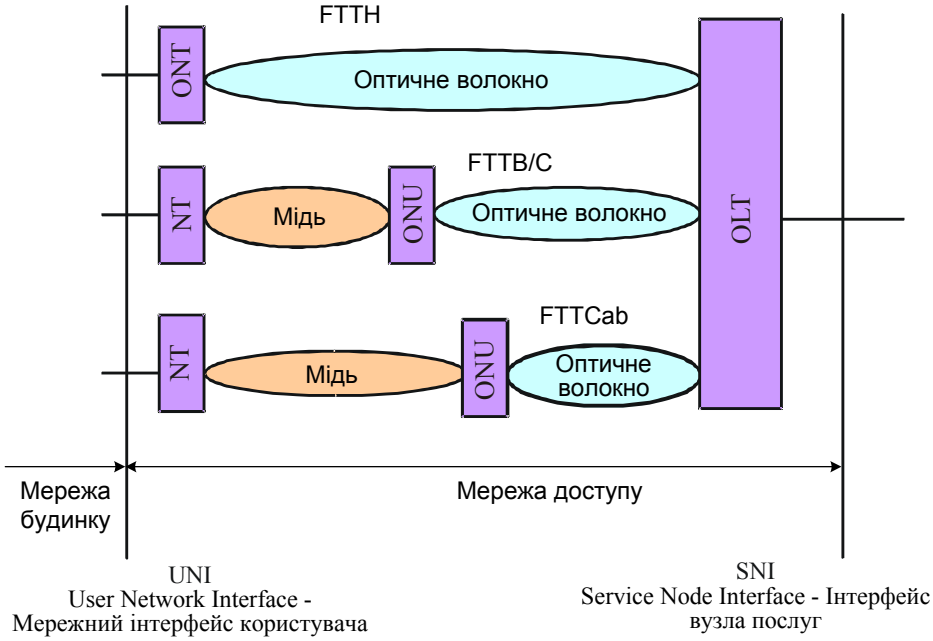
* – позначено концепції визначені в рекомендації ITU G.983.5

З наведених вище концепцій видно, що вони почасти просто дублюють одна одну (інколи лише вказуючи на відмінність в застосуванні волокна на останніх метрах мережі), а почасти є просто продуктом багатої уяви менеджерів телекомунікаційних компаній, тому наведений перелік навряд чи є остаточним з огляду на невичерпну фантазію розробників подібних концепцій.

Умовно за мірою наближення оптичного волокна до абонента можна виділити три певні зони на мережі доступу (відповідно до термінології ITU):

- Волокно до певного району (FTTCab)
- Волокно до будинку (FTTB, FTTC)
- Волокно безпосередньо до абонента (FTTH, FTTBusiness, FTTO)

Це ілюструє мережна архітектура наведена в рекомендацях ITU G.983.1 та G.984.1 (рисунок 1.1):



ONU - Optical Network Unit - Оптичний мережний блок (модуль)
ONT - Optical Network Termination – Оптичне мережне закінчення
OLT - Optical Line Termination – Оптичне лінійне закінчення
NT - Network Termination – Мережне закінчення

Рисунок 1.1 Мережна архітектура наведена

§1.1 Волокно до району

FTTCab – це один з найпростіших і найменш вартіснозатратних методів нарощування мережі та надання нових послуг користувачам. Оптичний мережний блок (дивись рисунок 1.2) містить активне розподільче обладнання. Мережний блок повинен бути розташовано в шафі (приміщенні), що опалюється (температура не повинна опускатись нижче 5 градусів морозу (за Цельсієм) задля забезпечення неушкодженості обладнання згідно норм IEC та ITU) шафа (приміщення) повинен мати захист від стороннього проникнення та бути герметичним для захисту від вологи. Від шафи до користувача використовуються симетричні кабелі (найчастіше ТПП) або коаксіальні кабелі.

Загальний вигляд реалізації концепції FTTB показано на рисунку 1.2

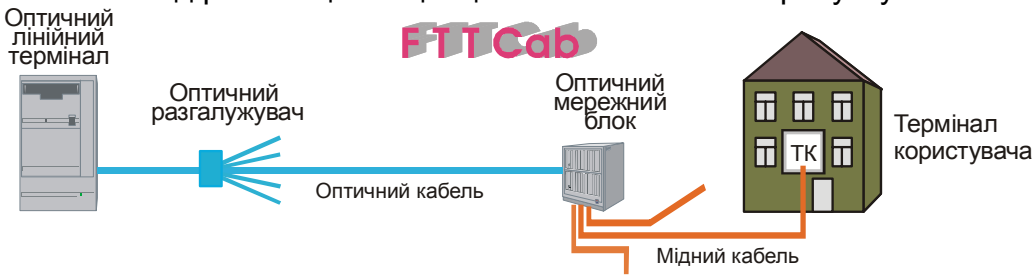


Рисунок 1.2

§1.2 Волокно до будинку

FTTB/C – при такому підході на відміну від попередньої концепції замість звичайних симетричних кабелів ТПП є можливість використовувати кабелі UTP та STP, котрі мають кращі технічні характеристики і велику пропускну спроможність, до 1000 Мбіт/с, що відкриває можливість використовувати нові інтерактивні послуги (високошвидкісний Інтернет, відео за запитом та інші), оскільки мідна частина мережі доступу має найменшу пропускну здатність.

Загальний вигляд реалізації концепції FTTB показано на рисунку 1.3, а концепції FTTC на рисунку 1.4

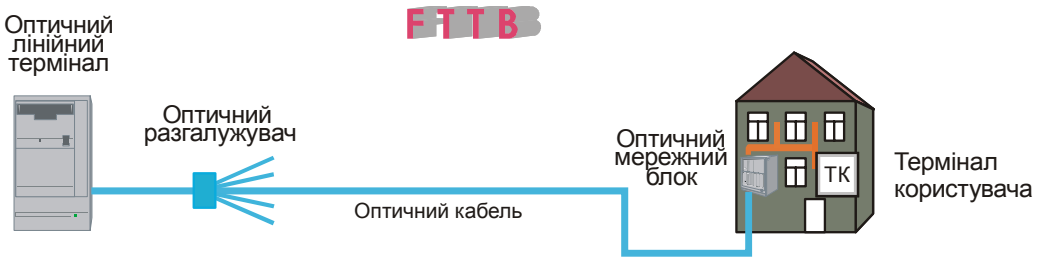


Рисунок 1.3

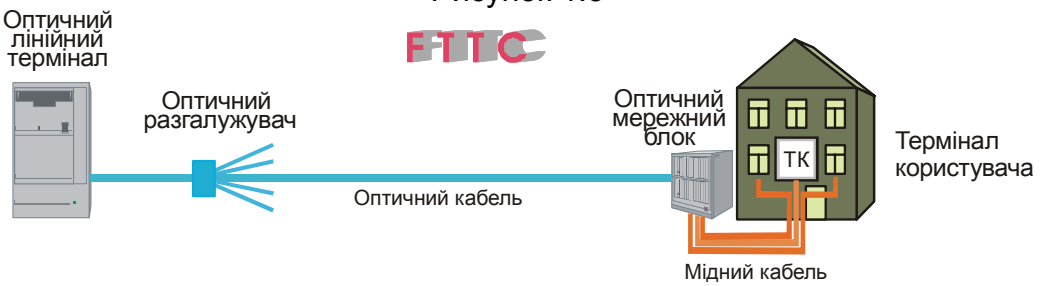


Рисунок 1.4

§1.3 Волокно до абонента

FTTH, FTTBusiness, FTTO – є найбільш вартіснозатратними концепціями на сьогодні. Така концепція призначена в першу чергу для міського та приміського приватного сектору. Розвиток такої концепції залежить від вартості волоконо-оптичних компонентів та вартості інсталяції і методу прокладання кабелю.

В цій і подібних концепціях на шляху до користувача можуть встановлюватись пасивні розгалужувальні кроси для розподілу волокон багатоволоконних кабелів.

При реалізації подібних концепцій зручніше всього застосовувати PON мережу з використання технології WDM.

Загальний вигляд реалізації концепції FTTH показано на рисунку 1.5.

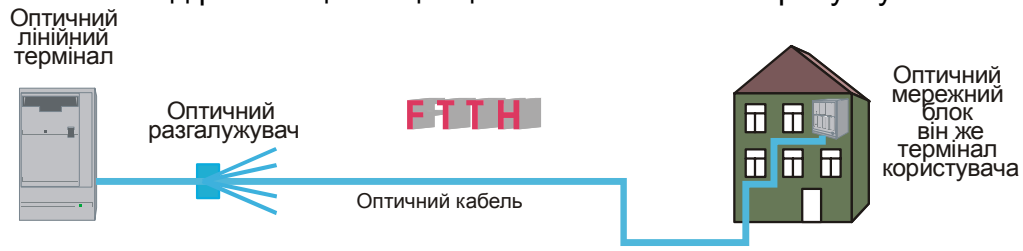


Рисунок 1.5

Розділ 2 Пасивні мережі доступу

Мережа доступу побудована на оптичних пасивних компонентах є більш економічно вигідна та дешевша у впровадженні і експлуатації порівняно з оптична мережею з використанням активного обладнання, тому при побудові оптичних мереж доступу широко впроваджуються різні варіанти технології PON (Passive Optical Network).

Для побудови PON використовують наступні оптичні пасивні елементи:

- Одномодові оптичні волокна та кабелі
- Стрічки з оптичними волокнами та кабелі стрічкової конструкції
- Оптичні розніми
- Пасивні разгалужувальні компоненти
- Пасивні оптичні атенюатори
- Зрощення

Інформація щодо цих елементів наведена в рекомендація ITU G.671 та G.652.

Активні компоненти PON (підсилювачі, передавачі, приймачі, медіаконвертори та інші) розташовуються лише в вузлі надання послуг зв'язку та абонентському вузлі.

Ефективність PON базується на принципі розподілення потужності оптичного сигналу, котрий ділиться для надання послуг зв'язку багатьом користувачам. Тому потужність вихідного оптичного сигналу є ключовим параметром при побудові PON. Потужність повинна бути достатньою для безпомилкового прийому сигналу всіма користувачами, що під'єднані до мережі.

Оскільки збільшення величини оптичної потужності, що вводиться в оптичне волокно може призвести до виникнення нелінійних явищ у волокні та погіршення роботи мережі, задля забезпечення енергетичного балансу мережі потрібно намагатись зменшувати втрати потужності в елементах з котрих побудована PON, при цьому особливу увагу звертати на втрати на з'єднаннях компонентів мережі з волокном та при з'єднанні самих волокон.

Згідно з рекомендацією ITU G.982 втрати в оптичному шляху визначають певні класи для оптичних систем:

Параметр / **Клас**	**Клас A**	**Клас B**	**Клас C**
Мінімальні втрати	5 дБ	10 дБ	15 дБ
Максимальні втрати	20 дБ	25 дБ	30 дБ
Зауваження: Вимоги визначені для певного класу можуть бути більш строгими для різних типів систем. Наприклад клас C більш строгий до систем з часовим мультипексуванням, оскільки такі системи матимуть разгаужувачі/об'єднувачі 1:2, що вноситиме додаткові втрати.			

Організація двостороннього зв'язку в PON мережах здійснюється наступним чином:

Існує два варіанти організації двостороннього зв'язку в мережах PON. При першому варіанті використовуються два оптичних волокна, одне волокно для передавання сигналу від вузла мереж до користувача та друге волокно для передавання сигналу від користувача до вузла мережі. Це спосіб збільшує витрати на розбудову мережі і не використовує всі можливості оптичного волокна як середовища розповсюдження сигналу.

При другому варіанті використовується технологія WDM. При такому варіанті для двостороннього зв'язку достатньо мати одне волокно між вузлом мережі та користувачем. Технологія WDM може бути використана наступним чином:

1. Коли низхідний потік від вузла мережі до користувача сформовано за допомогою частотного (хвильового) об'єднання/розділення каналів (WDM), а висхідний потік використовує технологію TDM. Варіант такої організації зв'язку показано на рисунку 2.1

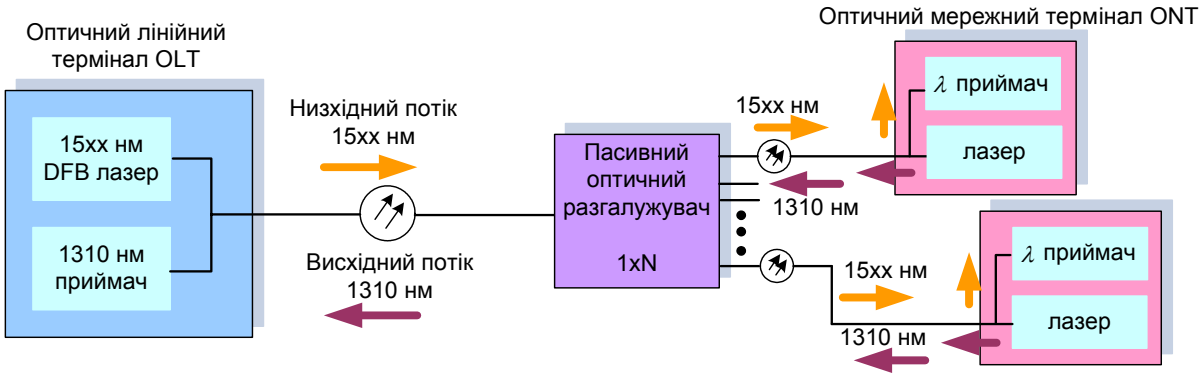


Рисунок 2.1

2. Коли обидва (висхідний та низхідний) потоки формуються за технологією WDM. Варіант такої організації зв'язку (з разголужувачем дуплексором) показано на рисунку 2.2

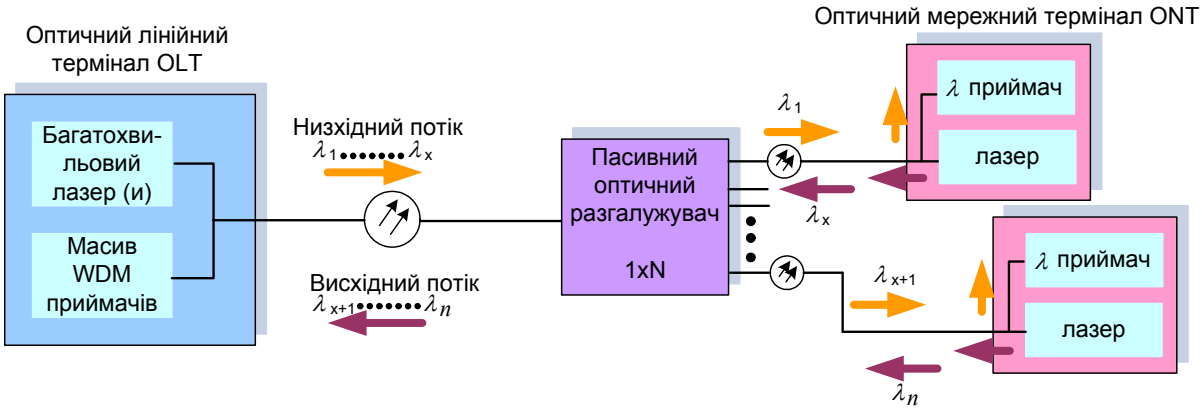


Рисунок 2.2

Для побудови PON мереж використовуються топології точка-точка, точка-мультиточка або кільцева топологія.

При топології точка-мультиточка можливі три варіанти розміщення пасивного розгалужувача: в приміщені оптичного лінійного терміналу (в місці де розташовано центр надання послуг), в приміщені де розташовано оптичний мережний термінал (в приміщенні користувача), вуличне розташування (при цьому потрібно дотримуватись вимог щодо кліматики та захисту обладнання від різних зовнішніх впливів).

На сьогодні регламентовано чотири варіанти технології оптичних пасивних мереж PON. (APON, BPON, EPON, GPON). Розглянемо їх більш детально. (Параметри інтерфейсів наведено відповідно до рекомендацій та стандартів вказаних в розділі 5, рік виходу рекомендації (стандарту) також вказано в таблиці).

§2.1 APON

APON (ATM PON) — це перший стандарт PON. Як транспортний протокол використовувалась технологія ATM. Висхідний потік (від користувача до вузла мережі) передавався на довжині хвилі 1310 нм, швидкість передавання інформаційного потоку 155 Мбіт/с. Низхідний потік (від вузла мереж до користувача) передавався на довжині хвилі 1550 нм зі швидкістю передавання 155 Мбіт/с.

Технологія описувалась в першій версії рекомендації ITU G.983.1 від 1998 року.

§2.2 BPON

Сучасна версія рекомендації ITU G.983.1 від 2005 року описує технологію BPON (Broadband PON). Як транспортний протокол використовується технологія ATM. Фактично BPON є подальшим розвитком APON.

Швидкість передавання низхідний потік / висхідний потік становить:
155.52 Мбіт/с / 155.52 Мбіт/с
622.08 Мбіт/с / 155.52 Мбіт/с
622.08 Мбіт/с / 622.08 Мбіт/с
1244.16 Мбіт/с / 155.52 Мбіт/с
1244.16 Мбіт/с / 622.08 Мбіт/с

Передавання потоків здійснюється по одному волокну за допомогою WDM на довжинах хвиль 1550 нм (1490 нм) для передавання низхідного потоку та 1310 нм для передавання висхідного потоку, або з використанням двох оптичних волокон по одному з яких передається низхідний, а по іншому висхідний потоки.

Відповідно до рекомендації ITU G.983.1, параметри оптичної мережі доступу, що залежать від середовища розповсюдження сигналу визначені наступним чином:

Параметри	**Одиниця виміру**	**Значення параметру**
Тип оптичного волокна	–	Рекомендація ITU G.652
Діапазон втрат (Відповідно дорекомендації ITU G.982)	дБ	Клас A: 5÷20 Клас B: 10÷25 Клас C: 15÷30
Диференціальні втрати в оптичному шляху	дБ	15
Максимальний штраф за оптичний шлях	дБ	1
Максимальна досяжна протяжність лінії	км	20
Максимальна протяжність волокна між точками S/R та R/S	км	20
Мінімальна підтримувана кількість відгалужень	–	Обмежена втратами в оптичному волокні та в оптичних елементах, що мають свої параметри. PON з пасивними розголужувачами (16 або 32 відгалуження)
Двосторонній зв’язок	–	1-волокно з використанням WDM або 2-волокна

Контрольні точки для визначення параметрів оптичної мережі доступу показано на рисунку 2.3 (згідно з рисунком рекомендації ITU G.983.1 рисунок 5/G.983.1)

Рисунок 2.3

Пунктиром на рисунку позначено резервне оптичне волокно.

Точки O_{ru}, O_{rd} — оптичний інтерфейс в контрольній точці R/S між ONU та ODN.

Точки O_{lu}, O_{ld} — оптичний інтерфейс в контрольній точці S/R між OLT та ODN.

Специфікація цих інтерфейсів наведена в таблицях нижче (згідно з таблицями 4 рекомендації ITU G.983.1)

Таблиця 2.2.1 згідно з Table 4-b/G.983.1 рекомендації ITU G.983.1 Параметри оптичного інтерфейсу 155, Мбіт/с низхідний потік.

Параметри	**Одиниці виміру**	**одноволоконний**		**двоволоконний**	
OLT Передавач (оптичні інтерфейси O_{ld})					
Номінальна бітова швидкість	Мбіт/с	155,52		155,52	
Робоча довжина хвилі	нм	1480÷1580		1260÷1360	
Лінійний код	–	Скрембліруваний NRZ		Скрембліруваний NRZ	
Маска око-діаграми передавача	–	Рисунок 6 рекомендації ITU G.983.1		Рисунок 6 рекомендації ITU G.983.1	
Максимальне відбиття від стиків обладнання, виміряне на робочій довжині хвилі передавача	дБ	NA		NA	
Мінімум ORL ODN в O_{ld} і O_{lu} (Зауваження 1 і 2)	дБ	більшим від 32		більшим від 32	
ODN клас		клас B	клас C	клас B	клас C
Мінімальна вихідна потужність	дБм	мінус 4	мінус 2	мінус 4	мінус 2
Максимальна вихідна потужність	дБм	+2	+4	+1	+3
Вихідна потужність, що ще не введена в передавач	дБм	NA		NA	
Коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ	більшим від 10		більшим від 10	
Стійкість передавача до заниження потужності.	дБ	більшим від мінус 15		більшим від мінус 15	
MLM лазер – максимальна ширина RMS	нм	1,8		5,8	
SLM лазер – максимальна ширина спектра випромінення на рівні мінус 20 дБ (Зауваження 3)	нм	1		1	

Параметри	Одиниці виміру	одноволоконний		двоволоконний	
SLM лазер – мінімальний коефіцієнт гасіння бічних мод	дБ	30		30	
ONU приймач (оптичний інтерфейс O_{rd})					
Максимальне відбиття від стиків обладнання, виміряне на робочій довжині хвилі передавача	дБ	меншим від мінус 20		меншим від мінус 20	
BER	–	меншим від 10^{-10}		меншим від 10^{-10}	
ODN клас		клас B	клас C	клас B	клас C
Мінімальний рівень чутливості приймача	дБм	мінус 30	мінус 33	мінус 30	мінус 33
Мінімальний рівень перенавантаження приймача	дБм	мінус 8	мінус 11	мінус 9	мінус 12
Стійкість до послідовності однакових символів	біт	більшим від 72		більшим від 72	
Допустимий рівень вхідного фазового тремтіння	–	Рисунок 9 рекомендації ITU G.983.1		Рисунок 9 рекомендації ITU G.983.1	
Величина допустимої відбитої оптичної потужності	дБ	меншим від 10		меншим від 10	
Зауваження 1 — Значення "Мінімум ORL ODN в точках O_{ru} і O_{rd} і O_{ld} і O_{lu}" повинен бути більшим від 20 дБ у вказаних випадках, котрі описуються в додатку I рекомендації ITU G.983.1. Зауваження 2 — Значення на відбиття передавача ONU для випадків значень "Мінімум ORL ODN в точках O_{ru} і O_{rd} і O_{ld} і O_{lu}" при 20 дБ описуються в додатку II рекомендації ITU G.983.1. Зауваження 3 — Значення ширини спектральної лінії за рівнем мінус 20 дБ, та мінімальний рівень гасіння бічних мод вказані в рекомендації ITU G.957. MLM (Multi-Longitudinal Mode) — лазер на багатьох поздовжніх модах SLM (Single-Longitudinal Mode) — лазер на одній поздовжній моді RMS (Root-Mean-Square) — Середньоквадратичне значення NA (Not Applicable) — не застосовується BER (Bit-Error Ratio) — Коефіцієнт помилок за бітами					

Таблиця 2.2.2 згідно з Table 4-c/G.983.1 рекомендації ITU G.983.1 Параметри оптичного інтерфейсу 622 Мбіт/с, низхідний потік.

Параметри	Одиниці виміру	одноволоконний	двоволоконний
OLT Передавач (оптичні інтерфейси O_{ld})			
Номінальна бітова швидкість	Мбіт/с	622,08	622,08
Робоча довжина хвилі	нм	1480÷1580	1260÷1360
Лінійний код	–	Скремблірований NRZ	Скремблірований NRZ
Маска око-діаграми передавача	–	Рисунок 6 рекомендації ITU G.983.1	Рисунок 6 рекомендації ITU G.983.1
Максимальне відбиття від стиків обладнання, виміряне на робочій довжині хвилі передавача	дБ	NA	NA
Мінімум ORL ODN в O_{ld} і O_{lu} (Зауваження 1 і 2)	дБ	більшим від 32	більшим від 32

Параметри	Одиниці виміру	одноволоконний			двоволоконний		
ODN клас		клас A	клас B	клас C	клас A	клас B	клас C
Мінімальна вихідна потужність	дБм	мінус 7	мінус 2	мінус 2	мінус 7	мінус 2	мінус 2
Максимальна вихідна потужність	дБм	мінус 1	+4	+4	мінус 2	+3	+3
Вихідна потужність, що ще не введена в передавач	дБм	NA			NA		
Коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ	більшим від 10			більшим від 10		
Стійкість передавача до заниження потужності.	дБ	більшим від мінус 15			більшим від мінус 15		
MLM лазер – максимальна ширина RMS	нм	NA			1,4		
SLM лазер – максимальна ширина спектра випромінення на рівні мінус 20 дБ (Зауваження 3)	нм	1			1		
SLM лазер – мінімальний коефіцієнт гасіння бічних мод	дБ	30			30		
ONU приймач (оптичний інтерфейс O_{rd})							
Максимальне відбиття від стиків обладнання, виміряне на робочій довжині хвилі передавача	дБ	меншим від мінус 20			меншим від мінус 20		
BER	–	меншим від 10^{-10}			меншим від 10^{-10}		
ODN клас		клас A	клас B	клас C	клас A	клас B	клас C
Мінімальний рівень чутливості приймача	дБм	мінус 28	мінус 28	мінус 33	мінус 28	мінус 28	мінус 33
Мінімальний рівень перенавантаження приймача	дБм	мінус 6	мінус 6	мінус 11	мінус 7	мінус 7	мінус 12
Стійкість до послідовності однакових символів	біт	більшим від 72			більшим від 72		
Допустимий рівень вхідного фазового тремтіння	–	Рисунок 9 рекомендації ITU G.983.1			Рисунок 9 рекомендації ITU G.983.1		
Величина допустимої відбитої оптичної потужності	дБ	меншим від 10			меншим від 10		

Зауваження 1 — Значення "Мінімум ORL ODN в точках O_{ru} і O_{rd} і O_{ld} і O_{lu}" повинен бути більшим від 20 дБ у вказаних випадках, котрі описуються в додатку I рекомендації ITU G.983.1.

Зауваження 2 — Значення на відбиття передавача ONU для випадків значень "Мінімум ORL ODN в точках O_{ru} і O_{rd} і O_{ld} і O_{lu}" при 20 дБ описуються в додатку II рекомендації ITU G.983.1.

Зауваження 3 — Значення ширини спектральної лінії за рівнем мінус 20 дБ, та мінімальний рівень гасіння бічних мод вказані в рекомендації ITU G.957.

MLM (Multi-Longitudinal Mode) — лазер на багатьох поздовжніх модах

SLM (Single-Longitudinal Mode) — лазер на одній поздовжній моді

RMS (Root-Mean-Square) — Середньоквадратичне значення

NA (Not Applicable) — не застосовується

BER (Bit-Error Ratio) — Коефіцієнт помилок за бітами

Таблиця 2.2.3 згідно з Table 4-d/G.983.1 рекомендації ITU G.983.1 Параметри оптичного інтерфейсу 1244,16 Мбіт/с, низхідний потік.

Параметри	Одиниці виміру	одноволоконний			двоволоконний		
OLT Передавач (оптичні інтерфейси O_{ld})							
Номінальна бітова швидкість	Мбіт/с	1244,16			1244,16		
Робоча довжина хвилі	нм	1480÷1500			1260÷1360		
Лінійний код	–	Скремблірований NRZ			Скремблірований NRZ		
Маска око-діаграми передавача	–	Рисунок 6 рекомендації ITU G.983.1			Рисунок 6 рекомендації ITU G.983.1		
Максимальне відбиття від стиків обладнання, виміряне на робочій довжині хвилі передавача	дБ	NA			NA		
Мінімум ORL ODN в O_{ld} і O_{lu} (Зауваження 1 і 2)	дБ	більшим від 32			більшим від 32		
ODN клас		клас A	клас B	клас C	клас A	клас B	клас C
Мінімальна вихідна потужність	дБм	мінус 4	+1	+5	мінус 4	+1	+5
Максимальна вихідна потужність	дБм	+1	+6	+9	+1	+6	+9
Вихідна потужність, що ще не введена в передавач	дБм	NA			NA		
Коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ	більшим від 10			більшим від 10		
Стійкість передавача до заниження потужності.	дБ	більшим від мінус 15			більшим від мінус 15		
MLM лазер – максимальна ширина RMS	нм	NA			NA		
SLM лазер – максимальна ширина спектра випромінення на рівні мінус 20 дБ (Зауваження 3)	нм	1			1		
SLM лазер – мінімальний коефіцієнт гасіння бічних мод	дБ	30			30		
ONU приймач (оптичний інтерфейс O_{rd})							
Максимальне відбиття від стиків обладнання, виміряне на робочій довжині хвилі передавача	дБ	меншим від мінус 20			меншим від мінус 20		
BER	–	меншим від 10^{-10}			меншим від 10^{-10}		
ODN клас		клас A	клас B	клас C	клас A	клас B	клас C
Мінімальний рівень чутливості приймача	дБм	мінус 25	мінус 25	мінус 26	мінус 25	мінус 25	мінус 25
Мінімальний рівень перенавантаження приймача	дБм	мінус 4	мінус 4	мінус 4	мінус 4	мінус 4	мінус 4
Стійкість до послідовності однакових символів	біт	більшим від 72			більшим від 72		
Допустимий рівень вхідного фазового тремтіння	–	Рисунок 9 рекомендації ITU G.983.1			Рисунок 9 рекомендації ITU G.983.1		

Параметри	Одиниці виміру	одноволоконний	двоволоконний
Величина допустимої відбитої оптичної потужності	дБ	меншим від 10	меншим від 10
Зауваження 1 — Значення "Мінімум ORL ODN в точках O_{ru} і O_{rd} і O_{ld} і O_{lu}" повинен бути більшим від 20 дБ у вказаних випадках, котрі описуються в додатку I рекомендації ITU G.983.1. Зауваження 2 — Значення на відбиття передавача ONU для випадків значень "Мінімум ORL ODN в точках O_{ru} і O_{rd} і O_{ld} і O_{lu}" при 20 дБ описуються в додатку II рекомендації ITU G.983.1. Зауваження 3 — Значення ширини спектральної лінії за рівнем мінус 20 дБ, та мінімальний рівень гасіння бічних мод вказані в рекомендації ITU G.957. Зауваження 4 — Поки що рівень мінус 6 дБм перенавантаження потрібно для підтримки класу C ODN, а рівень мінус 4 дБм перенавантаження має бути вибрано тут для приймача ONU однорідно для всіх ODN класів. MLM (Multi-Longitudinal Mode) — лазер на багатьох поздовжніх модах SLM (Single-Longitudinal Mode) — лазер на одній поздовжній моді RMS (Root-Mean-Square) — Середньоквадратичне значення NA (Not Applicable) — не застосовується BER (Bit-Error Ratio) — Коефіцієнт помилок за бітами			

Таблиця 2.2.1 згідно з Table 4-e/G.983.1 рекомендації ITU G.983.1 Параметри оптичного інтерфейсу 155, Мбіт/с висхідний потік.

Параметри	Одиниці виміру	одноволоконний		двоволоконний	
ONU Передавач (оптичні інтерфейси O_{ru})					
Номінальна бітова швидкість	Мбіт/с	155,52		155,52	
Робоча довжина хвилі	нм	1260÷1360		1260÷1360	
Лінійний код	–	Скремблірований NRZ		Скремблірований NRZ	
Маска око-діаграми передавача	–	Рисунок 7 рекомендації ITU G.983.1		Рисунок 7 рекомендації ITU G.983.1	
Максимальне відбиття від стиків обладнання, виміряне на робочій довжині хвилі передавача	дБ	меншим від мінус 6		меншим від мінус 6	
Мінімум ORL ODN в O_{ru} і O_{rd} (Зауваження 1 і 2)	дБ	більшим від 32		більшим від 32	
ODN клас		клас B	клас C	клас B	клас C
Мінімальна вихідна потужність	дБм	мінус 4	мінус 2	мінус 4	мінус 2
Максимальна вихідна потужність	дБм	+2	+4	+1	+3
Вихідна потужність, що ще не введена в передавач	дБм	Менше за мінімальну чутливість мінус 10		Менше за мінімальну чутливість мінус 10	
Коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ	більшим від 10		більшим від 10	
Стійкість передавача до заниження потужності.	дБ	більшим від мінус 15		більшим від мінус 15	
MLM лазер – максимальна ширина RMS	нм	5,8		5,8	

Параметри	Одиниці виміру	одноволоконний		двоволоконний	
SLM лазер – максимальна ширина спектра випромінення на рівні мінус 20 дБ (Зауваження 3)	нм	1		1	
SLM лазер – мінімальний коефіцієнт гасіння бічних мод	дБ	30		30	
Характеристика перехідного фазового тремтіння	–	Рисунок 8 рекомендації ITU G.983.1		Рисунок 8 рекомендації ITU G.983.1	
Допустиме вихідне фазове тремтіння в діапазоні від 0,5 кГц до 1,3 МГц	UI p-p	0,2		0,2	
OLT приймач (оптичний інтерфейс O_{lu})					
Максимальне відбиття від стиків обладнання, виміряне на робочій довжині хвилі передавача	дБ	меншим від мінус 20		меншим від мінус 20	
BER	–	меншим від 10^{-10}		меншим від 10^{-10}	
ODN клас		клас B	клас C	клас B	клас C
Мінімальний рівень чутливості приймача	дБм	мінус 30	мінус 33	мінус 30	мінус 33
Мінімальний рівень перенавантаження приймача	дБм	мінус 8	мінус 11	мінус 9	мінус 12
Стійкість до послідовності однакових символів	біт	більшим від 72		більшим від 72	
Допустимий рівень вхідного фазового тремтіння	–	NA		NA	
Величина допустимої відбитої оптичної потужності	дБ	меншим від 10		меншим від 10	

Зауваження 1 — Значення "Мінімум ORL ODN в точках O_{ru} і O_{rd} і O_{ld} і O_{lu}" повинен бути більшим від 20 дБ у вказаних випадках, котрі описуються в додатку I рекомендації ITU G.983.1.
Зауваження 2 — Значення на відбиття передавача ONU для випадків значень "Мінімум ORL ODN в точках O_{ru} і O_{rd} і O_{ld} і O_{lu} " при 20 дБ описуються в додатку II рекомендації ITU G.983.1.
Зауваження 3 — Значення ширини спектральної лінії за рівнем мінус 20 дБ, та мінімальний рівень гасіння бічних мод вказані в рекомендації ITU G.957.
MLM (Multi-Longitudinal Mode) — лазер на багатьох поздовжніх модах
SLM (Single-Longitudinal Mode) — лазер на одній поздовжній моді
RMS (Root-Mean-Square) — Середньоквадратичне значення
NA (Not Applicable) — не застосовується
BER (Bit-Error Ratio) — Коефіцієнт помилок за бітами

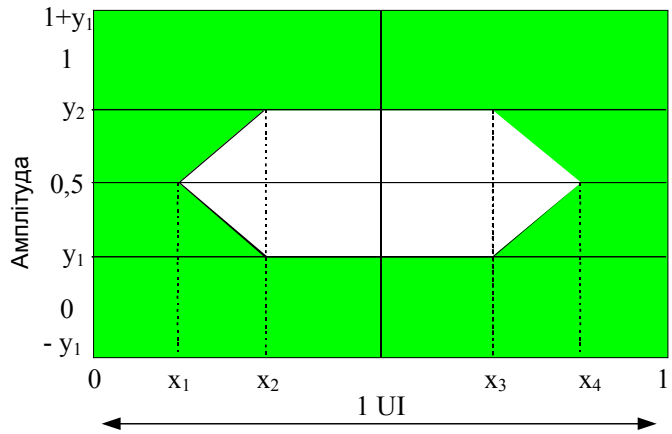
Таблиця 2.2.2 згідно з Table 4-f/G.983.1 рекомендації ITU G.983.1 Параметри оптичного інтерфейсу 622 Мбіт/с, висхідний потік.

Параметри	Одиниці виміру	Специфікації
ONU передавач (оптичний інтерфейс O_{ru})		
Номінальна бітова швидкість	Мбіт/с	622.08
Робоча довжина хвилі (Зауваження 3)	нм	MLM тип 1 або SLM: 1260÷1360 MLM тип 2: 1280÷1350 MLM тип 3: 1288÷1338

Параметри	Одиниці виміру	Специфікації		
Лінійний код	–	Скремблірований NRZ		
Маска око-діаграми передавача	–	Рисунок 7 рекомендації ITU G.983.1		
Максимальне відбиття від стиків обладнання, виміряне на робочій довжині хвилі передавача	дБ	меншим від мінус 6		
Мінімум ORL ODN в O_{ld} і O_{lu} (Зауваження 1 і 2)	дБ	більшим від 32		
ODN клас (Зауваження 5)		клас A	клас B	клас C
Мінімальна вихідна потужність	дБм	мінус 6	мінус 1	мінус 1
Максимальна вихідна потужність	дБм	мінус 1	+4	+4
Вихідна потужність, що ще не введена в передавач	дБм	Менше за мінімальну чутливість мінус 10		
Коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ	більшим від 10		
Стійкість передавача до заниження потужності.	дБ	більшим від мінус 15		
MLM лазер – максимальна ширина RMS (Зауваження 3)	нм	MLM тип 1: 1,4 MLM тип 2: 2,1 MLM тип 3: 2,7		
SLM лазер – максимальна ширина спектра випромінення на рівні мінус 20 дБ (Зауваження 3)	нм	1		
SLM лазер – мінімальний коефіцієнт гасіння бічних мод	дБ	30		
Характеристика перехідного фазового тремтіння	–	Рисунок 8 рекомендації ITU G.983.1		
Допустиме вихідне фазове тремтіння в діапазоні від 2,0 кГц до 5,0 МГц	UI p-p	0,2		
OLT приймач (оптичний інтерфейс O_{lu})				
Максимальне відбиття від стиків обладнання, виміряне на робочій довжині хвилі передавача	дБ	меншим від мінус 20		
BER	–	меншим від 10^{-10}		
ODN клас (Зауваження 5)		клас A	клас B	клас C
Мінімальний рівень чутливості приймача	дБм	мінус 27	мінус 27	мінус 32
Мінімальний рівень перенавантаження приймача	дБм	мінус 6	мінус 6	мінус 11
Стійкість до послідовності однакових символів	біт	більшим від 72		
Допустимий рівень вхідного фазового тремтіння	–	NA		
Величина допустимої відбитої оптичної потужності	дБ	меншим від 10		

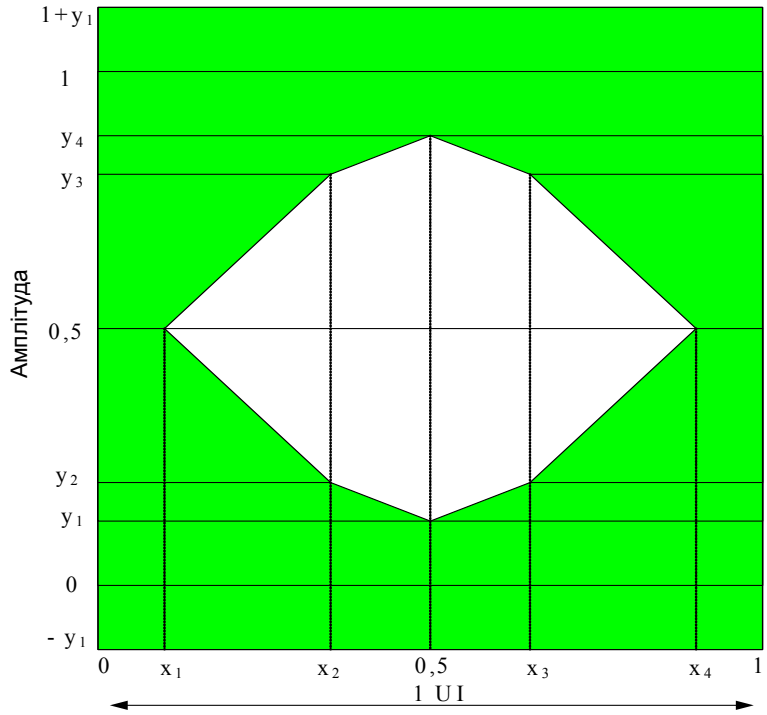
Параметри	Одиниці виміру	Специфікації
Зауваження 1 — Значення "Мінімум ORL ODN в точках O_{ru} і O_{rd} і O_{ld} і O_{lu}" повинен бути більшим від 20 дБ у вказаних випадках, котрі описуються в додатку I рекомендації ITU G.983.1. Зауваження 2 — Значення на відбиття передавача ONU для випадків значень "Мінімум ORL ODN в точках O_{ru} і O_{rd} і O_{ld} і O_{lu} " при 20 дБ описуються в додатку II рекомендації ITU G.983.1. Зауваження 3 — Типи передавачів, що використовують більш вузьку ширину спектра імпульсу надають більш широкий діапазон центральних довжин хвиль. Вказані типи лазерів продукують менш ніж 1 дБ штрафу за оптичний шлях по ODN. Лазери з диференційними оптичними параметрами можуть бути замінені за умови, що (1) повний діапазон хвиль не перевищує від 1260 нм до 1360 нм, та (2) будь-яке збільшення в штрафі за оптичний шлях, компенсується збільшенням оптичної потужності, що випромінюється, або зменшенням мінімальної чутливості приймача. Для впевненої взаємодії вказані типи лазерів, з штрафом за оптичний шлях меншим за 1 дБ, рекомендуються. Зауваження 4 — Значення ширини спектральної лінії за рівнем мінус 20 дБ, та мінімальний рівень гасіння бічних мод вказані в рекомендації ITU G.957. Зауваження 5 — Очікувані значення для висхідного потоку класу C потрібно покращувати. Тому вони є об’єктом покращення в майбутньому. MLM (Multi-Longitudinal Mode) — Лазер на багатьох поздовжніх модах SLM (Single-Longitudinal Mode) — Лазер на одній поздовжній моді RMS (Root-Mean-Square) — Середньоквадратичне значення NA (Not Applicable) — Не застосовується BER (Bit-Error Ratio) — Коефіцієнт помилок за бітами		

Око-діаграма (форма імпульсу) сигналу визначається наступним чином:



	155,52 Мбіт/с	622,08 Мбіт/с	1244,16 Мбіт/с
X_1/X_4	0,15/0,85	0,25/0,75	0,28/0,72
X_2/X_3	0,35/0,65	0,40/0,60	0,40/0,60
Y_1/Y_2	0,20/0,80	0,20/0,80	0,20/0,80

Рисунок 2.4 Око-діаграма для низхідного потоку (відповідно до рекомендації ITU рис. 6/G.983.1)



	155,52 Мбіт/с	622,08 Мбіт/с
X_1/X_4	0,10/0,90	0,20/0,80
X_2/X_3	0,35/0,65	0,40/0,60
Y_1/Y_4	0,13/0,87	0,15/0,85
Y_2/Y_3	0,20/0,80	0,20/0,80

Рисунок 2.5 Око-діаграма для висхідного потоку (відповідно до рекомендації ITU рис. 7/G.983.1)

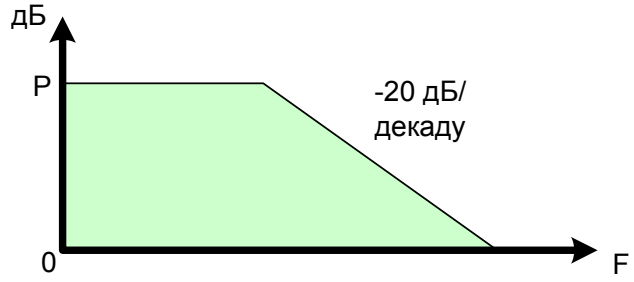
Параметри тремтіння фази для оптичного мережного модуля (блоку) є такими:

Характеристика передавання фазового тремтіння (Jitter transfer)

Параметр відображає вплив обладнання на величину спектральних складових фазового тремтіння, отриманого на вхідному інтерфейсі.

Перевіряють вкладення показників у встановлений шаблон згідно з рекомендацією ITU G.983.1.

$$jitter\ transfer = 20\log_{10}\left[\frac{jitter\ on\ upstream\ signal\ UI}{jitter\ on\ downstream\ signal\ UI}\times\frac{downstream\ bit\ rate}{upstream\ bit\ rate}\right]$$



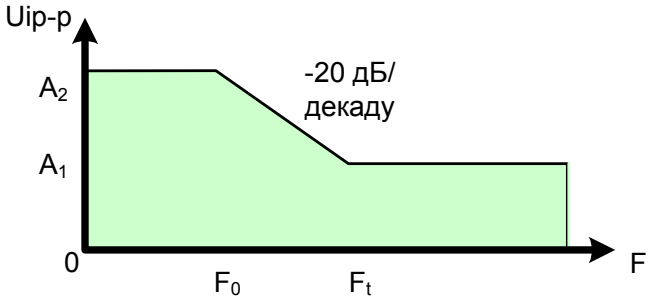
	F, кГц	P, дБ
155,52/155,52	130	0,1
155,52/622,08	500	0,1
155,52/1244,16	1000	0,1
622,08/622,08	500	0,1
622,08/1244,16	1000	0,1

Рисунок 2.6 Характеристика передавання фазового тремтіння (відповідно до рекомендації ITU рис. 8/G.983.1)

Максимальне вхідне фазове тремтіння (Jitter toleranc)

Параметр визначає максимальне фазове тремтіння на вході обладнання за якого якість передачі та параметри вхідного сигналу не виходять за вказані робочі діапазони. Параметр вказує на здатність обладнання відновлювати часові характеристики параметрів сигналу за наявності швидких фазових зсувів на вході інтерфейсу. Параметр характеризує роботу системи синхронізації та прийому.

Оцінюється максимальне фазове тремтіння на вході обладнання.



	F_t, кГц	F_0, кГц	A_1, Uip-p	A_2, Uip-p
155,52/155,52	65	65	0,075	0,75
155,52/622,08	250	25	0,075	0,75
155,52/1244,16	500	50	0,075	0,75
622,08/622,08	250	25	0,075	0,75
622,08/1244,16	500	50	0,075	0,75

Рисунок 2.7 Характеристика максимального вхідного фазового тремтіння (відповідно до рекомендації ITU рис. 9/G.983.1)

Максимальне фазове тремтіння на виході (Jitter generation).

Параметр вказує на здатність обладнання формувати вихідний цифровий потік з визначеними параметрами, без дії на нього вхідного фазового тремтіння. Характеризує величину фазового тремтіння, котру вноситиме дане обладнання в тракт передачі.

Оцінюється максимальне фазове тремтіння на виході обладнання, за відсутності фазового тремтіння на вході, – для оцінки того, яке фазове тремтіння буде вноситись даним обладнанням. Перевіряють вкладення показників у встановлений шаблон.

Відповідно до рекомендації ITU G.983.1 величина максимального фазового тремтіння на виході оптичного мережного модуля не повинна перевищувати 0,2 Uip-p для висхідного потоку 155,52 Мбт/с в діапазоні 0,5 кГц ÷1,3 МГц та для висхідного потоку 622,08 Мбт/с в діапазоні 2,0 кГц ÷5,0 МГц.

§2.3 GPON

Технологія GPON (Gigabit PON) визначається рекомендаціями ITU G.984.x, що вийшли в 2003÷2004 роках. Як транспортний протокол використовується технологія SDH з протоколом формування пакетів GFP (generic framing protocol).

Розробка GPON ставила наступні завдання:

- Забезпечити роботу PON на гігабітних швидкостях передавання;
- Визначити специфікації фізичного рівня для більш високої пропускної спроможності PON
- Розробити ефективний спектральний протокол.

GPON є маштабованою структурою кадрів зі швидкостями передавання від 622 Мбіт/с до 2,5 Гбіт/с. Структура потоку в GPON базується на рекомендації ITU G.704.1 GFP (універсальний протокол кадрів) забезпечуючи вставку в синхронний транспортний протокол будь-який тип сервісу, в тому числі і TDM. Якщо у SDH розподілення робочої смуги відбувається статично, то GFP, зберігаючи структуру кадру SDH, динамічно розподіляє робочу смугу.

В мережах GPON для передавання даних потрібно два рівня формування пакетів (інкапсуляції) (формування пакетів відбувається на другому рівні (канальному рівні) моделі OSI), згідно рекомендації ITU G.984.3:

- Інформаційні потоки TDM та кадри Ethernet упаковуються в пакети GEM (GPON Encapsulation Method) зі змінною довжиною (відбувається фрагментація кадрів для підвищення ефективності використання смуги передавання) подібно до формату GFP (Generic Frame Procedure) згідно рекомендації ITU G.7401.
- Комірки ATM та пакети GEM формують пакети GTC (GPON Transmission Convergence), котрі передаються в мережі GPON.

Контроль та керування в системі GTC згідно рекомендації ITU G.984.3 складається з трьох частин OAM (Operations, Administration and Maintenance), PLOAM (Physical Layer OAM) та OMCI (ONU Management and Control Interface). Повідомлення OAM надають смугу та здійснюють динамічне керування шириною смуги DBA (Dynamic Bandwidth Assignment). Вони знаходяться в заголовку пакету GTC і передаються як у висхідному так і у низхідному потоках.

Швидкість передавання низхідний потік / висхідний потік (для випадку коли концепції FTTH або FTTC функціонують спільно з технологією ADSL, можуть бути використані швидкості менші ніж 1,2 Гбіт/с) становить:

1244,16 Мбіт/с / 155,52 Мбіт/с
1244,16 Мбіт/с / 622,08 Мбіт/с
1244,16 Мбіт/с / 1244,16 Мбіт/с
2488,32 Мбіт/с / 155,52 Мбіт/с
2488,32 Мбіт/с / 622,08 Мбіт/с
2488,32 Мбіт/с / 1244,16 Мбіт/с
2488,32 Мбіт/с / 2488,32 Мбіт/с

Робочий діапазон довжин хвиль для низхідного потоку для систем, що працюють по одному оптичному волокну повинен бути 1480÷1500 нм.

Робочий діапазон довжин хвиль для низхідного потоку для систем, що працюють по двох оптичних волокнах повинен бути 1260÷1360 нм.

Робочий діапазон довжин хвиль для висхідного потоку повинен бути 1260÷1360 нм.

Контрольні точки для визначення параметрів оптичної мережі доступу показано на рисунку 2.8 згідно з рисунком рекомендації ITU G.984.2 рисунок 1/G.984.2, оскільки вони співпадають з рисунком 5/G.983.1 рекомендації ITU G.983.1.

Специфікація інтерфейсів визначена на рисунку 2.8 наведена в таблицях (згідно з таблицями 2 рекомендації ITU G.984.2)

Системи що використовують FEC (forward error correction) можуть забезпечувати роботу при гірших параметрах ніж ті, що наведені у таблицях, забезпечуючи коефіцієнт BER 10^{-10}.

Рисунок 2.8

Пунктиром на рисунку позначено резервне оптичне волокно.

Точки O_{ru}, O_{rd} — оптичний інтерфейс в контрольній точці R/S між ONU та ODN.

Точки O_{lu}, O_{ld} — оптичний інтерфейс в контрольній точці S/R між OLT та ODN.

Відповідно до рекомендації ITU G.984.2, параметри оптичної мережі доступу, що залежать від середовища розповсюдження сигналу визначені наступним чином:

Параметри	Одиниці виміру	Технічний опис
Тип оптичного волокна (Зауваження 1)	–	ITU-T рекомендація G.652
Діапазон загасання (ITU-T рекомендація G.982)	дБ	клас A: 5-20 клас B: 10-25 клас C: 15-30
Диференціальні втрати в оптичному шляху	дБ	15
Максимальний штраф за оптичний шлях	дБ	1 (дивись зауваження 5 у таблиці 2e та 2f-1 рекомендації ITU G.984.2)
Максимальна логічна область дії	км	60 (Зауваження 2)
Максимальна диференційна логічна область дії	км	20
Максимальна довжина оптичного волокна між точками S/R та R/S	км	20 (10 як варіант)
Мінімальний підтримуваний коефіцієнт об’єднання	–	Обмежується втратами оптичного шляху PON з пасивними розгалужувачами (16, 32 або 64 об’єднуваних оптичних шляхів)
Двонаправлене передавання	–	1 волокно з WDM або 2 волокна
Робоча довжина хвилі	нм	Буде визначена
Зауваження 1 — Для майбутніх можливих змін протяжності (більше 20 км), використання різних типів оптичних волокон для майбутнього вивчення, для майбутнього визначення PMD. Зауваження 2 — Ця максимальна відстань встановлюється верхніми рівнями системи (MAC, TC, Ranging), з огляду на визначення PMD в майбутньому.		

Таблиця 2.3.1 згідно з Table 2b/G.984.2 рекомендації ITU G.984.2 Параметри оптичного інтерфейсу 1244 Мбіт/с, низхідний потік.

Параметри	Одиниці виміру	одноволоконний			двоволоконний		
OLT Передавач (оптичні інтерфейси O_{ld})							
Номінальна бітова швидкість	Мбіт/с	1244,16			1244,16		
Робоча довжина хвилі	нм	1480÷1500			1260÷1360		
Лінійний код	–	Скремблірований NRZ			Скремблірований NRZ		
Маска око-діаграми передавача	–	Рисунок 2 рекомендації ITU G.984.2			Рисунок 2 рекомендації ITU G.984.2		
Максимальне відбиття від стиків обладнання, виміряне на робочій довжині хвилі передавача	дБ	NA			NA		
Мінімум ORL ODN в O_{ld} і O_{lu} (Зауваження 1 і 2)	дБ	більшим від 32			більшим від 32		
ODN клас		A	B	C	A	B	C
Мінімальна вихідна потужність	дБм	мінус 4	+1	+5	мінус 4	+1	+5
Максимальна вихідна потужність	дБм	+1	+6	+9	+1	+6	+9
Вихідна потужність, що ще не введена в передавач	дБм	NA			NA		
Коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ	більшим від 10			більшим від 10		
Стійкість передавача до заниження потужності.	дБ	більшим від мінус 15			більшим від мінус 15		
MLM лазер – максимальна ширина RMS	нм	NA			NA		
SLM лазер – максимальна ширина спектра випромінення на рівні мінус 20 дБ (Зауваження 3)	нм	1			1		
SLM лазер – мінімальний коефіцієнт гасіння бічних мод	дБ	30			30		
ONU приймач (оптичний інтерфейс O_{rd})							
Максимальне відбиття від стиків обладнання, виміряне на робочій довжині хвилі передавача	дБ	меншим від мінус 20			меншим від мінус 20		
BER	–	меншим від 10^{-10}			меншим від 10^{-10}		
ODN клас		A	B	C	A	B	C
Мінімальний рівень чутливості приймача	дБм	мінус 25	мінус 25	мінус 26	мінус 25	мінус 25	мінус 25
Мінімальний рівень перенавантаження приймача	дБм	мінус 4	мінус 4	мінус 4 (Зауваження 4)	мінус 4	мінус 4	мінус 4
Стійкість до послідовності однакових символів	біт	більшим від 72			більшим від 72		
Допустимий рівень вхідного фазового тремтіння	–	Рисунок 5 рекомендації ITU G.984.2			Рисунок 5 рекомендації ITU G.984.2		

Параметри	Одиниці виміру	одноволоконний	двоволоконний
Величина допустимої відбитої оптичної потужності	дБ	меншим від 10	меншим від 10
Зауваження 1 — Значення "Мінімум ORL ODN в точках O_{ru} і O_{rd} і O_{ld} і O_{lu}" повинен бути більшим від 20 дБ у вказаних випадках, котрі описуються в додатку I рекомендації ITU G.983.1. Зауваження 2 — Значення на відбиття передавача ONU для випадків значень "Мінімум ORL ODN в точках O_{ru} і O_{rd} і O_{ld} і O_{lu}" при 20 дБ описуються в додатку II рекомендації ITU G.983.1. Зауваження 3 — Значення ширини спектральної лінії за рівнем мінус 20 дБ, та мінімальний рівень гасіння бічних мод вказані в рекомендації ITU G.957. Зауваження 4 — Поки лише перенавантаження мінус 6 дБм потрібне для підтримки класу C ODN, значення мінус 4 дБм може обиратись тут для приймача ONU одного й того ж для всіх класів ODN. MLM (Multi-Longitudinal Mode) — лазер на багатьох поздовжніх модах SLM (Single-Longitudinal Mode) — лазер на одній поздовжній моді RMS (Root-Mean-Square) — Середньоквадратичне значення NA (Not Applicable) — не застосовується BER (Bit-Error Ratio) — Коефіцієнт помилок за бітами			

Таблиця 2.3.2 згідно з Table 2c/G.984.2 рекомендації ITU G.984.2 Параметри оптичного інтерфейсу 2488 Мбіт/с, низхідний потік.

Параметри	Одиниці виміру	одноволоконний			двоволоконний		
OLT Передавач (оптичні інтерфейси O_{ld})							
Номінальна бітова швидкість	Мбіт/с	2488,32			2488,32		
Робоча довжина хвилі	нм	1480÷1500			1260÷1360		
Лінійний код	–	Скремблірований NRZ			Скремблірований NRZ		
Маска око-діаграми передавача	–	Рисунок 2 рекомендації ITU G.984.2			Рисунок 2 рекомендації ITU G.984.2		
Максимальне відбиття від стиків обладнання, виміряне на робочій довжині хвилі передавача	дБ	NA			NA		
Мінімум ORL ODN в O_{ld} і O_{lu} (Зауваження 1 і 2)	дБ	більшим від 32			більшим від 32		
ODN клас		A	B	C	A	B	C
Мінімальна вихідна потужність	дБм	0	+5	+3 (Зауваження 4)	0	+5	+3 (Зауваження 4)
Максимальна вихідна потужність	дБм	+4	+9	+7 (Зауваження 4)	+4	+9	+7 (Зауваження 4)
Вихідна потужність, що ще не введена в передавач	дБм	NA			NA		
Коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ	більшим від 10			більшим від 10		

Параметри	Одиниці виміру	одноволоконний			двоволоконний		
Стійкість передавача до заниження потужності.	дБ	більшим від мінус 15			більшим від мінус 15		
MLM лазер – максимальна ширина RMS	нм	NA			NA		
SLM лазер – максимальна ширина спектра випромінення на рівні мінус 20 дБ (Зауваження 3)	нм	1			1		
SLM лазер – мінімальний коефіцієнт гасіння бічних мод	дБ	30			30		
ONU приймач (оптичний інтерфейс O_{rd})							
Максимальне відбиття від стиків обладнання, виміряне на робочій довжині хвилі передавача	дБ	меншим від мінус 20			меншим від мінус 20		
BER	–	меншим від 10^{-10}			меншим від 10^{-10}		
ODN клас		A	B	C	A	B	C
Мінімальний рівень чутливості приймача	дБм	мінус 21	мінус 21	–28 (Зауваження 4)	мінус 21	мінус 21	–28 (Зауваження4)
Мінімальний рівень перенавантаження приймача	дБм	мінус 1	мінус 1	мінус 8 (Зауваження 4)	мінус 1	мінус 1	мінус 8 (Зауваження 4)
Стійкість до послідовності однакових символів	біт	більшим від 72			більшим від 72		
Допустимий рівень вхідного фазового тремтіння	–	Рисунок 5 рекомендації ITU G.984.2			Рисунок 5 рекомендації ITU G.984.2		
Величина допустимої відбитої оптичної потужності	дБ	меншим від 10			меншим від 10		

Параметри	Одиниці виміру	одноволоконний	двоволоконний
Зауваження 1 — Значення "Мінімум ORL ODN в точках O_{ru} і O_{rd} і O_{ld} і O_{lu}" повинен бути більшим від 20 дБ у вказаних випадках, котрі описуються в додатку I рекомендації ITU G.983.1. Зауваження 2 — Значення на відбиття передавача ONU для випадків значень "Мінімум ORL ODN в точках O_{ru} і O_{rd} і O_{ld} і O_{lu}" при 20 дБ описуються в додатку II рекомендації ITU G.983.1. Зауваження 3 — Значення ширини спектральної лінії за рівнем мінус 20 дБ, та мінімальний рівень гасіння бічних мод вказані в рекомендації ITU G.957. Зауваження 4 — Ці значення передбачають використання потужного DFB лазеру для передавачів OLT та APD приймачів для ONU. Беручі до уваги майбутні розробки SOA техніки, в майбутньому як альтернатива може бути реалізована структура, що використовує DFB лазер + SOA, або більш високопотужний лазерний діод для передавачів OLT, дозволяючи PIN приймач для ONU. Значення тоді можуть бути прийнятні (умовно до око-діаграми та практики): Максимальний рівень середньої потужності випромінення передавача OLT: +12 дБм Мінімальний рівень середньої потужності випромінення передавача OLT: +8 дБм Мінімальний рівень чутливості приймача ONU: мінус 23 дБм Мінімальний рівень перенавантаження приймача ONU: мінус 3 дБм MLM (Multi-Longitudinal Mode) — лазер на багатьох поздовжніх модах SLM (Single-Longitudinal Mode) — лазер на одній поздовжній моді RMS (Root-Mean-Square) — Середньоквадратичне значення NA (Not Applicable) — не застосовується BER (Bit-Error Ratio) — Коефіцієнт помилок за бітами			

Таблиця 2.3.3 згідно з Table 2d/G.984.2 рекомендації ITU G.984.2 Параметри оптичного інтерфейсу 155 Мбіт/с, висхідний потік.

Параметри	Одиниці виміру	одноволоконний			двоволоконний		
ONU Передавач (оптичні інтерфейси O_{ru})							
Номінальна бітова швидкість	Мбіт/с	155,52			155,52		
Робоча довжина хвилі	нм	1260÷1360			1260÷1360		
Лінійний код	–	Скремблірований NRZ			Скремблірований NRZ		
Маска око-діаграми передавача	–	Рисунок 3 рекомендації ITU G.984.2			Рисунок 3 рекомендації ITU G.984.2		
Максимальне відбиття від стиків обладнання, виміряне на робочій довжині хвилі передавача	дБ	меншим від мінус 6			меншим від мінус 6		
Мінімум ORL ODN в O_{ru} і O_{rd} (Зауваження 1 і 2)	дБ	більшим від 32			більшим від 32		
ODN клас		A	B	C	A	B	C
Мінімальна вихідна потужність	дБм	мінус 6	мінус 4	мінус 2	мінус 6	мінус 4	мінус 2
Максимальна вихідна потужність	дБм	мінус 0	+2	+4	мінус 1	+1	+3
Вихідна потужність, що ще не введена в передавач	дБм	Менше за мінімальну чутливість мінус 10			Менше за мінімальну чутливість мінус 10		

Параметри	Одиниці виміру	одноволоконний			двоволоконний		
Максимально при увімкненому Tx (Зауваження 3)	біти	2			2		
Максимально при вимкненому Tx (Зауваження 3)	біти	2			2		
Коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ	більшим від 10			більшим від 10		
Стійкість передавача до заниження потужності.	дБ	більшим від мінус 15			більшим від мінус 15		
MLM лазер – максимальна ширина RMS	нм	5,8			5,8		
SLM лазер – максимальна ширина спектра випромінення на рівні мінус 20 дБ (Зауваження 4)	нм	1			1		
SLM лазер – мінімальний коефіцієнт гасіння бічних мод	дБ	30			30		
Характеристика перехідного фазового тремтіння	–	Рисунок 4 рекомендації ITU G.984.2			Рисунок 4 рекомендації ITU G.984.2		
Допустиме вихідне фазове тремтіння в діапазоні від 0,5 кГц до 1,3 МГц	UI p-p	0,2			0,2		
OLT приймач (оптичний інтерфейс O_{lu})							
Максимальне відбиття від стиків обладнання, виміряне на робочій довжині хвилі передавача	дБ	меншим від мінус 20			меншим від мінус 20		
BER	–	меншим від 10^{-10}			меншим від 10^{-10}		
ODN клас		A	B	C	A	B	C
Мінімальний рівень чутливості приймача	дБм	мінус 27	мінус 30	мінус 33	мінус 27	мінус 30	мінус 33
Мінімальний рівень перенавантаження приймача	дБм	мінус 5	мінус 8	мінус 11	мінус 6	мінус 9	мінус 12
Стійкість до послідовності однакових символів	біт	більшим від 72			більшим від 72		
Допустимий рівень вхідного фазового тремтіння	–	NA			NA		
Величина допустимої відбитої оптичної потужності	дБ	меншим від 10			меншим від 10		

Параметри	Одиниці виміру	одноволоконний	двоволоконний
Зауваження 1 — Значення "Мінімум ORL ODN в точках O_{ru} і O_{rd} і O_{ld} і O_{lu}" повинен бути більшим від 20 дБ у вказаних випадках, котрі описуються в додатку I рекомендації ITU G.983.1. Зауваження 2 — Значення на відбиття передавача ONU для випадків значень "Мінімум ORL ODN в точках O_{ru} і O_{rd} і O_{ld} і O_{lu} " при 20 дБ описуються в додатку II рекомендації ITU G.983.1. Зауваження 3 — Як визначено у пункті 8.2.6.3.1. рекомендації ITU G.984.2. Зауваження 4 — Значення ширини спектральної лінії за рівнем мінус 20 дБ, та мінімальний рівень гасіння бічних мод вказані в рекомендації ITU G.957. MLM (Multi-Longitudinal Mode) — лазер на багатьох поздовжніх модах SLM (Single-Longitudinal Mode) — лазер на одній поздовжній моді RMS (Root-Mean-Square) — Середньоквадратичне значення NA (Not Applicable) — не застосовується BER (Bit-Error Ratio) — Коефіцієнт помилок за бітами			

Таблиця 2.3.3 згідно з Table 2e/G.984.2 рекомендації ITU G.984.2 Параметри оптичного інтерфейсу 622 Мбіт/с, висхідний потік.

Параметри	Одиниці виміру	одноволоконний			двоволоконний		
ONU Передавач (оптичні інтерфейси O_{ru})							
Номінальна бітова швидкість	Мбіт/с	622,08			622,08		
Робоча довжина хвилі (Зауваження 5)	нм	MLM тип 1 або SLM: 1260~1360 MLM тип 2: 1280~1350 MLM тип 3: 1288~1338			MLM тип 1 або SLM: 1260~1360 MLM тип 2: 1280~1350 MLM тип 3: 1288~1338		
Лінійний код	–	Скремблірований NRZ			Скремблірований NRZ		
Маска око-діаграми передавача	–	Рисунок 3 рекомендації ITU G.984.2			Рисунок 3 рекомендації ITU G.984.2		
Максимальне відбиття від стиків обладнання, виміряне на робочій довжині хвилі передавача	дБ	меншим від мінус 6			меншим від мінус 6		
Мінімум ORL ODN в O_{ru} і O_{rd} (Зауваження 1 і 2)	дБ	більшим від 32			більшим від 32		
ODN клас		A	B	C	A	B	C
Мінімальна вихідна потужність	дБм	мінус 6	мінус 1	мінус 1	мінус 6	мінус 1	мінус 1
Максимальна вихідна потужність	дБм	мінус 1	+4	+4	мінус 1	+4	+4
Вихідна потужність, що ще не введена в передавач	дБм	Менше за мінімальну чутливість мінус 10			Менше за мінімальну чутливість мінус 10		
Максимально при увімкненому Tx (Зауваження 3)	біти	8			8		
Максимально при вимкненому Tx (Зауваження 3)	біти	8			8		

Параметри	Одиниці виміру	одноволоконний			двоволоконний		
Коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ	більшим від 10			більшим від 10		
Стійкість передавача до заниження потужності.	дБ	більшим від мінус 15			більшим від мінус 15		
MLM лазер – максимальна ширина RMS	нм	MLM тип 1: 1,4 MLM тип 2: 2,1 MLM тип 3: 2,7			MLM тип 1: 1,4 MLM тип 2: 2,1 MLM тип 3: 2,7		
SLM лазер – максимальна ширина спектра випромінення на рівні мінус 20 дБ (Зауваження 4)	нм	1			1		
SLM лазер – мінімальний коефіцієнт гасіння бічних мод	дБ	30			30		
Характеристика перехідного фазового тремтіння	–	Рисунок 4 рекомендації ITU G.984.2			Рисунок 4 рекомендації ITU G.984.2		
Допустиме вихідне фазове тремтіння в діапазоні від 2,0 кГц до 5,0 МГц	UI p-p	0,2			0,2		
OLT приймач (оптичний інтерфейс O_{lu})							
Максимальне відбиття від стиків обладнання, виміряне на робочій довжині хвилі передавача	дБ	меншим від мінус 20			меншим від мінус 20		
BER	–	меншим від 10^{-10}			меншим від 10^{-10}		
ODN клас		A	B	C	A	B	C
Мінімальний рівень чутливості приймача	дБм	мінус 27	мінус 27	мінус 32	мінус 27	мінус 27	мінус 32
Мінімальний рівень перенавантаження приймача	дБм	мінус 6	мінус 6	мінус 11	мінус 6	мінус 6	мінус 11
Стійкість до послідовності однакових символів	біт	більшим від 72			більшим від 72		
Допустимий рівень вхідного фазового тремтіння	–	NA			NA		
Величина допустимої відбитої оптичної потужності	дБ	меншим від 10			меншим від 10		

Параметри	Одиниці виміру	одноволоконний	двоволоконний
Зауваження 1 — Значення "Мінімум ORL ODN в точках O_{ru} і O_{rd} і O_{ld} і O_{lu}" повинен бути більшим від 20 дБ у вказаних випадках, котрі описуються в додатку I рекомендації ITU G.983.1. Зауваження 2 — Значення на відбиття передавача ONU для випадків значень "Мінімум ORL ODN в точках O_{ru} і O_{rd} і O_{ld} і O_{lu} " при 20 дБ описуються в додатку II рекомендації ITU G.983.1. Зауваження 3 — Як визначено у пункті 8.2.6.3.1. рекомендації ITU G.984.2. Зауваження 4 — Значення ширини спектральної лінії за рівнем мінус 20 дБ, та мінімальний рівень гасіння бічних мод вказані в рекомендації ITU G.957. Зауваження 5 — Типи передавачів, що використовують більш вузьку ширину спектра імпульсу надають більш широкий діапазон центральних довжин хвиль. Вказані типи лазерів продукують менш ніж 1 дБ штрафу за оптичний шлях по ODN. Лазери з диференційними оптичними параметрами можуть бути замінені за умови, що (1) повний діапазон хвиль не перевищує від 1260 нм до 1360 нм, та (2) будь-яке збільшення в штрафі за оптичний шлях, компенсується збільшенням оптичної потужності, що випромінюється, або зменшенням мінімальної чутливості приймача. Для впевненої взаємодії вказані типи лазерів, з штрафом за оптичний шлях меншим за 1 дБ, рекомендуються. MLM (Multi-Longitudinal Mode) — лазер на багатьох поздовжніх модах SLM (Single-Longitudinal Mode) — лазер на одній поздовжній моді RMS (Root-Mean-Square) — Середньоквадратичне значення NA (Not Applicable) — не застосовується BER (Bit-Error Ratio) — Коефіцієнт помилок за бітами			

Таблиця 2.3.4 згідно з Table 2f-1/G.984.2 рекомендації ITU G.984.2 Параметри оптичного інтерфейсу 1244 Мбіт/с, висхідний потік.

Параметри	Одиниці виміру	одноволоконний			двоволоконний		
ONU Передавач (оптичні інтерфейси O_{ru})							
Номінальна бітова швидкість	Мбіт/с	1244,16			1244,16		
Робоча довжина хвилі	нм	1260÷1360			1260-1360		
Лінійний код	–	Скремблірований NRZ			Скремблірований NRZ		
Маска око-діаграми передавача	–	Рисунок 3 рекомендації ITU G.984.2			Рисунок 3 рекомендації ITU G.984.2		
Максимальне відбиття від стиків обладнання, виміряне на робочій довжині хвилі передавача	дБ	меншим від мінус 6			меншим від мінус 6		
Мінімум ORL ODN в O_{ru} і O_{rd} (Зауваження 1 і 2)	дБ	більшим від 32			більшим від 32		
ODN клас		A	B	C	A	B	C
Мінімальна вихідна потужність	дБм	мінус 3 (Зауваження 5)	мінус 2	+2	мінус 3 (Зауваження 5)	мінус 2	+2
Максимальна вихідна потужність	дБм	+2 (Зауваження 5)	+3	+7	+2 (Зауваження 5)	+3	+7

Параметри	Одиниці виміру	одноволоконний			двоволоконний		
Вихідна потужність, що ще не введена в передавач	дБм	Менше за мінімальну чутливість мінус 10			Менше за мінімальну чутливість мінус 10		
Максимально при увімкненому Tx (Зауваження 3)	біти	16			16		
Максимально при вимкненому Tx (Зауваження 3)	біти	16			16		
Коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ	більшим від 10			більшим від 10		
Стійкість передавача до заниження потужності.	дБ	більшим від мінус 15			більшим від мінус 15		
MLM лазер – максимальна ширина RMS	нм	(Зауваження 5)			(Зауваження 5)		
SLM лазер – максимальна ширина спектра випромінення на рівні мінус 20 дБ (Зауваження 4)	нм	1			1		
SLM лазер – мінімальний коефіцієнт гасіння бічних мод	дБ	30			30		
Характеристика перехідного фазового тремтіння	–	Рисунок 4 рекомендації ITU G.984.2			Рисунок 4 рекомендації ITU G.984.2		
Допустиме вихідне фазове тремтіння в діапазоні від 4,0 кГц до 10,0 МГц	UI p-p	0,33			0,33		
OLT приймач (оптичний інтерфейс O_{lu})							
Максимальне відбиття від стиків обладнання, виміряне на робочій довжині хвилі передавача	дБ	Меншим від мінус 20			Меншим від мінус 20		
BER	–	Меншим від 10^{-10}			Меншим від 10^{-10}		
ODN клас		A	B	C	A	B	C
Мінімальний рівень чутливості приймача	дБм	мінус 24 (Зауваження 6)	мінус 28	мінус 29	мінус 24 (Зауваження 6	мінус 28	мінус 29
Мінімальний рівень перенавантаження приймача	дБм	мінус 3 (Зауваження 6	мінус 7	мінус 8	мінус 3 (Зауваження 6	мінус 7	мінус 8
Стійкість до послідовності однакових символів	біт	більшим від 72			більшим від 72		
Допустимий рівень вхідного фазового тремтіння	–	NA			NA		
Величина допустимої відбитої оптичної потужності	дБ	меншим від 10			меншим від 10		

Параметри	Одиниці виміру	одноволоконний	двоволоконний
Зауваження 1 — Значення "Мінімум ORL ODN в точках O_{ru} і O_{rd} і O_{ld} і O_{lu}" повинен бути більшим від 20 дБ у вказаних випадках, котрі описуються в додатку I рекомендації ITU G.983.1. Зауваження 2 — Значення на відбиття передавача ONU для випадків значень "Мінімум ORL ODN в точках O_{ru} і O_{rd} і O_{ld} і O_{lu} " при 20 дБ описуються в додатку II рекомендації ITU G.983.1. Зауваження 3 — Як визначено у пункті 8.2.6.3.1. рекомендації ITU G.984.2. рекомендації ITU G.983.1. Зауваження 4 — Значення максимуму ширини спектральної лінії на рівні мінус 20 дБ та мінімальний коефіцієнт гасіння бічних мод наведені в рекомендації ITU G.957. Зауваження 5 — Поки типи MLM лазерів не можуть бути застосовані для підтримки всієї довжини оптичного волокна ODN вказаної в таблиці 2a рекомендації ITU G.984.2, такі типи лазерів можуть бути застосовані коли максимальна протяжність волокна ODN точками R/S і S/R не перевищує 10 км. Типи MLM лазерів таблиці 2e рекомендації ITU G.984.2 можуть бути застосовані для підтримання за такого обмеження протяжності волокна на швидкості 1244.16 Мбіт/с. Такі типи лазерів підпадають під зауваження 5 таблиці 2e рекомендації ITU G.984.2. Зауваження 6 — Ці значення передбачають використання PIN приймачів в OLT для класу A. В залежності від кількості оптичних модулів (ONU) з'єднаних з одним OLT, як альтернатива, з точки зору заощадження коштів може бути використана реалізація концепції використання APD приймачів для OLT, з нижчим рівнем оптичного випромінювання в оптичних модулях (ONU). В такому випадку значення для класу A будуть: Мінімальний рівень середньої потужності випромінення передавача ONU: мінус 7 дБм Масимальний рівень середньої потужності випромінення передавача ONU: мінус 2 дБм Мінімальний рівень чутливості приймача OLT: мінус 28 дБм Мінімальний рівень перенавантаження приймача OLT: мінус 7 дБм MLM (Multi-Longitudinal Mode) — лазер на багатьох поздовжніх модах SLM (Single-Longitudinal Mode) — лазер на одній поздовжній моді RMS (Root-Mean-Square) — Середньоквадратичне значення NA (Not Applicable) — не застосовується BER (Bit-Error Ratio) — Коефіцієнт помилок за бітами			

Таблиця 2.3.5 згідно з Table 2f-2/G.984.2 рекомендації ITU G.984.2 Параметри оптичного інтерфейсу висхідного потоку 1244 Мбіт/с, що використовує механізм регулювання потужності в передавачі. ONU.

Параметри	Одиниці виміру	одноволоконний			двоволоконний		
ONU Передавач (оптичні інтерфейси O_{ru})							
ODN клас		A	B	C	A	B	C
Мінімальна вихідна потужність	дБм	мінус 2 (Зауваження 2)	мінус 2	+2	мінус 2 (Зауваження 2)	мінус 2	+2
Максимальна вихідна потужність	дБм	+3 (Зауваження 2)	+3	+7	+3 (Зауваження 2)	+3	+7

Параметри	Одиниці виміру	одноволоконний			двоволоконний		
OLT приймач (оптичний інтерфейс O_{lu})							
ODN клас		A	B	C	A	B	C
Мінімальний рівень чутливості приймача	дБм	мінус 23 (Зауваження 2)	мінус 28	мінус 29	мінус 23 (Зауваження 2)	мінус 28	мінус 29
Мінімальний рівень перенавантаження приймача	дБм	мінус 8 (Зауваження 2)	мінус 13	мінус 14	мінус 8 (Зауваження 2)	мінус 13	мінус 14
Зауваження 1 — Ця таблиця лише вказує параметри таблиці 2f-1 рекомендації ITU G.984.2 котрі в результаті змінюють параметри за механізмом вирівнювання потужності в передавачі ONU, а саме початкові рівні потужності передавача ONU і чутливості та перенавантаження приймача OLT. Всі інші параметри та зауваження ідентичні з аналогічними в таблиці 2f-1 рекомендації ITU G.984.2.. Зауваження 2 — Ці значення передбачають використання PIN приймача для OLT класу A. В залежності від кількості оптичних модулів (ONU) з'єднаних з одним OLT, як альтернатива, з точки зору заощадження коштів може бути використана реалізація концепції використання APD приймачів для OLT, з нижчим рівнем оптичного випромінювання в оптичних модулях (ONU). В такому випадку значення для класу A були б: Мінімальний рівень середньої потужності випромінення передавача ONU: мінус 7 дБм Масимальний рівень середньої потужності випромінення передавача ONU: мінус 2 дБм Мінімальний рівень чутливості приймача OLT: мінус 28 дБм Мінімальний рівень перенавантаження приймача OLT: мінус 10 дБм Рівень потужності імпульсу менше, в наслідок обмеження на мінімальну потужність, що випромінюється для гарантування параметрів око-діаграми.							

Таблиця 2.3.6 згідно з Table 2g--1/G.984.2 рекомендації ITU G.984.2 Параметри оптичного інтерфейсу 2488 Мбіт/с, висхідний потік.

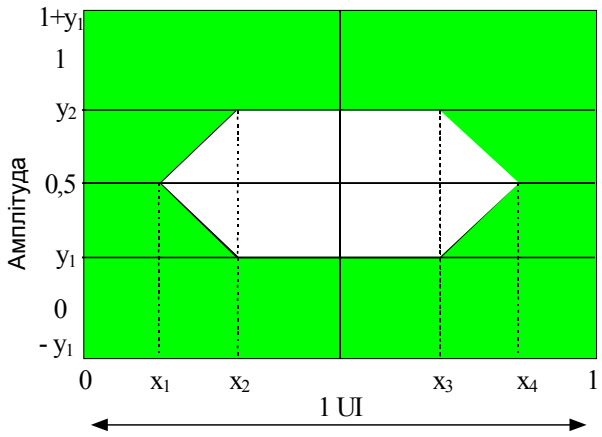
Параметри	Одиниці виміру	одноволоконний			двоволоконний		
ONU Передавач (оптичні інтерфейси O_{ru})							
Номінальна бітова швидкість	Мбіт/с	2488,32			2488,32		
Робоча довжина хвилі	нм	1260÷1360			1260÷1360		
Лінійний код	–	Скремблірований NRZ			Скремблірований NRZ		
Маска око-діаграми передавача	–	Рисунок 3 рекомендації ITU G.984.2			Рисунок 3 рекомендації ITU G.984.2		
Максимальне відбиття від стиків обладнання, виміряне на робочій довжині хвилі передавача	дБ	FFS			FFS		
Мінімум ORL ODN в O_{ru} і O_{rd}	дБ	FFS			FFS		
ODN клас		A	B	C	A	B	C
Мінімальна вихідна потужність	дБм	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS
Максимальна вихідна потужність	дБм	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS

Параметри	Одиниці виміру	одноволоконний			двоволоконний		
Вихідна потужність, що ще не введена в передавач	дБм	FFS			FFS		
Максимально при увімкненому Tx (Зауваження 1)	біти	32			32		
Максимально при вимкненому Tx (Зауваження 1)	біти	32			32		
Коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ	FFS			FFS		
Стійкість передавача до заниження потужності.	дБ	FFS			FFS		
MLM лазер – максимальна ширина RMS	нм	FFS			FFS		
SLM лазер – максимальна ширина спектра випромінення на рівні мінус 20 дБ	нм	FFS			FFS		
SLM лазер – мінімальний коефіцієнт гасіння бічних мод	дБ	FFS			FFS		
Характеристика перехідного фазового тремтіння	–	Рисунок 4 рекомендації ITU G.984.2			Рисунок 4 рекомендації ITU G.984.2		
Допустиме вихідне фазове тремтіння в діапазоні FFS	UI p-p	FFS			FFS		
OLT приймач (оптичний інтерфейс O_{lu})							
Максимальне відбиття від стиків обладнання, виміряне на робочій довжині хвилі передавача	дБ	FFS			FFS		
BER	–	FFS			FFS		
ODN клас		A	B	C	A	B	C
Мінімальний рівень чутливості приймача	дБм	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS
Мінімальний рівень перенавантаження приймача	дБм	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS
Стійкість до послідовності однакових символів	біт	FFS			FFS		
Допустимий рівень вхідного фазового тремтіння	–	FFS			FFS		
Величина допустимої відбитої оптичної потужності	дБ	FFS			FFS		
Зауваження 3 — Як визначено у пункті 8.2.6.3.1. рекомендації ITU G.984.2. MLM (Multi-Longitudinal Mode) — лазер на багатьох поздовжніх модах SLM (Single-Longitudinal Mode) — лазер на одній поздовжній моді RMS (Root-Mean-Square) — Середньоквадратичне значення FFS (For Further Study) — Для подальшого вивчення BER (Bit-Error Ratio) — Коефіцієнт помилок за бітами							

Таблиця 2.3.7 згідно з Table 2g -2/G.984.2 рекомендації ITU G.984.2 Параметри оптичного інтерфейсу висхідного потоку 2488 Мбіт/с, що використовує механізм регулювання потужності в передавачі. ONU.

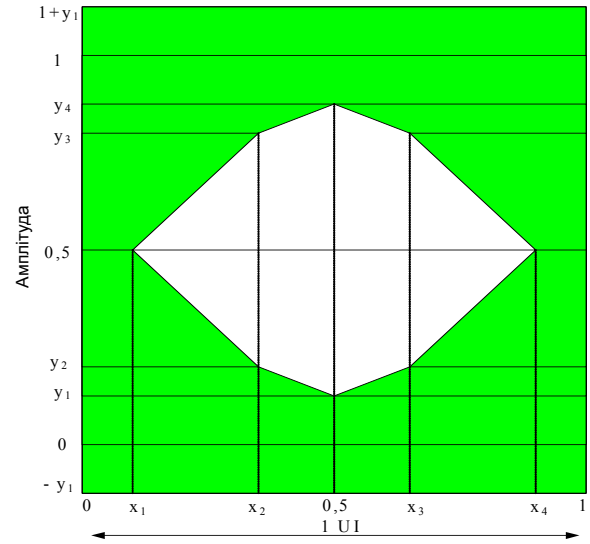
Параметри	**Одиниці виміру**	**одноволоконний**			**двоволоконний**		
ONU Передавач (оптичні інтерфейси O_{ru})							
ODN клас		A	B	C	A	B	C
Мінімальна вихідна потужність	дБм	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS
Максимальна вихідна потужність	дБм	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS
OLT приймач (оптичний інтерфейс O_{lu})							
ODN клас		A	B	C	A	B	C
Мінімальний рівень чутливості приймача	дБм	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS
Мінімальний рівень перенавантаження приймача	дБм	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS
Зауваження — Ця таблиця лише вказує параметри таблиці 2g-1 рекомендації ITU G.984.2 котрі в результаті змінюють параметри за механізмом вирівнювання потужності в передавачі ONU, а саме початкові рівні потужності передавача ONU і чутливості та перенавантаження приймача OLT. Всі інші параметри та зауваження ідентичні з аналогічними в таблиці 2g-1 рекомендації ITU G.984.2. FFS (For Further Study) — Для подальшого вивчення							

Око-діаграма (форма імпульсу) сигналу визначається наступним чином:



	1244,16 Мбіт/с	2488,32 Мбіт/с
X_1/X_4	0,28/0,72	–
X_2/X_3	0,40/0,60	–
$X_3–X_2$	–	0,2
Y_1/Y_2	0,20/0,80	0,25/0,75

Рисунок 2.9 Око-діаграма для низхідного потоку (відповідно до рекомендації ITU рис. 2/G.984.2)



	155,52 Мбіт/с	622,08 Мбіт/с	1244,16 Мбіт/с	2488,32 Мбіт/с
X_1/X_4	0,10/0,90	0,20/0,80	0,22/0,78	вивчається
X_2/X_3	0,35/0,65	0,40/0,60	0,40/0,60	вивчається
Y_1/Y_4	0,13/0,87	0,15/0,85	0,17/0,83	вивчається
Y_2/Y_3	0,20/0,80	0,20/0,80	0,20/0,80	вивчається

Рисунок 2.10 Око-діаграма для висхідного потоку (відповідно до рекомендації ITU рис. 3/G.984.2)

Параметри тремтіння фази для оптичного мережного модуля (блоку) є такими:

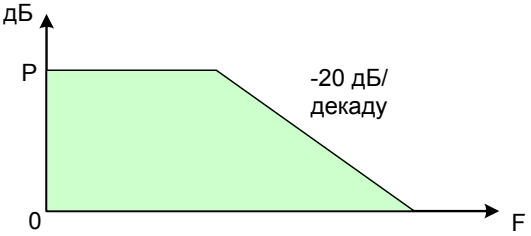
Характеристика передавання фазового тремтіння (Jitter transfer)

Параметр відображає вплив обладнання на величину спектральних складових фазового тремтіння, отриманого на вхідному інтерфейсі.

Перевіряють вкладення показників у встановлений шаблон згідно з рекомендацією ITU G.984.2.

$$jitter\ transfer = 20\log_{10}\left[\frac{jitter\ on\ upstream\ signal\ UI}{jitter\ on\ downstream\ signal\ UI}\times\frac{downstream\ bit\ rate}{upstream\ bit\ rate}\right]$$

В таблиці наведені дані для низхідного потоку



	F, кГц	P, дБ
1244,16	1000	0,1
2488,32	2000	0,1

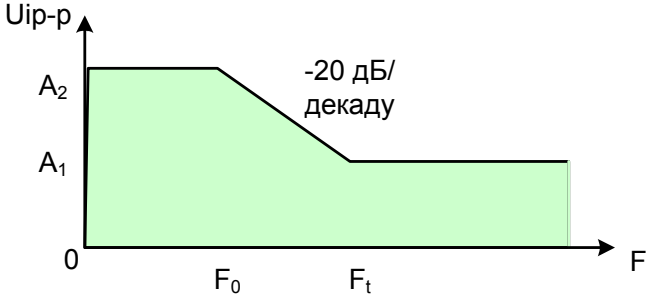
Рисунок 2.11 Характеристика передавання фазового тремтіння (відповідно до рекомендації ITU рис. 4/G.984.2)

Максимальне вхідне фазове тремтіння (Jitter toleranc)

Параметр визначає максимальне фазове тремтіння на вході обладнання за якого якість передачі та параметри вхідного сигналу не виходять за вказані робочі діапазони. Параметр вказує на здатність обладнання відновлювати часові характеристики параметрів сигналу за наявності швидких фазових зсувів на вході інтерфейсу. Параметр характеризує роботу системи синхронізації та прийому.

Оцінюється максимальне фазове тремтіння на вході обладнання.

В таблиці наведені дані для низхідного потоку



	F_t, кГц	F_0, кГц	A_1, Uip-p	A_2, Uip-p
1244,16	500	50	0,075	0,75
2488,32	100	100	0,075	0,75

Рисунок 2.12 Характеристика максимального вхідного фазового тремтіння (відповідно до рекомендації ITU рис. 5/G.984.2)

Максимальне фазове тремтіння на виході (Jitter generation).

Параметр вказує на здатність обладнання формувати вихідний цифровий потік з визначеними параметрами, без дії на нього вхідного фазового тремтіння. Характеризує величину фазового тремтіння, котру вноситиме дане обладнання в тракт передачі.

Оцінюється максимальне фазове тремтіння на виході обладнання, за відсутності фазового тремтіння на вході, – для оцінки того, яке фазове тремтіння буде вноситись даним обладнанням. Перевіряють вкладення показників у встановлений шаблон.

Відповідно до рекомендації ITU G.984.2 величина максимального фазового тремтіння на виході оптичного мережного модуля не повинна перевищувати 0,2 Uip-p для висхідного потоку 155,52 Мбт/с та 622,08 Мбт/с та 0,33 Uip-p 1244,16 Мбт/с, за відсутності фазового тремтіння на вході низхідного інформаційного потоку, в діапазоні, наведеному в таблицях показаних вище, величина максимального фазового тремтіння на виході оптичного мережного модуля для висхідного потоку 2488,32 Мбт/с знаходиться в стадії вивчення.

§2.4 EPON

EPON (Ethernet PON) — визначається стандартом IEEE 802.3ah для систем зі швидкістю передавання інформації до 1 Гбіт/с, а також рекомендацією ITU G.985 для систем зі швидкістю передавання інформації 100 Мбіт/с організованих за принципом точка-точка.

В якості транспортного протоколу використовується технологія Ethernet. Низхідний потік передається зі швидкістю 1 Гбіт/с на довжині хвилі 1550 або1490 нм, висхідний потік передається зі швидкістю 1 Гбіт/с на довжині хвилі 1310 нм (допускається передавання низхідного та висхідного потоків на довжині хвилі 1310 нм)

Технологію EPON інколи називають також GEPON (оскільки швидкість передавання інформації становить 1 Гбіт/с)

Для уникнення колізій в стандарті IEEE 802.3ah використовується протокол керування з множинним доступом MPCP (multi-point control protocol), котрий використовує два типи команд: кадри GATE та REPORT, цей протокол забезпечує встановлення єдиного часу на годинниках OLT та всіх ONT (передаючі часові мітки в команда GATE, що визначає час в котрий даний вузол ONT повинен почати передавання та тривалість передавання інформації..

Команди GATE посилаються в низхідному потоці до всіх ONT (котрі за цією командою визначають час початку та тривалості передавання), у відповідь користувачі посилають команду повідомлення REPORT.

Часові мітки в команді GATE дають можливість звіряти ONT свій годинник з часовою міткою команди, що дає змогу визначити вірність синхронізації ONT та OLT. Якщо розходження перевищує встановлену межу, то ONT перейде в режим ініціалізації.

Оскільки технологія EPON на відміну від технології APON, BPON, GPON не містить можливості фрагментації кадрів, то якщо наступний, в буфері, кадр не вміщується у відведений проміжок часу для передавання, то кадр буде очікувати наступного часового інтервалу для відправлення.

Для пошуку та ліквідації помилок використовується службове повідомлення OAM (Operation, Administration & Maintenance).

Всі ці команди передаються в загальному інформаційному потоці разом з інформаційними повідомленнями.

Тривалість передавання кадру GATE (з преамбулою), 72 байта, становить ,6 мкс. Максимальна тривалість передавання кадру Ethernet (з преамбулою), 1526 байтів, становить 12 мкс. Тривалість RTT (на 20 км) становить 200 мкс.

Формат кадру Ethernet в технології EPON такий самий як в технології Ethernet стандарту IEEE 802.3, але поле “ПРЕАМБУЛА” містить кілька нових службових частин:

- SOP (start of packet) – 1 байт, вказує на початок кадру
- Резервна частина – 4 байта
- LLID (Logical link identificstor) – 2 байта, вказує індивідуальний ідентифікатор вузла EPON. Перший біт вказує на режим мовлення кадру “точка-точка” або “точка-мультиточка”. Інші 15 біт містять адресу вузла EPON.
- CRC (crcle redundacy check) – 1 байт, контрольна сума за преамбулою

Наведемо основні типи інтерфейсів Ethernet, котрі регламентовані для мереж доступу та EPON, згідно зі стандартом IEEE 802.3ah.

2BASE-TL

Швидкість передавання інформації: від 0,5 Мбіт/с до 5,5 Мбіт/с

Середовище розповсюдження сигналу: одна або більше пар мідного симетричного кабелю

Робоча відстань: до 2,7 км

Тип кодування: 64/65 октетне формування пакету.

Нормальний режим роботи при коефіцієнті BER 10^{-7} та запасом завадостійкості 5дБ.

10PASS-TS

Швидкість передавання інформації: від 2,5 Мбіт/с до 100 Мбіт/с

Середовище розповсюдження сигналу: одна або більше пар мідного симетричного кабелю

Робоча відстань: до 0,75 км

Тип кодування: 64/65 октетне формування пакету.

Нормальний режим роботи при коефіцієнті BER 10^{-7} та запасом завадостійкості 6дБ.

100BASE-LX10

Швидкість передавання інформації: 100 Мбіт/с

Середовище розповсюдження сигналу: два одномодових оптичних волокна специфікації B.1.1 та B.1.3 (як визначено у стандарті IEC 60793-2).

Номінальна довжина робочої хвилі низхідного та висхідного потоку 1310 нм.

Робоча відстань: 0,5 м до 10 км.

Тип кодування: 4B/5B.

Максимальна величина внесених втрат каналу для номінальної довжини хвилі 6дБ

100BASE-BX10

Швидкість передавання інформації: 100 Мбіт/с

Середовище розповсюдження сигналу: одномодове оптичне волокно специфікації B.1.1 та B.1.3 (як визначено у стандарті IEC 60793-2).

Номінальна довжина робочої хвилі низхідного потоку 1510 нм, висхідного потоку 1310 нм.

Робоча відстань: 0,5 м до 10 км.

Тип кодування: 4B/5B.

Максимальна величина внесених втрат каналу для номінальної довжини хвилі 5,5дБ для низхідного потоку та 6 дБ для висхідного потоку

1000BASE-LX10

Швидкість передавання інформації: 1000 Мбіт/с

Середовище розповсюдження сигналу: два одномодових оптичних волокна специфікації B.1.1 та B.1.3 (як визначено у стандарті IEC 60793-2), або багатомодове оптичне волокно з зовнішнім діаметром 50 та 62,5 мкм.

Номінальна довжина робочої хвилі низхідного та висхідного потоку 1310 нм.

Робоча відстань: 0,5 м до 10 км для одномодового волокна та від 0,5 до 550 м для багатомодового волокна.

Тип кодування: 8B/10B.

Максимальна величина внесених втрат каналу для номінальної довжини хвилі 6дБ для одномодового волокна та 2,4 дБ для багатомодового волокна.

1000BASE-BX10

Швидкість передавання інформації: 1000 Мбіт/с

Середовище розповсюдження сигналу: одномодове оптичне волокно специфікації B.1.1 та B.1.3 (як визначено у стандарті IEC 60793-2).

Номінальна довжина робочої хвилі низхідного потоку 1490 нм, висхідного потоку 1310 нм.

Робоча відстань: 0,5 м до 10 км.

Тип кодування: 8B/10B.

Максимальна величина внесених втрат каналу для номінальної довжини хвилі 5,5дБ для низхідного потоку та 6 дБ для висхідного потоку

1000BASE-PX10

Швидкість передавання інформації: 1000 Мбіт/с

Середовище розповсюдження сигналу: одномодове оптичне волокно специфікації B.1.1 та B.1.3 (як визначено у стандарті IEC 60793-2).

Номінальна довжина робочої хвилі низхідного потоку 1490 нм, висхідного потоку 1310 нм.

Робоча відстань: 0,5 м до 10 км.

Тип кодування: 8B/10B.

Максимальна величина внесених втрат каналу для номінальної довжини хвилі 20дБ для низхідного потоку та 19,5дБ для висхідного потоку

Мінімальна величина внесених втрат каналу 5дБ.

1000BASE-PX20

Швидкість передавання інформації: 1000 Мбіт/с

Середовище розповсюдження сигналу: одномодове оптичне волокно специфікації B.1.1 та B.1.3 (як визначено у стандарті IEC 60793-2).

Номінальна довжина робочої хвилі низхідного потоку 1490 нм, висхідного потоку 1310 нм.

Робоча відстань: 0,5 м до 20 км

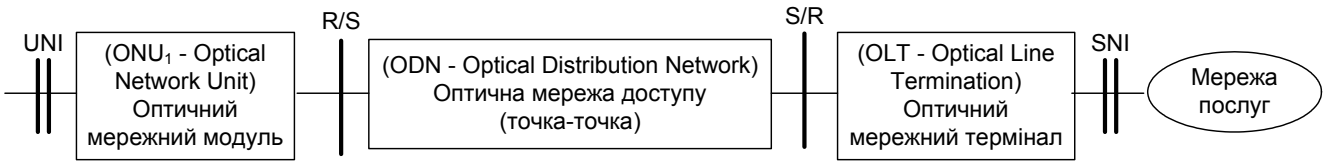
Тип кодування:

Максимальна величина внесених втрат каналу для номінальної довжини хвилі 24дБ для низхідного потоку та 23,5дБ для висхідного потоку

Мінімальна величина внесених втрат каналу 10дБ.

В кінці шифру інтерфейсу може також стояти буква D або O (що вказує на низхідний потік) та U або R (що вказує на висхідний потік).

Згідно рекомендації ITU G.985 параметри 100 Мбіт/с інтерфейсів побудованих за топологією точка-точка для відповідних класів оптичних трактів наведені нижче.



R/S; S/R — Контрольні точки
UNI — (User Network Interface) мережний інтерфейс користувача
SNI — (Service Network Interface) мережний інтерфейс послуг
Рисунок 2.13 Контрольні точки 100 Мбіт/с інтерфейсів побудованих за топологією точка-точка згідно рекомендації ITU G.985

Класи за втратами для оптичного тракту:

	Клас S	**Клас A**	**Клас B**
Мінімальні втрати	0 дБ	Для подальшого вивчення	Для подальшого вивчення
Максимальні втрати	15 дБ	Для подальшого вивчення	Для подальшого вивчення

Класи A та B під вивченням в майбутньому. Клас A для передавання на відстань до 20 км і клас B для передавання на відстань до 30 км.

Таблиця 2.4.1 Параметри фізичного рівня для ONT відповідно до Table 2/G.985 рекомендації ITU G.985.

Параметри	**Одиниці виміру**	**Специфікація**		
ODN клас		Клас S	Клас A	Клас B
Номінальна бітова швидкість	Мбіт/с	125		
Робоча довжина хвилі передавача	нм	1260÷1360		
Робоча довжина хвилі приймача	нм	1480÷1580		
Лінійний код	–	NRZI і блочний код 4B5B		
Спектральні характеристики			FFS	FFS
MLM лазер – максимальна ширина RMS	нм	7,7		
SLM лазер – максимальна ширина спектра випромінення на рівні мінус 20 дБ	нм	FFS		
SLM лазер – мінімальний коефіцієнт гасіння бічних мод	дБ	FFS		
Максимальний рівень початкової потужності	дБм	мінус 8		
Мінімальний рівень початкової потужності	дБм	мінус 14		
Мінімальний рівень перенавантаження	дБм	мінус 8		
Мінімальний рівень чутливості	дБм	мінус 30		
Штраф за оптичний шлях	дБ	1		
Коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ	Більшим від 8,2		
Маска око-діаграми передавача		Відповідає ITU рекомендаціїG.957, STM-1		

Параметри	Одиниці виміру	Специфікація		
S/X			FFS	FFS
Умови виникнення обернених оптичних втрат	дБ	Більшим від 14		
BER		Меншим від 10^{-10}		
Обернені оптичні втрати інтерфейсу	дБ	Більшим від 14		
MLM (Multi-Longitudinal Mode) — лазер на багатьох поздовжніх модах SLM (Single-Longitudinal Mode) — лазер на одній поздовжній моді RMS (Root-Mean-Square) — Середньоквадратичне значення FFS (For Further Study) — Для подальшого вивчення BER (Bit-Error Ratio) — Коефіцієнт помилок за бітами				

Таблиця 2.4.2 Параметри фізичного рівня для OLT відповідно до Table 3/G.985 рекомендації ITU G.985.

Параметри	Одиниці виміру	Специфікація		
ODN клас		Клас S	Клас A	Клас B
Номінальна бітова швидкість	Мбіт/с	125		
Робоча довжина хвилі передавача	нм	1480÷1580		
Робоча довжина хвилі приймача	нм	1260÷1360		
Лінійний код	–	NRZI і блочний код 4B5B		
Спектральні характеристики			FFS	FFS
MLM лазер – максимальна ширина RMS	нм	6		
SLM лазер – максимальна ширина спектра випромінення на рівні мінус 20 дБ	нм	FFS		
SLM лазер – мінімальний коефіцієнт гасіння бічних мод	дБ	FFS		
Максимальний рівень початкової потужності	дБм	мінус 8		
Мінімальний рівень початкової потужності	дБм	мінус 14		
Мінімальний рівень перенавантаження	дБм	мінус 8		
Мінімальний рівень чутливості	дБм	мінус 30		
Штраф за оптичний шлях	дБ	1		
Коефіцієнт гасіння джерела випромінення	дБ	Більшим від 8,2		
Маска око-діаграми передавача		Відповідає ITU рекомендаціїG.957, STM-1		
S/X			FFS	FFS
Умови виникнення обернених оптичних втрат	дБ	Більшим від 14		
BER		Меншим від 10^{-10}		
Обернені оптичні втрати інтерфейсу	дБ	Більшим від 14		

MLM (Multi-Longitudinal Mode) — лазер на багатьох поздовжніх модах
SLM (Single-Longitudinal Mode) — лазер на одній поздовжній моді
RMS (Root-Mean-Square) — Середньоквадратичне значення
FFS (For Further Study) — Для подальшого вивчення
BER (Bit-Error Ratio) — Коефіцієнт помилок за бітами

Маска форми імпульсу в контрольних точках відповідає ITU рекомендаціїG.957, STM-1. Фільтр Бесселя-Томпсона четвертого та п'ятого порядку може використовуватись з частотою зрізу 155,52 МГц▪ 0,75

Тремтіння фази — часові спотворення оптичного сигналу, що відбуваються внаслідок процесів електрооптичного перетворення в передавачі або внаслідок ефектів оптичного шляху.

§2.5 Порівняльний аналіз технологій PON

Характеристики	APON (BPON)	EPON	GPON
Стандарт	ITU-T G.983.x	IEEE 802.3ah ITU G.985	ITU-T G.984.x
Швидкість передавання, прямий/зворотній потік, Мбіт/с	155/155; 622/155; 622/622; для BPON також: (1244/155; 1244/622)	1000/1000	1244/155,622,1244 2488/622,1244,2488
Базовий протокол	ATM	Ethernet	SDH
Лінійний код	NRZ	8B/10B	NRZ
Максимальний радіус мережі, км	20	20	20
Максимальна кількість абонентських вузлів на волокно	32	16	до 128
Застосування	Будь-які	IP, данні	Будь-які
Корекція помилок FEC	передбачена	немає	необхідна
Довжина хвилі низхідного/висхідного потоків, нм	1550/1310 (1480/1310)	1550/1310 (1310/13103)	1550/1310 (1480/1310)
Динамічний розподіл смуги	є	можливий	є
IP-фрагментація	є	немає	є
Захист даних	шифрування відкритими ключами	немає	шифрування відкритими ключами
Резервування	є	немає	є
Оцінка підтримки мовних застосувань та QoS	висока	низька	висока

В мережах EPON передається більше службової інформації (оскільки відсутня фрагментація пакетів), але на відміну від GPON технології відсутня необхідність перегрупування пакетів Ethernet спрощує формування транспортного пакету та мережне керування.

В технології EPON відсутній механізм підтримки TDM-трафіку, тому потрібне додаткове апаратне та програмне забезпечення.

Системи GPON синхронні, що дає змогу підтримувати TDM-трафік, що наявний у SDH та PDH.

Оскільки вартість обладнання, мереж APON та BPON, що реалізує технологію ATM істотно більша, а швидкість обміну інформацією нижча ніж у EPON та GPON, скоріш за все саме ці останні технології будуть розвиватись на мережах доступу України більш динамічно.

Розділ 3 Методи прокладки волокна та оптоволоконних кабелів на оптичних мережах доступу

§3.1 Прокладання кабелю в колодцях кабельної каналізації

В колодцях кабельної каналізації кабель прокладається в спеціальних каналах виготовлених з азбоцементних, поліетиленових х або сталевих труб Ø 100 мм. Можливе також прокладання поліетиленової трубки, з подальшим пневмопрокладанням в неї кабелю.

До початку робіт необхідно здійснити огляд кабельної мереж для визначення оптимальних місць з'єднань будівельних довжин.

Перед початком робіт по прокладання кабелю в кабельній каналізації потрібно провітрити колодець для уникнення отруєння працівників газами, що можуть накопичуватись закритих оглядових пристроях міської кабельної каналізації..

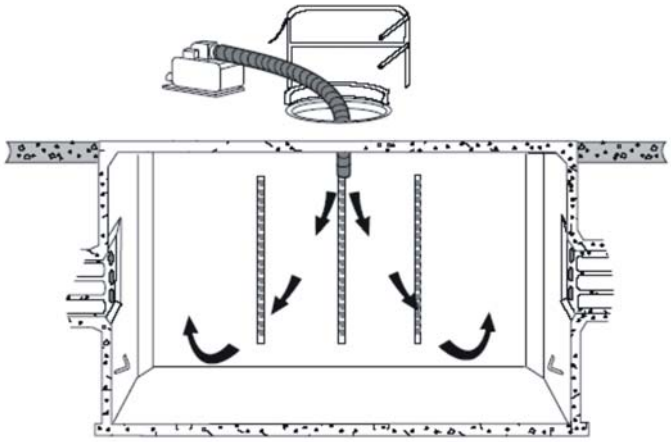


Рисунок 3.1 Вентиляція кабельного колодця.

В місцях згинів та вигинів може виникнути додаткове натяжіння кабелю. Для зменшення натягу рекомендується, де можливо, прокладати кабель від колодців, що розташовані вище за рівнем, до колодців що розташовані за рівнем нижче.

Для зменшення натягу на згинах та вигинах, якщо це можливо, краще починати затягування кабелю ближче до цих місць. На довгих за протяжністю ділянках можна встановлювати додаткові допоміжні протяжні механізми (як показано на рисунку 3.2).

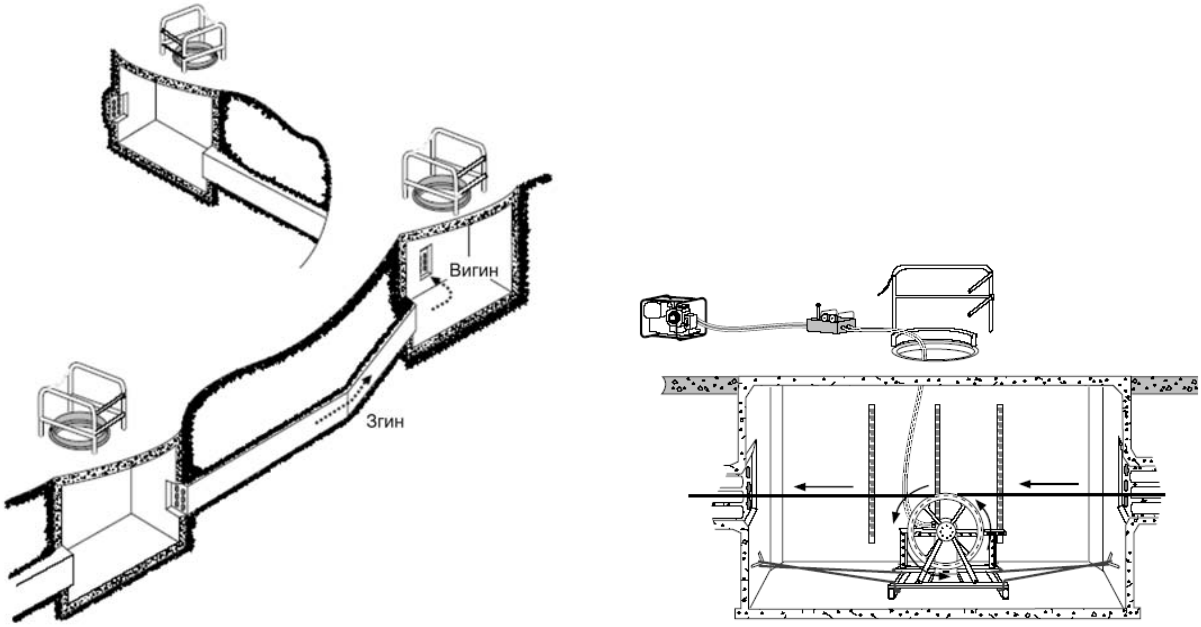


Рисунок 3.2 Приклади виникнення додаткового навантаження на кабель та методи його зменшення.

Для додаткового зменшення натяжіння кабелю, перед прокладанням його розмотують та укладають “вісімкою” як показано на рисунку 3.3:

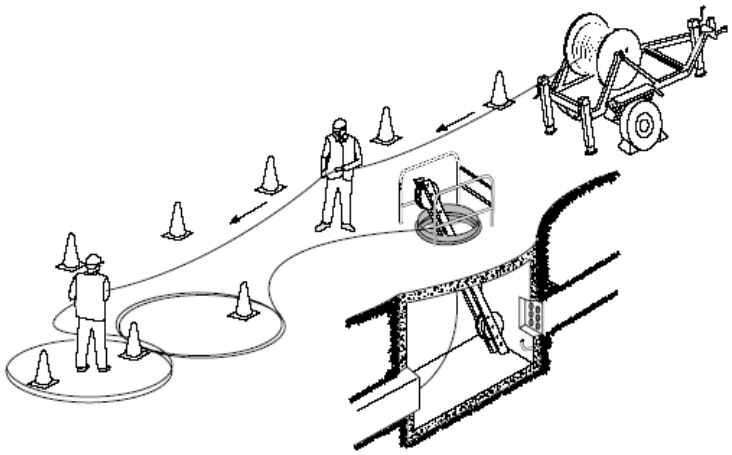


Рисунок 3.3 Розмотування кабелю “вісімкою” перед укладанням в канали кабельної каналізації.

Після зрощення відрізків кабелю та завершення прокладання кабель кріпиться до стінок кабельного колодця, в місцях зрощень відрізків кабелю встановлюються муфти, котрі разом з залишковою довжиною кабелю також кріпляться до стінок кабельного колодця., як показано на рисунку 3.4:

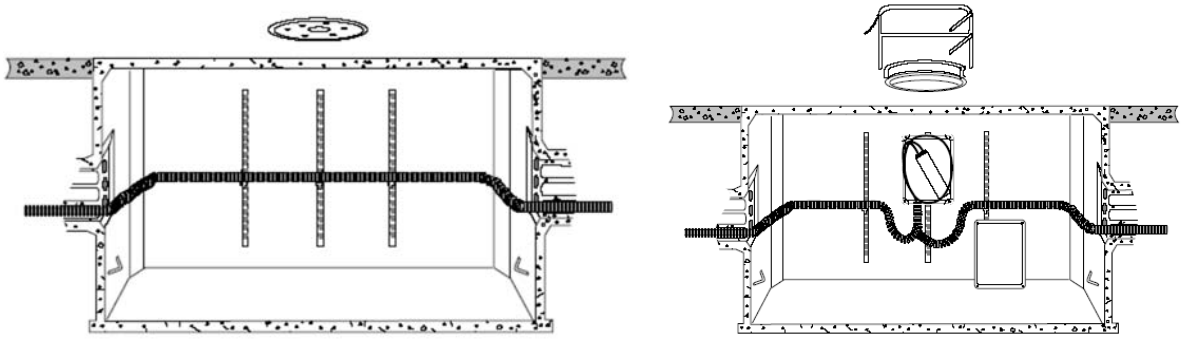


Рисунок 3.4 Кріплення кабелю в колодцях кабельної каналізації після завершення монтажу.

При використанні метода прокладання кабелів в колодцях телефонної кабельної каналізації важливо враховувати також рекомендації ITU L.43 (Optical fibre cables for buried application) та L.46 (Protection of telecommunication cables and plant from biological attack).

§3.2 Прокладання підвісного кабелю

Прокладання підвісного кабелю на мережі PON можливе на приміських ділянках мережі PON а також в місцях де відсутня можливість (або економічно невигідно) покласти кабель в ґрунті або кабельній каналізації (наприклад при під'єднанні до мережі окремого будинку, можна прокласти кабель з даху одного будинку на інший.)

Для підвісу можуть застосовуватись наступні типи кабелів:

ADSS — all dielectric self supporting optical fiber cable (повністю діелектричний самонесучий волоконно-оптичний кабель)

MASS — metal armoring self supporting optical fiber cable (самонесучий волоконно-оптичний кабель армований металевими елементами)

WADC — wrapped all dielectric cable (повністю діелектричний кабель, що навивається)

GWWOP — ground wire wrapped optical fiber cable (волоконно-оптичний кабель, що навивається на канат грозозахисту)

OPGW — optical fiber composite ground wire cable (волоконно-оптичний кабель, що вбудований у канат грозозахисту)

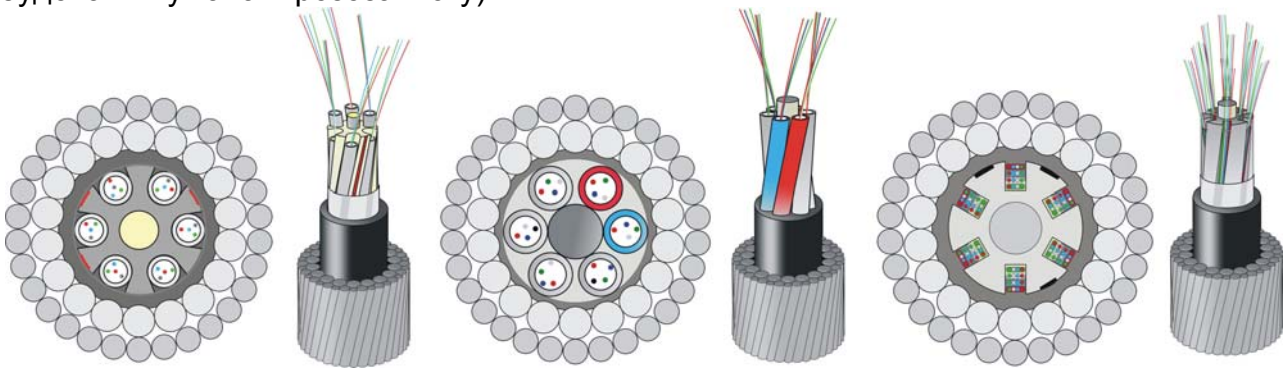


Рисунок 3.5 Конструкція кабелю, вбудованого в грозозахисний трос

Рисунок 3.6 Конструкція самонесучого кабелю

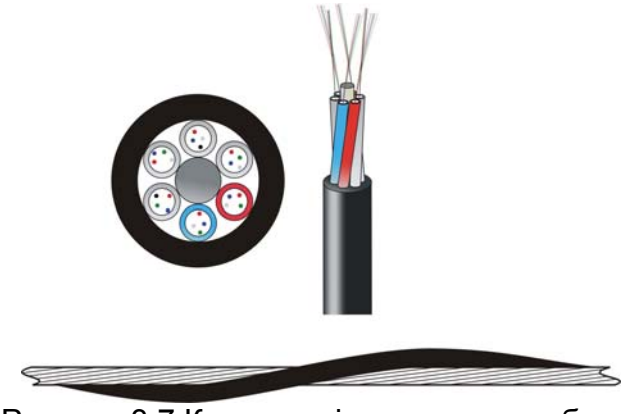


Рисунок 3.7 Конструкція навивного кабелю

При прокладанні кабелів методом підвісу слід керуватись нормативним документом Р 45 – 010 – 2002: “РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПІДВІШУВАННЯ ОПТИЧНИХ КАБЕЛІВ НА ОПОРАХ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЗВ`ЯЗКУ, ЛЕП, КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ ЗАЛІЗНИЦЬ”.

В цьому документі наведені:

- Загальні технічні характеристики та параметри оптичних кабелів для підвішування,
- Загальні положення з проектування повітряних волоконно-оптичних ліній зв’язку
- Обладнання та методи підвішування оптичних кабелів
- Монтаж оптичних кабелів для підвішування
- Випробування оптичних кабелів для підвішування
- Особливості технічної експлуатації повітряних волоконно-оптичних ліній зв’язку
- Прийняття в експлуатацію повітряних волоконно-оптичних ліній зв’язку
- Захист повітряних волоконно-оптичних ліній зв’язку від небезпечних впливів
- Інша додаткова довідкова інформація.

Також можуть бути корисними рекомендації ITU L.56 (Installation of optical fibre cable along railways) та L.57 (Air-assisted installation of optical fibre cables)

§3.3 Міні- та мікротраншейне прокладання

В місцях де телефонна кабельна каналізація перезавантажена, або зовсім відсутня, а також при підводі волокна на якісь віддалені об'єкти (заводи, віддалені промислові комплекси, тощо) застосовується міні та мікротраншена прокладка кабелю, або поліетіленової трубки, в котрі потім методом пневмопрокладання задуватиметься кабель.

Подібні технології більш дешеві за звичайні методи прокладання, менше впливають на навколишнє середовище, менше порушують покриття доріг прокладання здійснюється більш швидкими темпами.

Подібні технології не варто застосовувати там де наявні інші підземні комунікації (водогони, газопроводи, тощо). Не рекомендується також застосовувати подібні технології в піщаних ґрунтах та ґрунтах, що містять гравій та бруківку (Ø 10÷20 см)

Мінітраншейне прокладання:

Мінітраншейну технологію прокладання волоконно-оптичних кабелів зв'язку регламентує рекомендація ITU L.48 (Mini-trench installation technique)

Згідно якої кабель укладається в мінітраншею, біля краю дороги (при відсутності обмежувачів дороги та тротуарів на відстані приблизно 1 м від краю дороги чи крайньому випадку в край асфальту), як показано на рисунку 3.8:

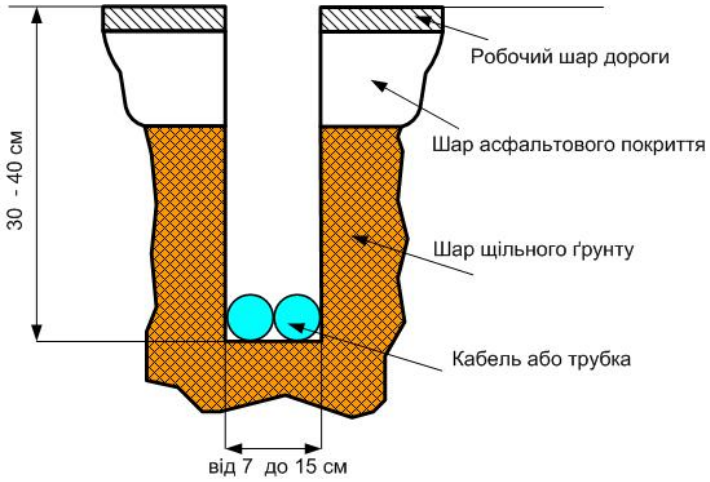


Рисунок3.8 Приклад мінітраншейного прокладання кабелю (відповідно до рисунку 1/L.48 рекомендації ITU L.48)

Ширина траншеї залежить від кількості трубок (кабелів), що прокладаються.

Перед початком прокладання з дна траншеї потрібно видалити все каміння для уникнення зайвого навантаження на кабель.

За допомогою спеціальної техніки в асфальтовому покритті прорізується мінітраншея, в котру спеціальним кабелеукладачем укладається кабель зв'язку або поліетиленова трубка, в котру потім методом пневмопрокладання задуватиметься кабель.

Приклади обладнання для прорізування траншеї та кабелеукладача приведено на фото 1:

Фото 1 Приклад обладнання для прокладання кабелю мінітраншейним методом (відповідно до рисунку 2/L.48 та 3/L.48 рекомендації ITU L.48).

Мікротраншейне прокладання:

Мікроншейну технологію прокладання волоконно-оптичних кабелів зв'язку регламентує рекомендація ITU L.49 (Micro-trench installation technique).

Міротраншейна технологія застосовується на асфальтових або бетонних покриттях доріг або тротуарів. Швидкість виконання робіт — основна перевага застосування мікротраншейної технології.

Глибина траншеї при мікротраншеному прокладанні досить невелика, але не менша від 7 см. Ширина траншеї залежить від розмірів кабелю, зазвичай складає 10÷15 см.

Кабель повинен мати стійкість до зовнішніх впливів, зокрема до підвищеної температури, адже при закритті траншеї температура бітумної суміші і асфальту, шарами яких закривають траншею, складає 100÷170ºС.

Перед укладанням кабелю траншея повинна бути відповідно підготовлена (почищена від каміння та висушена).

Порядок заміни частини кабелю та монтажу зрощень при такому методі прокладання наведено в рекомендації ITU L.49 (Micro-trench installation technique).

Приклад кабелю для мікротраншейного методу прокладання наведено на рисунку 3.8:

Рисунок 3.8 Приклад кабелю для мікотраншейного методу прокладання

§3.4 Пневмопрокладання кабелю

Подібна технологія прокладання оптичного волокна має застосування як на магістральних мережах так і на мережах доступу.

На магістральних мережа як правило здійснюється пнемопроладання волоконно-оптичного кабелю зв'язку в поліетиленову трубку. На відміну від магістральних мереж на мережах доступу важко завчасно визначити та передбачити наперед потребу в кількості оптичного волокна та навіть сам тип оптичного волокна, що може потребувати його заміни і потребу в нарощуванні та зміні топології мережі.

На мережах доступу ця технологія дає наступні переваги:

- **Збільшує гнучкість системи організації доступу до послуг зв'язку** (адже доступ до послуг зв'язку організовується шляхом створення точок доступ – точок підключення користувачів до мережі.). Організація такого доступу в приміщеннях методом пневмопрокладання "задувки" дозволяє нарощувати мережу поступово (прокладаючи стільки волокон скільки потрібно на даний час), в міру виникнення необхідності, а також проводити певні зміни (заміна волокон, ліквідацію ушкоджень) мінімізуючи витрати на це.
- **Збільшує технологічність створення мережі.** Подібна технологія дозволяє оптимізувати розташування розгалужувачів на мережі PON. Технологія дозволяє досить швидко здійснити інсталяцію мережі (причому відстань на котру можна "задути" волокно залежить від кількості волокон, ширини трубки, тиску повітря, що створює машина для пневмопроладання, габаритів та матеріалу заготовки кабелю та трубками та інші. На ділянках мережі доступу поза поміщенням метод пневмопрокладання суттєво зменшує час і витрати пов'язанні з прокладанням та інсталяцією оскільки не потрібно вести монтаж волокна під час прокладання трубок та заготовок кабелю.

На сьогодні існує кільки методів доведення волокна до точки доступу на мережах PON за допомогою методу пневмопрокладання:

1. Прокладання в каналах кабельної каналізації заготовки кабелю – кабель з порожніми оптичними модулями для наступної інсталяції в них оптичних волокон.(такий кабель можна прокладати також і безпосередньо в ґрунт, в кабельних шахтах і кабель ростах). Оптичні волокна, що мають буферне захисне покриття інсталюються у вільні модулі за допомогою пневмопрокладання по мірі необхідності. На волокно закріплюється спеціальна насадка, що є аналогом поршня і волокно з насадкою вставляється в оптичний модуль, до котрого потім підключається компресорний пристрій.. Повітряний потік просуває оптичне волокно на всю потрібну довжину, до кінцевої точки (дальність задувки може сягати 1000м). Це дозволяє уникнути з'єднань волокон (крім під'єднання волокна до з'єднувача (конектора) на проміжних ділянках) і мінімізувати втрати на з'єднаннях, що збільшує надійність та якість роботи системи.
2. Замість одноволоконного можна задувати в оптичні модуля спеціальні багатоволоконні мікрокабелі (подібні мікрокбелі можуть містити на сьогодні до 18 оптичних волокон, причому в заготовку кабелю можна інсталювати до 19 мікрокбелів).
3. Прокладка поліетиленового каналу, котрий містить мікроканали (micro-ducts), діаметром 5 або 8 мм. В ці мікроканали в наступному по мірі необхідності методом пневмопрокладання задувається оптичне волокно. Максимальна кількість оптичних волокон в такому мікроканалі до 12 шт.. Подібний варіант прокладання, на відміну від

попередніх двох, дозволяє замінювати волокна без переривання зв'язку для користувачів під'єднаних до інших волокон.

Обладнання для пневмопроладання та муфта, де видно з'єднання волокон, трубки і кабелі показано на фото 2.

Фото 2. За матеріалами журналу: http://www.lightwave.com

Розділ 4 Випробування параметрів оптичних мереж доступу

Тестування параметрів пасивних оптичних мереж доступу поділяються на:

- тестування параметрів під час монтаж та пуску мережі (частини мережі) в експлуатацію, або після ліквідації аварії і пошкоджень (заміни елементів мережі).
- періодичний контроль та моніторинг параметрів вимірювання мережі.

Потреби в контролі тих чи інших параметрів мережі, визначення типів кліматичних середовищ та місць встановлення пасивних розгалужувачів описані в рекомендаціях ITU L.25 (Optical fibre cable network maintenance); L.40 (Optical fibre outside plant maintenance support, monitoring and testing system); L.51 (Passive node elements for fibre optic networks – General principles and definitions for characterization and performance evaluation); L.53 (Optical fibre maintenance criteria for access networks).

Випробування, обслуговування та методи контролю для мереж з топологією точка-мультиточка:

Категорія	**Дія**	**Випробування та специфікація обслуговування**	**Потреба**	**Методи**
Профілактичне обслуговування	Нагляд (наприклад, періодичний та безперервний контроль)	Виявлення втрат у волокні	При потребі	OTDR/вимірювання втрат
		Виявлення збільшення втрат потужності сигналу	При потребі	Моніторинг потужності
		Виявлення потрапляння вологи	При потребі	OTDR вимірювання
	Випробування (наприклад, випробування деградації волокна)	Визначення місця пошкодження	При потребі	OTDR вимірювання (Зауваження 1)
		Визначення деформації в волокні	При потребі	B-OTDR вимірювання
		Визначення проникнення вологи	При потребі	OTDR вимірювання (Зауваження 1)
	Контроль (наприклад, контроль елемента мережі)	Ідентифікація волокна	При потребі	OTDR вимірювання (Зауваження 1) / світло для ідентифікації (Зауваження 2)
		Перенаправлення волокна	При потребі	Комутація (Зауваження 3)
	Нагляд (наприклад, отримання системою обслуговування сигналу тривога або аварія)	Визначення місця отримання сигналу тривоги за системою обслуговування	При потребі	На лінії/на місцевості
		Визначення місця отримання сигналу тривоги за системою обслуговування користувача	При потребі	На лінії/на місцевості

Категорія	Дія	Випробування та специфікація обслуговування	Потреба	Методи
Після монтажу обладнання або після ліквідації пошкодження	Випробування (наприклад, після монтажу або пошкодження)	Підтвердження стану волокна	Необхідно	OTDR/вимірювання втрат (Зауваження 1)
		Ідентифікація пошкодження в мережі	Необхідно	OTDR/вимірювання втрат (Зауваження 1)
		Визначення місця пошкодження	Необхідно	OTDR вимірювання (Зауваження 1)
	Контроль (Наприклад, встановлення, заміна, ремонт кабелю))	Ідентифікація волокна	Необхідно	OTDR вимірювання (Зауваження 1) / світло для ідентифікації (Зауваження 2)
		Перенаправлення волокна	При потребі	Комутація(Зауваження 3)
		Зберігання даних про лінійний тракт	Необхідно	На лінії/на місцевості
		Інформація про кабельний тракт	При потребі	На лінії/на місцевості
Зауваження 1 –H-OTDR для контролю оптичного волокна та розгалужувача. Зауваження 2 – Світло і для ідентифікації це 270 кГц, 1 кГц або 2кГц модульований світловий сигнал Зауваження 3 – Комутація включно з механічним та фізичним переключенням. OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) – Оптичний рефлектометр часової області H-OTDR (High spatial resolution Optical Time Domain Reflectometer) – Оптичний рефлектометр часової області з високою просторовою роздільною здатністтю B-OTDR (Brillouin Optical Time Domain Reflectomete) – Бріллюенівський оптичний рефлектометр часової області.				

Випробування, обслуговування та методи контролю для мереж з топологією точка-мультиточка:

Категорія	Дія	Випробування та специфікація обслуговування	Потреба	Методи
Профілактичне обслуговування	Нагляд	Виявлення втрат у волокні	При потребі	OTDR/вимірювання втрат
		Виявлення збільшення втрат потужності сигналу	При потребі	Моніторинг потужності
		Виявлення потрапляння вологи	При потребі	OTDR вимірювання
	Випробування	Визначення місця пошкодження	При потребі	OTDR вимірювання

Категорія	Дія	Випробування та специфікація обслуговування	Потреба	Методи
		Визначення деформації в волокні	При потребі	B-OTDR вимірювання
		Визначення проникнення вологи	При потребі	OTDR вимірювання
	Контроль	Ідентифікація волокна	При потребі	світло для ідентифікації (Зауваження 1)
		Перенаправлення волокна	При потребі	Комутація(Зауваження 2)
Після монтажу обладнання або після ліквідації пошкодження	Нагляд	Визначення місця отримання сигналу тривоги за системою обслуговування	При потребі	На лінії/на місцевості
		Визначення місця отримання сигналу тривоги за системою обслуговування користувача	При потребі	На лінії/на місцевості
	Випробування	Підтвердження стану волокна	Необхідно	OTDR / вимірювання втрат
		Ідентифікація пошкодження в мережі	Необхідно	OTDR/вимірювання втрат
		Визначення місця пошкодження	Необхідно	OTDR вимірювання
	Контроль	Ідентифікація волокна	Необхідно	світло для ідентифікації (Зауваження 1)
		Перенаправлення волокна	При потребі	Комутація (Зауваження 2)
		Зберігання даних про лінійний тракт	Необхідно	На лінії/на місцевості
		Інформація про кабельний тракт	При потребі	На лінії/на місцевості

Зауваження 1 – Світло і для ідентифікації це 270 кГц, 1 кГц або 2кГц модульований світловий сигнал

Зауваження 2 – Комутація включно з механічним та фізичним переключенням.

OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) – Оптичний рефлектометр часової області

H-OTDR (High spatial resolution Optical Time Domain Reflectometer) – Оптичний рефлектометр часової області з високою просторовою роздільною здатністтю

B-OTDR (Brillouin Optical Time Domain Reflectomete) – Бріллюенівський оптичний рефлектометр часової області.

Випробування і підтримка довжини хвилі

Категорія	Дія	Специфікація	Довжина хвилі
Профілактичне технічне обслуговування	Нагляд	Виявлення втрат у волокні	Експлуатаційна довжина хвилі (Зауваження)
		Виявлення збільшення втрат потужності сигналу	Довжина хвилі сигналу
		Виявлення потрапляння вологи	Будь-які довжини хвиль для волокна, що не переносять сигнали
	Випробування	Визначення місця пошкодження	Будь-які довжини хвиль для волокна, що не переносять сигнали
		Визначення деформації в волокні	Будь-які довжини хвиль для волокна, що не переносять сигнали
		Визначення проникнення вологи	Будь-які довжини хвиль для волокна, що не переносять сигнали
	Контроль	Ідентифікація волокна	Експлуатаційна довжина хвилі (Зауваження)
		Перенаправлення волокна	Не застосовується
Після монтажу обладнання або після ліквідації пошкодження	Нагляд	Визначення місця отримання сигналу тривоги за системою обслуговування	Не застосовується
		Визначення місця отримання сигналу тривоги за системою обслуговування користувача	Не застосовується
	Випробування	Підтвердження стану волокна	Будь-які довжини хвиль
		Ідентифікація пошкодження в мережі	Будь-які довжини хвиль
		Визначення місця пошкодження	Будь-які довжини хвиль
	Контроль	Ідентифікація волокна	Будь-які довжини хвиль
		Перенаправлення волокна	Не застосовується
		Зберігання даних про лінійний тракт	Не застосовується
		Інформація про кабельний тракт	Не застосовується
Зауваження — Відноситься до ITU-T рекомендація L.41 (Maintenance wavelength on fibres carrying signals.)			

Розділ 5 Стандарти, які описують технології з використанням оптичного волокна в мережах доступу

Світовими організаціями, котрі розробляють стандарти та рекомендації для обладнання мереж Ethernet, є:

- ITU (International Telecommunications Union) Міжнародний союз телекомунікацій
- ISO (International Organization for Standardization) Міжнародна Організація зі Стандартизації.
- IEC (International Electrotechnical Commission) Міжнародна Електротехнічна Комісія.
- TIA (Telecommunication Industry Association) Асоціація виробників засобів зв'язку працює під егідою EIA (Electronics Industries Alliance) Альянсу Електронної промисловості.

При використанні на оптичних мережах доступу технології Ethernet значнй вклад в стандартизацію внесено організацією IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) Інститут інженерів електротехніки та електроніки. Багато зі стандартів цієї організації були прийнятими як стандарти загальноєвропейськими та світовими міжнародними організаціями.

Короткий опис рекомендацій та стандартів, що описують характеристики інтерфейсів та деяких параметрів обладнання оптичних мереж доступу.

Рекомендація (Стандарт)	**Дата випуску**	**Назва та параметри, що розглядаються**
G.709/Y.1331	03-2003 12-2003 (виправлення)	***Interfaces for the Optical Transport Network (OTN)*** Рекомендація визначає вимоги для оптичного транспортного модуля рівня n (OTM-n). Рекомендація визначає терміни для опису оптичної транспортної ієрархії (OTH). В рекомендації визначені структури циклів швидкості передавання даних для OTM. В рекомендації описано функцію випереджуючої корекції помилок (forward error correction (FEC))
ITU G.981	01-1994	***PDH optical line systems for the local network*** Рекомендація описує цирові системи передавання PDH ієрархії для локальних мереж, що працюють на волоконно-оптичному кабеі зі швидкостями передавання інформації 1544 кбіт/с, 2048 кбіт/с, 34 368 кбіт/с.
ITU G.982	11-1996	***Optical access networks to support services up to the ISDN primary rate or equivalent bit rates*** Рекомендація визначає характеристики оптичної мережі доступу OAN (Optical Access Network), що забезпечують транспортування інтерактивні послуги на оптичних розподілювальних мережах ODN (Optical Distribution Network). В рекомендації визначено класи оптичних мереж за величиною допустимих втрат.

Рекомендація (Стандарт)	Дата випуску	Назва та параметри, що розглядаються
ITU G.983.1	01-2005 01-2005 Корегування	***Broadband optical access systems based on Passive Optical Networks (PON)*** Рекомендація описує симетричні та асиметричні системи, що працюють на оптичній мережі доступу (APON, BPON) зі швидкостями передавання інформації низхідного потоку 155,52 Мбіт/с, 622,08 Мбіт/с та 1244,16 Мбіт/с та швикостями висхідного потоку 155,52 Мбіт/с, 622,08 Мбіт/с. Рекомендація визначає параметри і технічні вимоги для фізичного рівня, що залежить від середовища розповсюдження сигналу для систем котрі базуються на BPON мережах. Рекомендація описує концепції побудови оптичних мереж доступу FTTH, FTTB, FTTC, FTTCab.
ITU G.983.2	06-2002 03-2003 Зміна 1 01-2003 G.Imp983.2 01-2005 Зміна 2	***ONT management and control interface specification for B-PON*** Рекомендація визначає протокол та технічні вимоги інтерфейсу контроля керування оптичним мережним терміналом. Рекомендація описує концепції побудови оптичних мереж доступу FTTH, FTTB, FTTBusiness, FTTC, FTTCab.
ITU G.983.3	03-2001 06-2002 Зміна 1	***A broadband optical access system with increased service capability by wavelength allocation*** Рекомендація описує BPON мережі та використання в них технології WDM. Рекомендація описує концепції побудови оптичних мереж доступу FTTH, FTTB, FTTC, FTTCab з використанням технології WDM.
ITU G.983.4	11-2001 03-2003 Виправлення	***A broadband optical access system with increased service capability using dynamic bandwidth assignment*** Рекомендація визначає додаткові функціональн можливості для адміністратора BPON мереж для збільшення ефективності використання робочої смуги в оптичних мережах доступу.
ITU G.983.5	01-2002	***A broadband optical access system with enhanced survivability*** Рекомендація визначає методи захисту оптичних мереж доступу BPON. Рекомендація оисує варіанти та методи організації схем захисту 1+1, 1:1, 1N, X:N для різних концепцій побудови оптичної мережі доступу FTTH, FTTB, FTTC, FTTCab, FTTO.
ITU G.983.6; G.983.7; G.983.8; G.983.9; G.983.10	**17-02-2006**	**Ці рекомендації виключені рішенням 15-ої комісії ITU, оскільки рекомендація ITU G.983.2 в редакції від 2005 року містить матеріал перелічених рекомендацій.**

Рекомендація (Стандарт)	Дата випуску	Назва та параметри, що розглядаються
ITU G.984.1	03-2003	***Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): General characteristics*** Рекомендація описує симетричні та асиметричні системи, що працюють на оптичній мережі доступу (GPON) зі швидкостями передавання інформації низхідного потоку 1244,16 Мбіт/с та 2488,32 Мбіт/с та швикостями висхідного потоку 155,52 Мбіт/с, 622,08 Мбіт/с, 1244,16 Мбіт/с та 2488,32 Мбіт/с. Рекомендація описує концепції побудови оптичних мереж доступу FTTH, FTTB, FTTC, FTTCab.
ITU G.984.2	03-2003	***Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification*** Рекомендація описує симетричні та асиметричні системи, що працюють на оптичній мережі доступу (GPON) зі швидкостями передавання інформації низхідного потоку 1244,16 Мбіт/с та 2488,32 Мбіт/с та швикостями висхідного потоку 155,52 Мбіт/с, 622,08 Мбіт/с, 1244,16 Мбіт/с та 2488,32 Мбіт/с. Рекомендація визначає параметри і технічні вимоги для фізичного рівня, що залежать від середовища розповсюдження сигналу для систем котрі базуються на GPON мережах.
ITU G.984.3	02-2004	***Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): Transmission convergence layer specification*** Рекомендація визначає технічні вимоги інтерфейсу керування у оптичних мережах доступу GPON. Рекомендація описує методи формування пакетів GPON за допомогою методів GTC та GEM, та використання методу корекції помилок FEC. Рекомендація описує концепції побудови оптичних мереж доступу FTTH, FTTB, FTTBusiness, FTTC, FTTCab.
ITU G.985	03-2003 01-2005 Виправлення 1	***100 Mbit/s point-to-point Ethernet based optical access system*** Рекомендація описує організацію мережі Ethernet за принципом точка-точка зі швидкістю передавання інформації 100 Мбіт/с, що базується на системі оптичного доступу, включно з описом специфікації на оптичну розподільчу мережу. Рекомендація визначає умови використання Ethernet точка-точка зі швидкістю передавання інформації 100 Мбіт/с для двонаправлених систем по одному волокну з використанням технології WDM. В рекомендації наведено фізичні параметри інтерфейсів для різних класів оптичних трактів (за величиною втрат в оптичному тракт).

Рекомендація (Стандарт)	Дата випуску	Назва та параметри, що розглядаються
ITU G.7041/Y.1303	12-2003 10-2004 Виправлення 1 06-2004 Виправлення 2	***Generic framing procedure (GFP)*** Рекомендація визначає процедури формування кадрів від клієнтських інтерфейсів Ethernet для передавання інформації в оптичну транспортну мережу згідно з рекомендацією ITU G.709 та ITU G.707.
ITU Q. 834.1	04-2001	***ATM-PON requirements and managed entities for the network element view*** Рекомендація описує об'єкти та функції керування для APON мереж.
ITU Q. 834.2	04-2001	***ATM PON requirements and managed entities for the network view*** Рекомендація описує об'єкти та функції керування та моніторингу для APON мереж. Описує інформаційну модель, що використовується на інтерфейсі між рівнем керування мережі та рівнем керування елементами.
ITU Q. 834.3	11-2001	***A UML description for management interface requirements for broadband Passive Optical Networks*** Рекомендація визначає режим роботи нтерфейсу керування в BPON мережах.
ITU Q. 834.4	07-2003	***A CORBA interface specification for Broadband Passive Optical Networks based on UML interface requirements*** Рекомендація визначає інтерфейс CORBA (Common object request broker architecture) для взаємодії між інтерфейсом керування мережі та інтерфесом керування користувача для BPON мереж.
IEEE 802.3 Міжнародний аналог: (ISO/IEC 8802-3)	08-03-2002	***IEEE Standard for Information technology— Telecommunications and information exchange between systems— Local and metropolitan area networks— Specific requirements*** ***Part 3: Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) access method and physical layer specifications*** Стандарт описує LAN, що працюють з CSMA/CD як метода доступу. В стандарті визначені інтерфейси та параметри інтерфейсів доступу, що використовують LAN з CSMA/CD зі швидкістю 1; 10; 100; 1000 Мбіт/с. В стандарті наведені параметри та методи контролю параметрів інтерфейсів Ethernet.
IEEE 802.3ae	30-08-2002	***IEEE Standard for Information technology— Telecommunications and information exchange between systems— Local and metropolitan area***

Рекомендація (Стандарт)	Дата випуску	Назва та параметри, що розглядаються
		networks— Specific requirements Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications Amendment: Media Access Control (MAC) Parameters, Physical Layers, and Management Parameters for 10 Gb/s Operation Стандарт є доповненням стандарту IEEE 802.3 для інтерфейсів 10 Гбіт/с.
IEEE 802.3ah	07-2004	***IEEE Standard for Information technology— Telecommunications and information exchange between systems— Local and metropolitan area networks— Specific requirements Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications Amendment: Media Access Control (MAC) Ethernet in the First Mile Task Force*** Стандарт є доповненням стандарту IEEE 802.3 використання технології Ethernet в мережах доступу та визначає типи топології побудови мереж, керування та параметри інтерфейсів Ethernet для оптичних мереж доступу.

Словник іншомовних скорочень

ADSL (Asymmetric digital subscriber line) — Асиметрична цифрова абонентська лінія
ADSS (all dielectric self supporting optical fiber cable) — Повністю діелектричний самонесучий волоконно-оптичний кабель
ANSI (American National Standards Institute) — Американський Національний Інститут Стандартів
APON — Пасивні оптичні мережі з технологією ATM
APD (Avalanche Photodiode) — Лавинний фотодіод
ATM (Asynchronous Transfer Mode) — Асинхронний режим переносу
BER (bit error rate) — Коефіцієнт бітових помилок
B-OTDR (Brillouin Optical Time Domain Reflectomete) — Бріллюенівський оптичний рефлектометр часової області
BPON (Broadband PON) — Широкосмугові пасивні оптичні мережі.
CRC (circle redundacy check) — Циклічна надлишкова перевірка
CSMA/CD (Carrier Sense Mupltiple Access/Collision Detect) — Множинний доступ з опитуванням несівної та вирішенням колізій
DBA (Dynamic Bandwidth Assignment) — Динамічний вибір смуги пропускання
DFB (Distributed FeedBack laser) — Розподілений лазер зі зворотнім зв'язком
DSL (Digital subscriber line) — Цифрова абонентська лінія
EIA (Electronics Industries Alliance) — Альянс Електронної промисловості
EPON (Ethernet PON)— Пасивні оптичні мережі з технологією Ethernet
Ethernet — Інтерфейс взаємодії, побудований за стандартом IEEE 802.x
GEM (GPON Encapsulation Method) — Метод формування пакетів в мережах побудованих на GPON
GFP (generic framing protocol) — Протокол формування пакетів
GPON (Gigabit PON) — Гігабітні пасивні оптичні мережі
GTC (GPON Transmission Convergence) — Конвергенція передавання в GPON
GWWOP (ground wire wrapped optical fiber cable) — Волоконно-оптичний кабель, що навивається на канат грозозахисту
FEC (forward error correction) — Система із зворотньо вирішувальним зв'язком для попередньої корекції помилок
FFS (For Further Study) — Для подальшого вивчення
FTTx (Fiber To The x) — Волокно до точки X
HFC (Hybrid Fiber/Coaxial) — Гібридні волоконно-оптичні/коаксіальні мержі
H-OTDR (High spatial resolution Optical Time Domain Reflectometer) — Оптичний рефлектометр часової області з високою просторовою роздільною здатністтю
IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) — Інститут інженерів електротехніки та електроніки
ISO (International Organization for Standardization) — Міжнародна Організація зі Стандартизації
LLID (Logical link identificator) — Ідентифікатор (код визначення) логічного ланцюга
MAC (Media Access Control) — Керування доступом до середовища
MASS (metal armoring self supporting optical fiber cable) — Самонесучий волоконно-оптичний кабель армований металевими елементами
MLM (Multi-Longitudinal Mode) — Лазер на багатьох поздовжніх модах
MMF (Multi-Mode Fiber) — Багатомодове оптичне волокно
MRT (maximum round-trip time) — Максимальний час проходження сигналу в обох напрямках
NA (Not Applicable) — не застосовується
NRZ (Non-Return to Zero) — Кодування без повернення до нуля
NRZI (Non Return to Zero Invertive) — Інверсне кодування без повернення до нуля

xPON (Passive Optical Network) — Пасивні оптичні мережі , що використовують різні ехнології транспортування інформації
OAM (Operations, Administration and Maintenance) — Дії, адміністрація і обслуговування
ODN (Optical Distribution Network) — Оптична мережа доступу
OLT (Optical Line Termination) — Оптичний мережний термінал
OMCI (ONU Management and Control Interface).
ONU (Optical Network Unit) — Оптичний мережний модуль
OPGW (optical fiber composite ground wire cable) — Волоконно-оптичний кабель, що вбудований у канат грозозахисту
ORL (Optical Return Loss) — Оптичні обернені втрати
OSI (Open Systems Interconnection) — Взаємодія відкритих систем
OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) — Оптичний рефлектометр часової області
PMD (Physical Media Dependent) — Фізично залежне середовище
RTT (Round trip time) — Час проходу сигналу в прямому та зворотньому шляху
SDH (Synchronous Digital Hierarchy) — Синхронна цифрова ієрархія
цифрова абонентська лінія
SLM (Single-Longitudinal Mode) — Лазер на одній поздовжній моді
SMF (Single-Mode Fiber) — Одномодове оптичне волокно
SNI — (Service Network Interface) — Мережний інтерфейс послуг
SOA (Semiconductor Optical Amplifier) — Напівпровідникові оптичні підсилювачі
SOP (start of packet) — Початок пакету
STM (Synchronous Transport Module) — Синхронний транспортний модуль
RMS (Root-Mean-Square) — Середньоквадратичне значення
PIN (Photodiode without internal avalanche) — Фотодіод без внутрішньої лавиного ефекту
PLOAM (Physical Layer OAM) — Фізичний рівень OAM
TC (Transmission Convergence) — Конвергенція передавання
TDM (Time Division Multiplexing) — Системи з часовим розділенням каналів
TIA (Telecommunication Industry Association) — Асоціація виробників засобів зв’язку
UI (unit interval) — Одиничний інтервал
UNI — (User Network Interface) — Мережний інтерфейс користувача
VDSL (Very high-bit-rate Digital Subscriber Line) — Надшвидкісна цифрова абонентська лінія
WADC (wrapped all dielectric cable) — Повністю діелектричний кабель, що навивається
WDM (Wavelength Division Multiplexing) — Спектральне розділення каналів

Література

1. Стандарти ISO
2. Стандарти IEC
3. Рекомендації ITU
4. Стандарти IEEE
5. А. Н. Матвеев «Оптика». – М. в.ш. 1985.
6. FURUKAWA (S.), SUDA (H.), YAMAMOTO (F.), KOYAMADA (Y.), KOKUBUN (T.), TAKAHASHI (I.): Optical fibre line test and management system for passive double star networks and WDM transmission systems, Proc. IWCS'95, pp. 640-648, 1995.
7. G. Pesavento, ”Ethernet Passive Optical Network (EPON) architecture for broadband access”, Optical Network Magazine, January/February 2003.
8. Матеріали сайту http://www.corning.com
9. Матеріали сайту http://www.csif.cs.ucdavis.edu/~kramer/publications.html
10. Матеріали сайту http://www.isoc.org/inet98/proceedings/6g/6g_3.htm
11. Матеріали сайту http://www.acreo.se
12. Матеріали сайту http://www.efmalliance.org
13. Матеріали сайту http://www.exfo.com/fttx
14. Матеріали сайту http://www.lightwave-russia.com
15. Матеріали сайту http://www.tt.ru]
16. Матеріали сайту http://www.osp.ru